НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ® И ГОРНОРУДНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
(ТЕХНОЛОГИЯ, ЭКОНОМИКА, МАШИНОВЕДЕНИЕ, ИНФОРМАТИКА, ЭКОЛОГИЯ)
УЧРЕДИТЕЛИ: МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ УКРАИНЫ, НТО МЕТАЛЛУРГОВ УКРАИНЫ, НАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ
5(284)
2013
ДНЕПРОПЕТРОВСК
ООО
"УКРМЕТАЛЛУРГИНФОРМ„НТА"



Ростислав Шурма
Генеральный директор ОАО «Запорожсталь»

МК «Запорожсталь» - 80 лет опыта и профессионализма

Новые вехи легендарного комбината

Текущий 2013 год является юбилейным для нашего предприятия. Когда 80 лет назад, 16 ноября 2013 года первая запорожсталевская домна выдала свой первый чугун, новый металлургический завод не просто вошел в число действующих предприятий страны. Его появление стало значимым событием для всего дальнейшего развития украинской черной металлургии. Новое мощное предприятие стало прочной основой уверенного развития всей экономики Украины.

На «Запорожстали» многое происходило со словом «впервые».

Впервые в стране, здесь был пущен тонколистовой стан и машиностроительная отрасль получила свой, отечественный, а не импортный тонкий лист.

Впервые в стране именно на «Запорожстали» была задута первая сверхмощная доменная печь и вошел в эксплуатацию первый отечественный мощный универсальный стан слябинг...

На всю страну известны имена таких прославленных сталеваров «Запорожстали», как Григорий Пометун, Михаил Кинебас, Иван Каела, Егор Проскурин.

МК «Запорожсталь» всегда славилась достижениями и производственными рекордами, их было немало в истории металлургического комбината за эти восемь десятилетий. В августе 2012 года, со сменой собственника МК «Запорожсталь» и приходом Группы Метинвест, на комбинате началась активная модернизация производства, предусматривающая комплекс технологических решений по существенному снижению экологической нагрузки с учетом повышения эффективности предприятия, до уровня мировых производителей стали, улучшение качества продукции, внедрение современных технологий и передовых практик.

Если коротко обозначить задачи, решаемые сегодня металлургами МК «Запорожсталь», то это – постоянное повышение эффективности производства, снижение его себестоимости.

Мы концентрируемся на новых технологиях и современных практиках, на модернизации и реконструкции, с обязательным учетом экологической составляющей, на энерго- и ресурсосбережении.

Что выделить в качестве нашей основной стратегической цели? Трудно выделить первоочередную, приоритетную – улучшения и изменения на МК «Запорожсталь» идут комплексные, в соответствии со стратегией развития предприятий Метинвеста. Так, мы инвестируем значительные средства в модернизацию и реконструкцию комбината, в его перспективу. За последний год на комбинате завершена реализация нескольких масштабных инвестиционных проектов, ранее «замороженных» на длительный период времени.

Из наиболее значимых отмечу ввод в действие базисного склада угля в комплексе установки ПУТ и запуск в работу высокотехнологичной агломашины № 1.

Мы не останавливаемся в своем развитии, а делаем очередные шаги на пути к новому производству - высокотехнологичному и передовому в экологическом отношении.

Историческая реальность в том, что наше предприятие закладывалось десятки лет назад. Нам

нужно обновляться, и обновляться серьезно. Этого требует не только стратегия Группы Метинвест - этого настоятельно требуют интересы наших работников и жителей тех городов, где расположены производственные активы компании.

Так, в текущем году мы приступили к реализации нескольких масштабных модернизационных проектов, которые дадут значительный экологический и экономический эффект: строительству высокотехнологичной газоочистки на следующей нашей агломашине - № 2; строительству новой травильной линии в цехе холодной прокатки и установки регенерации отработанных травильных растворов; реконструкции доменной печи № 4.

Мы понимаем, что в нашем сталеплавильном производстве применяется устаревшая технология - мартеновский способ производства стали. В наших планах – переход на современный конвертерный способ, что позволит комбинату существенно сократить выбросы в атмосферу и достичь энергосберегающего эффекта — снижение потребления природного газа.

Хорошей инициативой в юбилейном для предприятия году стало проведение конкурса по энергосбережению и эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов, который позволит вовлечь в этот процесс всех работников комбината.

И совершенно недаром девизом этого юбилейного года мы выбрали слоган «80 лет опыта и профессионализма». Успех приходит к тем, кто настойчиво и добросовестно трудится, кто является настоящим мастером своего дела, опытным, целеустремленным, ответственным. На комбинате «Запорожсталь» трудится именно такой коллектив – слаженная команда высоких профессионалов.

Свой юбилей «Запорожсталь» встречает достойно. Коллектив нацелен на решение амбициозных задач по повышению эффективности. Комбинат «Запорожсталь» продолжит развитие и модернизацию производства, работу над повышением качества продукции и рациональным использованием энергоресурсов. Я убежден, что комбинат «Запорожсталь» всегда будет уверенно стоять на первых позициях в металлургической отрасли Украины.







ОАО «ЗАПОРОЖСТАЛЬ»

УДК 669.054.83

Наука

Русских В.П. /к.т.н./, Семакова В.Б. /к.т.н./, Шапиро-Никитин Д.Е.
ГВУЗ «ПГТУ»

Лялюк В.П. /д.т.н./
ГВУЗ «КрНТУ»
Волков В.В.
Корпорация «Укрпромпереработка»

Рациональное использование шламов в составе агломерационной шихты

Одной из наиболее острых проблем ресурсосбережения в черной металлургии является утилизация шламов. В Украине ежегодно образуется более 13 млн. т железосодержащих отходов, в том числе 10 млн. т железосодержащих шламов. Увеличение доли мелкодисперсных шламов в составе агломерационной шихты приводит к ухудшению гранулометрического состава окомкованной шихты, а, следовательно, и её газопроницаемости, которая является основой производительности агломерационных машин. Предложена возможность увеличения доли шламов в составе агломерационной шихты без ухудшения технико-экономических показателей работы агломерационных фабрик. Табл. 4. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: *шлам, агломерационная шихта, грануляция, газопроницаемость, производительность, промышленные отходы, загрязнение окружающей среды*

Sludge utilization is one of the urgent problems in iron and steel industry. Every year more than 13 mln. mt. of iron containing waste products, including 10mln. mt iron containing sludge are generated in Ukraine. An increase in the share of fine – dispersed sludge in sintering mixture leads to poor granulometry of sintered mixture, it consequently leads to inferior gas-permeability, which is the basis of sintering machines productivity. An opportunity for increasing of sludge percentage in sintering mixture is offered in the article, without deterioration in technical-economic indices of sintering plants.

Keywords: *sludge, sintering mixture, granulation, gas permeability, productivity, industrial wastes, environmental pollution*

Проблема утилизации железосодержащих отходов, в первую очередь шламов аглодоменного и сталеплавильного производств на металлургических предприятиях требует решения. Основным потребителем железосодержащих шламов в настоящее время является агломерационное производство. Увеличение содержания неподготовленных шламов в составе агломерационной шихты более 50 кг на тонну агломерата отрицательно влияет на производительность агломерационных машин и качество агломерата (снижается прочность и выход годного).

Одной из наиболее острых проблем ресурсосбережения в черной металлургии является утилизация шламов. Еще к концу 1980-х гг. на таких крупнейших металлургических комбинатах Украины как Криворожский, Днепровский, им. Ильича, Алчевский было накоплено, соответственно 4,0; 2.2; 3,8; и 3,5 млн. т железосодержащих отходов – преимущественно в виде шламов. В Украине ежегодно образуется более 13 млн. т железосодержащих отходов, в том числе 10 млн. т железосодержащих шламов.

Степень утилизации железосодержащих шламов на разных металлургических предприятиях различна и в среднем составляет (%): аглодоменного производства 82; доменной газоочистки 69; подбункерных помещений доменного цеха 50; конвертерного производства 47; газоочистки мартеновского производства 24. Таким образом, резервы повышения степени утилизации железосодержащих шламов на металлургических предприятиях Украины весьма значительны.

Вместе с тем, железосодержащие металлургические шламы являются весьма ценным вторичным ресурсом. Содержание железа в них составляет 35-55 %, а иногда достигает 65 % и более. Согласно расчетам [1] утилизация 1 т железосодержащего шлама среднестатистического состава (в большинстве случаев шламы агломерационного, доменного и сталеплавильных цехов складируются совместно) позволяет сэкономить в среднем 560 кг железорудного концентрата, 242 кг аглоруды, 155 кг известняка и 27,5 кг коксовой мелочи.

Эффективное и максимально полное использование железосодержащих шламов не только рационально с точки зрения экономии невосполнимых природных ресурсов. Длительное хранение металлургических шламов в шламонакопителях неизбежно сопровождается значительным экологическим ущербом как в результате инфильтрации его компонентов в грунтовые воды, так и вследствие загрязнения атмосферы пылевидными и газообразными веществами.

В условиях Украины (а также в сходных ресурсо-экологических условиях) основным методом утилизации железосодержащих металлургических шламов, позволяющим эффективно решить эту сложную задачу без существенных капитальных вложений, является использование их в качестве компонента агломерационной шихты [2].

Металлургические шламы давно используются в качестве компонента агломерационной шихты, и на некоторых аглофабриках имеется опыт работы с содержанием

© Русских В.П., Семакова В.Б., Шапиро-Никитин Д.Е., Лялюк В.П., Волков В.В., 2013 г.

шламов в агломерационной шихте до 150 кг/т агломерата, при котором баланс железосодержащих шламов на предприятии, как правило, замыкается [3]. Тем не менее, целый ряд проблем, возникающих при вводе шламов в агломерационную шихту, остается нерешенным.

Увеличение доли шламов в агломерационной шихте, не сопровождающееся комплексом соответствующих технологических мероприятий, не является эффективным решением проблемы утилизации данного вторичного сырья. Шламы, особенно сталеплавильные, склонны к самостоятельному агрегированию и плохо усредняются в объеме агломерационной шихты, с увеличением доли шламов в шихте заметно растет вынос пыли, снижается производительность агломашин, изнашиваются эксгаустеры, растет массовая доля мелочи класса 0-5 мм в агломерате [4].

Увеличение мелкодисперсных шламов в составе агломерационной шихты приводит к избытку комкуемой её части и нехватке комкующей, что значительно ухудшает гранулометрический состав окомкованной агломерационной шихты, а, следовательно, и её газопроницаемость, которая является основой производительности агломерационных машин. Решение этих проблем требует совершенствования технологии подготовки агломерационных шихт, включающих металлургические шламы, поиска новых технологических решений, позволяющих управлять свойствами шламов, обеспечивая нормальное протекание процесса спекания агломерата.

Основным способом увеличения доли мелкодисперсных отходов металлургического производства в составе агломерационной шихты при условии сохранения (а при возможности улучшения) технико-экономических показателей работы аглофабрик является предварительное гранулирование шламов и других мелкодисперсных отходов металлургического и других производств.

Способы предварительного принудительного озернения части тонких фракций агломерационной шихты широко применяются за рубежом. Так, на некоторых предприятиях США производительность агломерационных машин повышают вводом в состав агломерационной шихты дробленого конверторного шлака [5], известно использование сырых окатышей для улучшения гранулометрического состава окомкованной агломерационной шихты на Качканарском ГОКе [6] и др. Способы получения гранул весьма разнообразны: фракционированием, обжимом в вальцах, экструзией и др. [7]. Однако наиболее плотными, с большим выходом годного являются гранулы, получаемые по способу «брикетирование → сушка → дробление». Гранулы имеют высокую прочность и могут быть перевезены на большие расстояния практически без разрушения, чем снимается проблема их получения у потребителя. Фотографии гранул, полученных некоторыми способами гранулирования, представлены на рисунке.

В ходе выполнения работы исследовалось влияние ввода в состав агломерационной шихты гранулированных шламов, при этом определялись следующие параметры процесса агломерации:

– газопроницаемость окомкованной агломерационной шихты;
– вертикальная скорость спекания (производительность аглоустановки);
– выход годного агломерата;
– прочность агломерата на удар;
– прочность агломерата на истирание.



Рисунок. Фотографии гранул, полученных: а – окатыванием; б – экструзией; в – дроблением брикетов (брикетное крошево); г – исходные брикеты

Так как гранулированный материал использовался в качестве железосодержащего компонента шихты, то его применение связано с уменьшением в составе аглошихты других железосодержащих компонентов (концентрата или железной руды). С целью уменьшения изменения содержания железа в агломерате при вводе в состав шихты гранулированного сырья целесообразно им заменять железную руду. Проведены спекания с базовым составом шихты, с заменой в её составе 25, 50, 75 и 100 % железной руды. При этом производилась корректировка в составе шихты содержания известняка и извести с целью сохранения базовой основности агломерата.

Проведены исследования с использованием в составе агломерационной шихты трех разновидностей гранулированных шламов, усредненный гранулометрический состав которых и гранулометрический состав железной руды представлены в табл. 1.

Таблица 1. Гранулометрический состав аглоруды и гранулированных шламов, %

Материал	+10 мм	10-5 мм	5-3 мм	-3 мм	сумма
Аглоруда	10,84	13,40	11,98	63,78	100
Гран. шламы	17,4	37,3	25,8	19,5	100

Как видно из приведенных данных в табл. 1 гранулометрический состав агломерационной железной руды значительно отличается от гранулометрического состава гранулированных шламов. По данным научно-исследовательской работы, проведенной на кафедре металлургии чугуна Мариупольского металлургического института, оптимальный гранулометрический состав возврата, а, следовательно, и гранулированных добавок в агломерационной шихте должен содержать фракций размером 0–5 мм не более 30 %, фракции 5–10 мм не более 20 %, фракции 3–5 мм не менее 50 %. Как видно из табл. 1 гранулометрический состав гранулированных шламов в значительной степени удовлетворяет этим условиям.

В основу расчета базового состава экспериментальной агломерационной шихты был взят состав аглошихты Енакиевского агломерационного цеха за первое полугодие 2012 г., включающий железорудный концентрат, аглоруду, смесь шламов, отсев агломерата, колошниковую пыль, флюсы (в том числе известняк обычный, доломит, известь), топливо. Химический состав основных компонентов агломерационной шихты представлен в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав основных компонентов агломерационной шихты

Компонент	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	Fe
Концентрат	6,3	1,2	0,18	0,45	30,32	67,4
Аглоруда	16,29	1,54	0,17	0,39	0,89	56,5
Известняк	0,74	-	53,97	1,07	-	-
Изв.долом.	2,07	-	44,82	8,23	-	-
Известь	2,42	-	66,42	7,49	-	-
Гран.шлам	5,1	1,83	8,8	3,0	19,5	48,6

В первую очередь уменьшали, а затем полностью вывели из состава шихты известняк обычный, затем доломит, а при замене всего количества железной руды гранулированными шламами в составе шихты уменьшили содержание извести. Экспериментальные спекания агломерационных шихт с различным содержанием гранулированных шламов показали целесообразность их использования в агломерационном производстве. Выход годного агломерата по содержанию в нем фракций +5 мм и прочностные качества агломерата представлены в табл. 3.

Прочность агломерата на удар и на истирание оценивали при стандартном барабанном испытании (ГОСТ 15137-77, СТ СЭВ 1151-78). Выход фракции больше 5 мм характеризует прочность агломерата на удар. Выход наиболее тонких фракций (меньше 0,5 мм) характеризует его истираемость.

Таблица 3. Влияние ввода в состав агломерационной шихты гранулированных шламов на качество агломерата

Состав шихты	Выход годного	Прочность на удар	Прочность на истир.
Базовый	78,2	62,8	10,1
25 % гранул	81,5	61,4	9,6
50 % гранул	82,4	61,0	9,9
75 % гранул	83,4	66,3	9,2
100 % гранул	82,9	63,9	9,6

Замена в составе агломерационной шихты железной руды гранулированными шламами положительно влияет на содержание железа в агломерате. Изменение содержания железа в агломерате при замене аглоруды в составе агломерационной шихты гранулированными шламами представлено в табл. 4.

Таблица 4. Влияние ввода гранулированных шламов на содержание железа в агломерационной шихте, %

Состав шихты				
Базовый	25 % гранул	50 % гранул	75 % гранул	100 % гранул
43,9	44,6	45,8	47,3	48,1

Увеличение содержания железа в шихте обусловлено относительно высокой основностью гранулированных шламов по сравнению с основностью железной руды, заменяемой шламами.

Экономическая целесообразность использования гранулированных шламов в составе агломерационной шихты обеспечивается также более низкой их ценой в сравнении с ценой железной руды.

Выводы

1. Замена в составе агломерационной шихты железной руды гранулированными шламами приводит к увеличению содержания железа в агломерате за счет снижения расхода флюсов.
2. Уменьшение и полный вывод из состава агломерационной шихты известняка и доломита уменьшает теплопотребность агломерационного процесса за счет снижения расхода тепла на диссоциацию карбонатов.
3. Улучшение гранулометрического состава окомкованной агломерационной шихты за счет ввода в её состав гранулированных шламов позволяет увеличить вертикальную скорость спекания, а, следовательно, и производительность агломерационных машин.
4. Производительность агломерационных машин возрастает также за счет увеличения выхода годного агломерата.
5. Ввод в состав агломерационной шихты гранулированных шламов значительно снижает себестоимость агломерата.
6. Повышение содержания железа в агломерате, улучшение его физических свойств при вводе в состав агломерационной шихты гранулированных шламов положительно влияет на технико-экономические показатели доменной плавки.

Библиографический список

1. Утилизация металлургических шламов на аглофабриках Украины / И.М. Мищенко, Г.С. Клягин, Н.С. Хлапонин и др. // Металлург. - 2000. – № 6. - С. 30-31.
2. Шатоха В.І. Екологічне забезпечення виробництва чавуну. - Дніпропетровськ: Пороги, 2001. - 181 с.
3. Гаврилова А.Н. Утилизация твердых технологических отходов производства // Металлург. – 1993. - № 7. - С. 31-32.
4. Агломерация шихт с большим содержанием шламов на фабриках Украины // И.М. Мищенко, Г.С. Клягин, Н.С. Хлапонин и др. // Тр. Междунар. конгр. доменщиков «Производство чугуна на рубеже столетий». - Днепропетровск–Кривой Рог, 1999. - С. 106-110.
5. Оптимизация режима возврата с целью улучшения качества агломерата и разработка мероприятий, устраняющих снижение производства агломерата // Отчет по научно-исслед. Работе. – Мариуполь: ММИ, 1992. - 42 с.
6. Дудин А.М., Шрамко Т.М., Селянов С.Ю. Реохимическая спецификация потребленного минерального сырья и промышленных отходов предприятий Донбасса // Оценка состояния отходов промышленных предприятий и перспективы использования их в качестве техногенных месторождений: Тез. докл. конф. 13-15 декабря 1994 г., Кривой Рог. - К.: Знание, 1994. – С. 76-78.
7. Ожогин В.В. Способы получения гранул и влияние их добавок на процессы спекания и механические свойства агломерата // Металлургические процессы и оборудование. - 2006. - № 3. - С. 19-24.

Поступила 26.06.2013

УДК 536.2.081.7:537.311.32

Наука

Панов Е.Н., Васильченко Г.Н., Чирка Т.В., Лазарев Т.В.
НТУУ «КПУ»

Оценка теплопроводности сыпучих углеродистых материалов по величине удельного электрического сопротивления

Целью исследования является получение корреляционной зависимости между теплопроводностью и удельным электрическим сопротивлением для сырой и графитированной каменноугольной коксовой мелочи фракционным составом до 8 мм. Измерения проведены при температурах до 1000 °С и приложенном давлении 27 кПа. Полученные многочлены второго порядка позволяют осуществлять экспрессную оценку теплопроводности по удельному электрическому сопротивлению в зависимости от температуры и диаметра гранул. Ил. 6. Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: *эффективная теплопроводность, удельное электрическое сопротивление, каменноугольная коксовая мелочь, давление, корреляционная зависимость*

The purpose of research is to obtain the correlation between the thermal conductivity and electrical resistivity of the raw and graphitized carboniferous coke breeze with fractional composition of up to 8 mm. Measurements were carried out at temperatures up to 1000 °C and pressure of 27 kPa . Obtained second-order polynomials allow to carry out express evaluation of the thermal conductivity on the electrical resistivity depending on the temperature and the diameter of the granules.

Keywords: *effective thermal conductivity, electrical resistivity, carboniferous coke breeze, preassure, correlation*

Введение

Цель работы – установление корреляционной связи между теплопроводностью и электропроводностью сырого и графитированного коксов гранулометрическим составом до 8 мм в диапазоне температур 100–1000 °С.

Известно, что в металлах существует взаимная связь между электропроводностью и теплопроводностью, которая объясняется тем, что эти свойства в основном обусловлены движением свободных электронов. Закон Видемана-Франца устанавливает для металлов отношение теплопроводности к удельной электропроводности пропорционально температуре. Пропорциональность этого отношения термодинамической температуре устанавливается за счет коэффициента Лоренца.

Учитывая то, что углеродные материалы по природе имеют более сложный механизм переноса энергии, нет оснований ожидать такой же простой связи как у металлов. В литературе приведены в значительном количестве исследования корреляционной связи теплопроводности и удельного электрического сопротивления (УЭС) как в графитах, так и в аморфных углеродных материалах [1-5]. Так на основе значений отношения Видемана-Франца Пауэл [2] показал, что корреляционная связь теплопроводности поликристаллических графитов с их электропроводностью при температурах выше комнатной имеет вид

$$\lambda\rho T^{-1} = 0{,}1229T^{-1{,}8}$$

где λ – теплопроводность материала, Вт/(м·К); ρ – удельное электрическое сопротивление, Ом·м; Т – абсолютная температура, К.

Больше всего информации о взаимосвязи теплопроводности и УЭС можно получить, анализируя произведение λρ для углеродных материалов в зависимости от температуры [6].

При исследовании связи эффективных значений теплопроводности и УЭС для сыпучего углеродного материала следует учитывать, что кроме решеточной и электронной теплопроводности, существует контактная теплопроводность между частицами материала и радиационная составляющая в пространстве между гранулами, что определяет методическую сложность измерения теплопроводности сыпучего материала и ее высокую результирующую погрешность измерения. Актуальность исследований определяется возможностью установления корреляционной зависимости для оценки значений эффективной теплопроводности по эффективному удельному электрическому сопротивлению.

Результаты исследования

Произведение λρ сыпучего углеродного материала значительным образом должно определяться не только температурой, но и размером частиц материала. Измерения эффективных значений УЭС и теплопроводности сырой и графитированной каменноугольной коксовой мелочи были проведены в условиях приложенного давления 27 кПа и в температурном диапазоне 100–1000 °С на установках, разработанных в КПИ [7, 8]. На основании опытов было установлено, что в диапазоне создаваемых давлений 27–50 кПа теплопроводность и УЭС практически не изменяются. Фракционный состав исследуемого сыпучего материала характеризуется размерами гранул, мм: 0–2, 2–4, 4–6, 6–8. Аппроксимированные результаты измерения теплопроводности сырой и графитированной коксовой мелочи представлены на графиках (рис. 1, 2).

© Панов Е.Н., Васильченко Г.Н., Чирка Т.В., Лазарев Т.В., 2013 г.

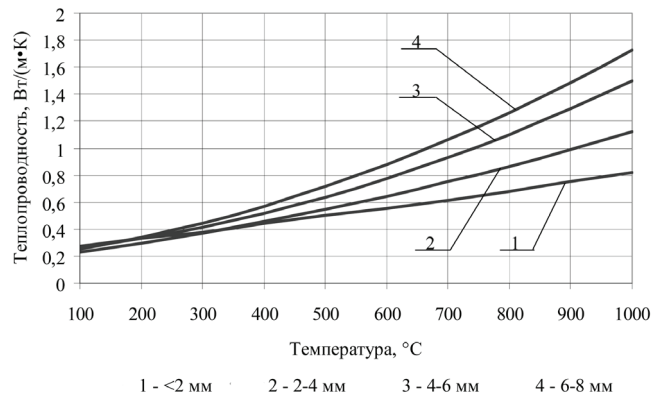


Рис. 1. Теплопроводность сырой коксовой мелочи

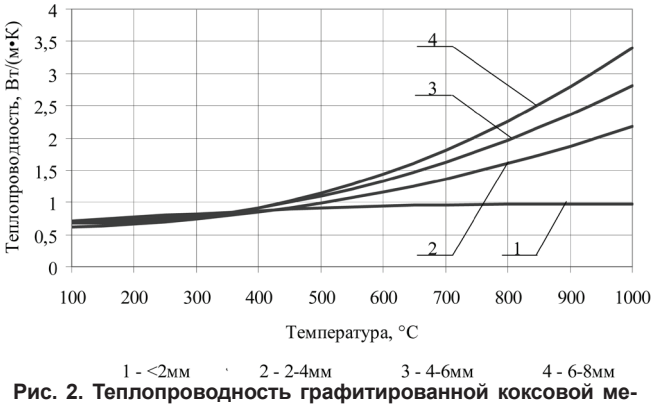


Рис. 2. Теплопроводность графитированной коксовой мелочи

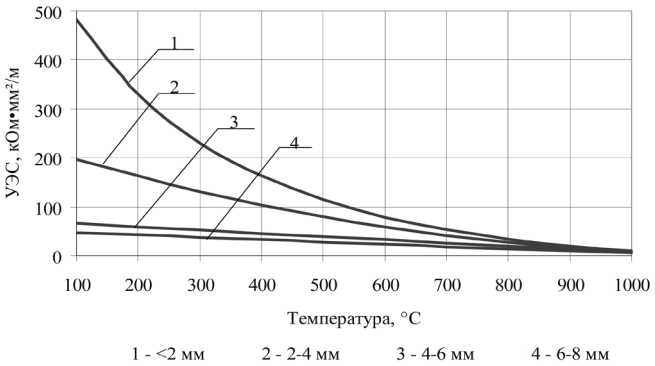


Рис. 3. Удельное электрическое сопротивление сырой коксовой мелочи

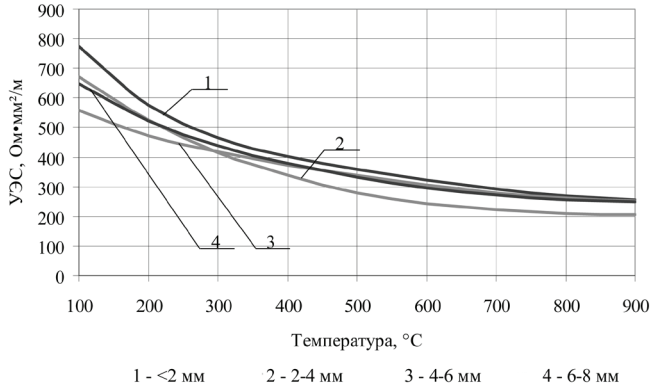


Рис. 4. Удельное электрическое сопротивление графитированной коксовой мелочи

Теплопроводность сырой коксовой мелочи в диапазоне температур 100–1000 °С изменяется от 0,25 до 1,73 Вт/(м·К). Теплопроводность графитированного материала имеет подобный сырому коксу характер температурной зависимости, но отличается количественно. В диапазоне температур 100–1000 °С теплопроводность графитированной коксовой мелочи изменяется от 0,62 до 3,39 Вт/(м·К).

Аппроксимированные результаты измерений УЭС сырой и графитированной коксовой мелочи приведены на рис. 3, 4.

Зависимость УЭС сырой и графитированной коксовой мелочи является обратно пропорциональной температуре. Наибольшее значение УЭС сырого материала при температуре 100 °С соответствует фракции меньше 2 мм и составляет 482 кОм·мм^2/м, а наименьшее – фракции 6–8 мм со значением 47,2 кОм·мм^2/м. С ростом температуры кривые УЭС для всех фракций приобретают асимптотический характер. При температуре 1000 °С значения УЭС равны 5,7 и 9,6 кОм·мм^2/м для фракций 6–8 мм и меньше 2 мм, соответственно. УЭС графитированной коксовой мелочи разных фракций имеет характер температурного изменения подобный сырой коксовой мелочи. Наибольшее значение УЭС при 100 °С принадлежит фракции меньше 2 мм и составляет 774 Ом·мм^2/м, наименьшее значение у фракции 4–6 мм – 557 Ом·мм^2/м. При температуре 900 °С УЭС разных фракций лежит в диапазоне от 205 до 257 Ом·мм^2/м.

С целью установления связи между теплопроводностью и УЭС были рассчитаны произведения $\lambda\rho$ для разных фракций сырого и графитированного кокса и в виде графиков температурной зависимости представлены на рис. 5, 6.

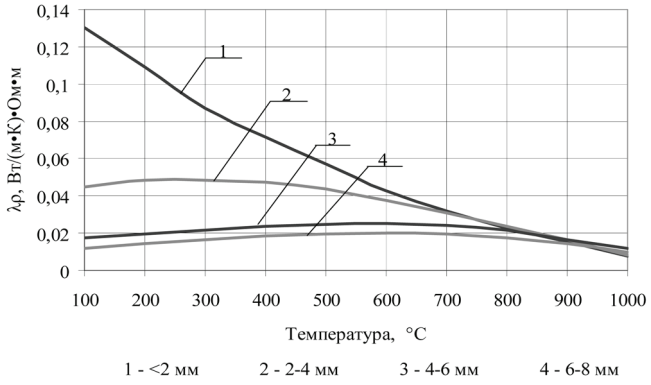


Рис. 5. Графики корреляционной зависимости между УЭС и теплопроводностью для разных фракций сырого кокса

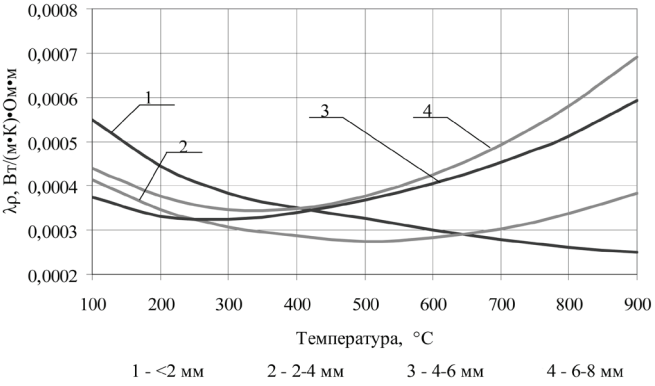


Рис. 6. Графики корреляционной зависимости между УЭС и теплопроводностью для разных фракций графитированного кокса

Для практического использования результатов в таблице приведены коэффициенты уравнения полинома второй степени от температуры, °С:

$$\lambda\rho = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 .$$

Из анализа приведенных графиков видно, что для сырой коксовой мелочи в диапазоне температур 100–1000 °С уменьшается величина λρ от 0,13 до 0,008 Вт/(м·К)·Ом·м. Графитированная коксовая мелочь в диапазоне температур 100–900 °С имеет значения $2{,}7\cdot10^{-4}$–$7\cdot10^{-4}$ Вт/(м·К)·Ом·м. У сырой коксовой мелочи кривая температурной зависимости величины λρ имеет выпуклость, а у графитированного материала – вогнутость. Следует отметить, что корреляционная зависимость для фракции менее 2 мм имеет отличный характер по сравнению с более крупными фракциями, это обусловлено влиянием значительным разбросом процентного состава порошкообразной доли, которая играет определяющую роль. Поэтому фракцию 0–2 мм нужно рассматривать как отдельный случай с более тщательно отобранным грансоставом.

Анализируя характер изменения теплопроводности и удельного электрического сопротивления от температуры, определен вклад составляющих произведения λρ. Теплопроводность сырого углеродного материала в диапазоне температур 100–1000 °С увеличивается почти в 7 раз, тогда как УЭС уменьшается в 50 раз. Таким образом, характер кривой произведения λρ определяет УЭС. У графитированного углеродного материала в температурном диапазоне 100–900 °С теплопроводность увеличивается в 6 раз, а удельное электрическое сопротивление уменьшается почти в 2,5 раза. Таким образом, порядок величин изменения теплопроводности и УЭС графитированной коксовой мелочи практически одинаковый, что говорит о равно определяющем влиянии на характер кривой λρ. Величина λρ описывается полиномами второй степени для каждой фракции сыпучего углеродного материала.

Обобщая зависимости с графиков (рис. 5, 6), можно получить корреляционные эмпирические уравнения поверхностей λρ для диапазона давлений (27-50 кПа), что определяются параметрами температуры (t, °С) и размерами гранул материала (d, мм), причем корреляционная связь является таковой, что требует учета взаимодействия между выше перечисленными параметрами:

– сырой кокс

$$\lambda\rho = 0{,}219 - 3{,}95\cdot10^{-4}\cdot t + 1{,}83\cdot10^{-7}\cdot t^2 - 7{,}13\cdot10^{-2}\cdot d + 5{,}87\cdot10^{-3}\cdot d^2 + 1{,}71\cdot10^{-4}\cdot t\cdot d - 1{,}54\cdot10^{-5}\cdot t\cdot d^2 - 9{,}85\cdot10^{-8}\cdot t^2\cdot d + 9{,}42\cdot10^{-9}\cdot t^2\cdot d^2;$$

– графитированный кокс

$$\lambda\rho = 7{,}425\cdot10^{-4} - 1\cdot10^{-6}\cdot t + 3{,}98\cdot10^{-10}\cdot t^2 - 1{,}28\cdot10^{-4}\cdot d + 1{,}36\cdot10^{-5}\cdot d^2 + 1{,}9\cdot10^{-7}\cdot t\cdot d - 2{,}43\cdot10^{-8}\cdot t\cdot d^2 + 5{,}63\cdot10^{-11}\cdot t^2\cdot d + 7{,}9\cdot10^{-12}\cdot t^2\cdot d^2.$$

Отклонение результатов используемых корреляционных зависимостей не превышает 20 % (среднее значение отклонения не превышает 6 %). Зависимость λρ описывается разложением ряда Тейлора с квадратичными членами и коэффициентами детерминации $R^2 = 0{,}97$ для сырого кокса и $R^2 = 0{,}87$ для графитированного кокса.

Выводы

Измерение теплопроводности сыпучего материала характеризуется методической сложностью и высокой результирующей погрешностью измерения. Установление корреляционной зависимости позволяет осуществить оценку величины теплопроводности по удельному электрическому сопротивлению.

В результате измерений на коксовом материале размерами до 8 мм в температурном диапазоне 100–1000 °С получены температурные зависимости, которые для теплопроводности являются прямо пропорциональными, а для УЭС – обратно пропорциональными. Результирующие кривые произведения λρ определяются величинами производных его составляющих величин, т.е. большей по значению производной функции теплопроводности и УЭС принадлежит основной вклад в характер корреляционной зависимости. Дополнительно получены функциональные зависимости произведения λρ от температуры и размера гранул сыпучего углеродного материала.

Библиографический список

1. Шулепов С.В. Физика углеграфитовых материалов. - М.: Металлургия, 1972. - 256 с.

2. Powell R.W. Industr. Carbon a. Graphite, L., 1958. – 46 p.

3. Blackman L.C.F. Research, 1960. - V. 13, № 11. 441 p.

4. Tyler W.W., Wilson A.C. Phys., Rev., 1953. - . V. 89, № 4. 870 p.

5. Bowman J.C. a.o. Indust. Carbon a. Graphite. - L., 1958. – 42 p.

6. Лутков А.И. Тепловые и электрические свойства углеродных материалов. - М.: Металлургия, 1990. - 175 с.

Таблица. Произведение λρ для сырой и графитированной коксовой мелочи

Материал	Фракция, мм	Плотность, кг/м³	Диапазон температур, °С	Произведение λρ, Вт/(м·К)· Ом·м, коэффициенты уравнения полинома второго порядка		
				a_0	a_1	a_2
Сырая коксовая мелочь	< 2	740	100-1000	0,153	$-2{,}41\cdot10^{-4}$	$9{,}7\cdot10^{-8}$
	2-4	590		0,044	$3{,}16\cdot10^{-5}$	$-6{,}92\cdot10^{-8}$
	4-6	490		0,011	$5{,}31\cdot10^{-5}$	$-5{,}2\cdot10^{-8}$
	6-8	500		0,006	$4{,}96\cdot10^{-5}$	$-4{,}56\cdot10^{-8}$
Графит. коксовая мелочь	< 2	730	100-900	$6{,}05\cdot10^{-4}$	$-8{,}14\cdot10^{-7}$	$4{,}80\cdot10^{-10}$
	2-4	540		$4{,}80\cdot10^{-4}$	$-7{,}93\cdot10^{-7}$	$7{,}67\cdot10^{-10}$
	4-6	560		$3{,}99\cdot10^{-4}$	$-4{,}37\cdot10^{-7}$	$7{,}28\cdot10^{-10}$
	6-8	560		$5{,}06\cdot10^{-4}$	$-8{,}58\cdot10^{-7}$	$1{,}19\cdot10^{-9}$

7. Установка для дослідження питомого електричного опору вуглецевих матеріалів / Є.М. Панов, Г.М. Васильченко, Т.В. Чирка // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження: зб. наук. праць. - 2011. - № 1(6). - С. 18-20.

8. Установка для измерения теплопроводности углеродных зернистых и порошковых материалов / Е.Н. Панов, Г.Н. Васильченко, Т.В. Чирка, В.М. Голчанская // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження: зб. наук. праць. - 2011. - № 1(7) додаток. - С. 58-63.

Поступила 05.06.2013

◆

УДК 662.749:067.5

Наука

Коверя А.С. /к.т.н./
НМетАУ

Взаимосвязь спекающей способности углей и их смесей с внешней удельной поверхностью

Предложено при составлении угольных шихт для коксования использовать новый показатель, основанный на соотношении внешней удельной поверхности хорошо и плохо спекающихся углей. Установлены и проанализированы взаимосвязи предлагаемого показателя со спекающей способностью угольных смесей. Исследована возможность расчетного определения величины внешней удельной поверхности угольных смесей. Ил. 1. Табл. 6. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: *угольная шихта, внешняя удельная поверхность, воздухопроницаемость, аддитивные свойства, спекающая способность, метод Рога*

It is suggested to use new index based on the ratio of external specific surface of well and bad caking coalswhile making up coal charge for coking. The relations of proposed index with coal caking power and both coal mixtures have been defined and analyzed. The possibility of calculating the size of external specific surface of coal mixtures has been examined.

Keywords: *coal charge, external specific surface, air permeability, addition properties, caking power, method Roga*

Введение

Удельная поверхность (УП) характеризует уровень дисперсности материалов и имеет большое значение в технологических процессах их переработки. Так, при термической деструкции углей без доступа воздуха их спекание происходит по поверхности, величина которой имеет большое значение при физических и химических процессах взаимодействия компонентов угольной загрузки и как следствие, при формировании свойств кокса. Известно, что при чрезмерном измельчении углей наблюдается эффект «самоотощения», когда для смачивания большой поверхности угольных частичек не хватает жидкой фазы пластической массы. При достаточно крупном измельчении углей ухудшается однородность структуры получаемого кокса в результате того, что процессы термической деструкции углей и образования полукокса и кокса в значительной степени происходят обособленно в угольных частицах.

Современные угольные шихты являются многокомпонентными и при этом включают угли разных месторождений, что требует изучения влияния отдельных компонентов шихты на процесс термической деструкции, а также усложняет прогнозирование качества кокса.

По сути, угольную шихту можно рассматривать как двухкомпонентную смесь, которая состоит из спекающей и отощающей части. Соотношение этих групп углей в смеси и уровень их измельчения должно обеспечивать хорошее взаимодействие угольных частиц на стадии пластического состояния. Учитывая то, что процесс спекания углей является поверхностным, можно предположить, что для хорошего взаимодействия угольных частиц при их термической деструкции и для получения кокса хорошего качества необходимо выполнение условия, согласно которому угольной пластической массы должно хватить для спекания как основных спекающих компонентов шихты, так и плохо спекающейся и неспекающейся её части. Исходя из этого, соотношение внешней УП хорошо спекающихся углей к плохо спекающимся должно равняться или быть больше единицы.

Различают понятия внешней и внутренней УП углей. Под внешней УП понимают суммарную поверхность всех угольных частиц, приходящуюся на единицу их массы. Внутренней считают поверхность всех пор и микротрещин единицы массы угля.

Постановка задачи

Целью работы являлось установление возможности использования для составления угольных шихт и прогнозирования качества кокса показателя, который характеризует величину внешней УП компонентов шихты. Для этого необходимо было получить зависимости спекающей способности углей и их смесей, а также качества высокотемпературного кокса от из-

© Коверя А.С., 2013 г.

менения величины внешней УП шихт.

Результаты исследований и их анализ

Для установления внешней УП использовался метод, сущность которого заключается в воздухопроницаемости слоя угля заданной крупности при атмосферном давлении. В ходе опыта, для определения внешней УП, фиксируют разрежение в приборе, объём воздуха, прошедшего через слой материала и продолжительность опыта. Также после опыта устанавливают массу анализированной пробы и подсчитывают величину порозности слоя угля, для чего предварительно определяют их кажущуюся плотность. Кроме того, для расчета внешней УП необходимо знать вязкость воздуха при температуре опыта и константу прибора.

В качестве предмета исследований были взяты угольные концентраты, характеристика которых представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика угольных концентратов

Наименование ЦОФ	Марка	Технический анализ, %			Средний показатель отражения витринита, %	Пластометрические показатели, мм	
		A^d	V^{daf}	S_t^d	R_o	y	x
Кондратьевская	Г	7,5	37,7	0,57	0,73	8	31
Самсоновская	Ж	7,6	34,8	2,38	0,93	18	10
Колосниковская	К	9,5	22,7	1,67	1,18	16	11
Шолоховская	КС	8,8	24,2	0,29	1,14	<6	37

Уровень измельчения слабо спекающихся концентратов марок Г и КС составлял 100 % содержания класса крупности < 3 мм. Для марок Ж и К класс крупности менее 3 мм составлял 70 %, остальные 30 % имели класс крупности 6-3 мм.

Результаты определения внешней УП угольных концентратов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Внешняя удельная поверхность угольных концентратов

Марка угольного концентрата	Внешняя удельная поверхность (S, см^2/г)
Г	1403,2
Ж	1288,5
К	1317,9
КС	1836,3

Внешняя УП концентратов возрастает в следующем порядке: Ж, К, Г, КС. Следует отметить, что в ходе исследований наибольшим разрежением, а также массой пробы характеризовались концентраты марок Ж и К, что свидетельствует о прямой зависимости снижения УП с увеличением крупности углей.

Важное значение с точки зрения составления угольных шихт для коксования, имеет оценка аддитивности показателей, характеризующих качество используемых компонентов смеси. Естественно, что применение аддитивных показателей свойств углей позволяет лучше осуществлять оптимизацию состава шихт для коксования.

Исходя из этого, была выполнена оценка возможности расчетного определения величины внешней УП угольных смесей. Были составлены бинарные смеси в соотношении 1:1, учитывая дисперсность и массу проб, которая была определена при исследовании внешней УП индивидуальных концентратов. Оценку аддитивности внешней УП угольных смесей осуществляли с использованием коэффициента аддитивности, который представляет собой отношение фактического значения показателя к рассчитанному по правилу аддитивности (табл. 3).

Таблица 3. Коэффициент аддитивности бинарных угольных смесей

Наименование пробы	Коэффициент аддитивности
Г+Ж	1,4
Г+К	0,7
Г+КС	0,96
Ж+К	0,96
Ж+ПС	2,3
К+ПС	3,6

Как следует из табл. 3, внешняя УП угольных смесей, которая является физическим свойством, не подчиняется правилу аддитивности. Это связано с практической сложностью получения идентичного размера зерен загрузки при подготовке пробы даже в лабораторных условиях, не говоря уже о промышленных. Тем не менее, достаточно высокой аддитивностью характеризуются бинарные смеси слабоспекающихся и хорошо спекающихся углей Г+КС и Ж+К, т.к. они имеют схожий гранулометрический состав.

Очевидно, что также не следует ожидать выполнения правила аддитивности при изучении многокомпонентных смесей. Неаддитивность внешней УП угольных смесей также была обнаружена в работе [1].

Следующим этапом работы было установление зависимости спекающей способности углей и их смесей от изменения величины их внешней УП. Для этого были составлены угольные смеси, в которых варьировалось содержание концентратов марок Г, Ж и К, тогда как содержание марки КС в смесях оставалось постоянной величиной – 10 % (табл. 4).

Таблица 4. Составы угольных смесей и их характеристика

№ варианта смеси	Содержание угольных концентратов в смеси, %				Технический анализ, %			Пластометрические показатели, мм	
	Г	Ж	К	КС	A^d	V^{daf}	S_t^d	y	x
1	60	15	15	10	7,9	33,7	1,31	11	27
2	50	15	25	10	8,1	32,2	1,41	11	25
3	50	25	15	10	8,0	33,4	1,47	12	24
4	40	15	35	10	8,3	30,7	1,51	12	23
5	40	25	25	10	8,2	31,9	1,57	12	22
6	40	35	15	10	8,0	33,1	1,62	13	21
7	30	25	35	10	8,4	30,4	1,66	13	19
8	30	35	25	10	8,2	31,6	1,72	14	18

Спекающую способность углей оценивали по методу Рога [2], сущность которого заключается в скоростном нагревании при постоянном давлении смеси угля и отощающей добавки (антрацита) и определении механической прочности углеродистого остатка,

полученного в тигле. Результаты определения спекающей способности угольных концентратов и их смесей представлены в табл. 5.

Таблица 5. Значения индекса Рога угольных концентратов и их смесей

Наименование пробы	Индекс Рога (RI, ед.)
Г	12,8
Ж	48,8
К	23,7
КС	19,9
Г60+Ж15+К15+КС10	15,4
Г50+Ж15+К25+КС10	13,8
Г50+Ж25+К15+КС10	16,1
Г40+Ж15+К35+КС10	15,2
Г40+Ж25+К25+КС10	18,6
Г40+Ж35+К15+КС10	19,9
Г30+Ж25+К35+КС10	20,9
Г30+Ж35+К25+КС10	22,5

Естественно, что наибольшей спекающей способностью обладает концентрат марки Ж. Следует отметить относительно небольшую разницу в индексе Рога хорошо спекающегося концентрата марки К и плохо спекающегося марки КС, имеющего наименьшую толщину пластического слоя (табл. 1), но, по-видимому, обладающего высокой текучестью пластической массы. Что касается угольных смесей, то для них наблюдается четкая закономерность: при снижении содержания доли слабоспекающихся углей в смеси, и соответственно, увеличении содержания хорошо спекающихся углей, индекс Рога возрастает.

Для учета внешней УП компонентов угольной смеси предложен показатель, отражающий их долевое участие, а также соотношение внешних УП хорошо и плохо спекающихся углей – ESSC (от англ. External Specific Surface of Coal). Для угольных концентратов, которые использовались в работе, показатель ESSC определялся по формуле

$$ESSC = \frac{C_Ж \cdot S_Ж + C_К \cdot S_К}{C_Г \cdot S_Г + C_{КС} \cdot S_{КС}}$$

где С – содержание угольного концентрата в смеси в долях единицы; S – внешняя УП угольного концентрата, см^2/г; Ж, К, Г, КС – марки угольных концентратов.

По предложенной формуле были рассчитаны значения ESSC для всех угольных смесей (табл. 6).

Таблица 6. Результаты расчета показателя ESSC угольных смесей

№ смеси по табл. 4	Значение ESSC
1	0,380
2	0,591
3	0,587
4	0,880
5	0,874
6	0,870
7	1,295
8	1,290

Показатель ESSC увеличивается при повышении долевого участия в смесях хорошо спекающихся концентратов марок Ж и К. Наибольшее значение ESSC имеют смеси 7 и 8 – ESSC составляет более единицы. Необходимо отметить, что приблизительно одинаковые значения ESSC имеют угольные шихты под номерами 2 и 3, затем 4, 5 и 6, также практически идентичны по величине соотношения УП смеси 7 и 8.

Для того чтобы установить насколько данный показатель характеризует взаимодействие угольных частиц при их термической деструкции была получена зависимость изменения спекающей способности угольных смесей от ESSC (рисунок).

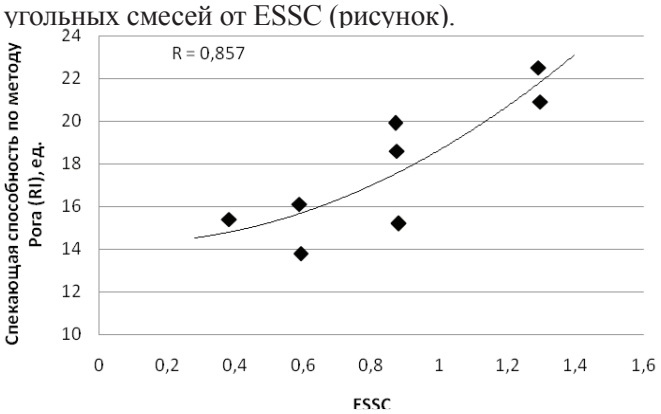


Рисунок. Изменение спекающей способности угольных смесей по методу Рога (RI) в зависимости от показателя соотношения внешней УП (ESSC)

График демонстрирует, что при увеличении показателя ESSC спекающая способность угольных смесей возрастает. Следовательно, с целью улучшения взаимодействия разнодисперсных компонентов в смеси при их термической деструкции и, как следствие, получения более однородной структуры кокса, при составлении угольных шихт для коксования необходимо учитывать показатель, отражающий внешнюю удельную поверхность компонентов смеси.

Выводы

1. Предложен новый показатель, который учитывает соотношение внешних УП хорошо и плохо спекающихся углей.

2. Проверена возможность расчетного определения величины внешней УП угольных смесей и установлено, что данная характеристика углей не подчиняется правилу аддитивности.

3. Определено, что показатель ESSC находится в достаточно тесной корреляции со спекающими свойствами угольных смесей, в частности, со спекающей способностью по методу Рога.

Следующим этапом работы являлось проведение высокотемпературных коксований и установление взаимосвязи предлагаемого показателя с качеством кокса. Результаты этих исследований будут опубликованы в следующем сообщении.

Библиографический список

1. Беккер Е.Я., Гольдберг П.Я. О методе определения внешней удельной поверхности угольных шихт // Химия твердого топлива. – 1969. – № 5. – С. 15-21.

2. ГОСТ 9318-91. Уголь каменный. Метод определения спекающей способности по Рога. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 9 с.

Поступила 30.07.2013

УДК 669.184:669.141.245

Производство

Ботштейн В.А., Рудюк А.С. /к.т.н./,
Гахеладзе Г.С.
ГП «УкрНТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ»

Чичкарев Е.А.
ГВУЗ «ПГТУ»
Попов Е.С., Костыря И.Н.
ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Раскисление и внепечная обработка кислородно-конвертерной рельсовой стали К76Ф

Представлены основные элементы технологии раскисления рельсовой стали в конвертерном цехе ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ». Проанализировано изменение равновесной со шлаком активности кислорода при внепечной обработке рельсовой стали. Показано заметное влияние массовой доли кальция в стали на активность кислорода по завершении внепечной обработки, установлены рациональные пределы ее варьирования и целесообразность двустадийной обработки кальцием. Показано снижение уровня загрязненности неметаллическими включениями рельсов из конвертерной стали по сравнению с мартеновскими. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: *сталь, внепечная обработка, науглероживание, раскисление, неметаллические включения, активность кислорода*

One be shown main elements of deoxidation technology of rail steel in converter shop at «MK «AZOVSTAL». One be analyzed change of oxygen activity balanced with slag during out-of-furnace processing of rail steel. One be shown visible impact of calcium mass concentration in steel at oxygen activity upon completion of out-of-furnace processing, one be installed rational limits of its variation and expediency of two-stage processing by calcium. One be shown reduction of pollution level by non-metallic rail insertions from converter steel in comparison with open-hearth steel.

Keywords: *steel, out-of-furnace processing, carbonization, deoxidation, non-metallic insertions, oxygen activity*

Наличие в рельсовой стали недеформируемых неметаллических включений (НВ) глинозема и отчасти твердых алюминатов ускоряет образование контактно-усталостных дефектов в рельсах в процессе эксплуатации [1, 2]. Для уменьшения вредного влияния оксидных включений на металлургическое качество рельсов необходимо предотвращать попадание алюминия в сталь и использовать различные методы модифицирования НВ [3, 4].

Как показал опыт разработки технологии выплавки и внепечной обработки рельсовой стали в условиях конвертерного цеха ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ», для управления процессом раскисления и контроля загрязненности рельсовой стали оксидными НВ может использоваться измерение активности кислорода, растворенного в стали, на различных стадиях внепечной обработки.

Рельсовую сталь марки К76Ф выплавляли в 350-т кислородном конвертере с «передувом», на выпуске из конвертера в металл присаживались науглероживатель, ферросплавы, твердая шлакообразующая смесь или известь, после чего металл подвергали внепечной обработке.

Была отработана технология комплексного науглероживания конвертерной плавки жидким чугуном (из расчета присадки 0,50–0,55 % масс. С) и твердыми углеродсодержащими материалами (из расчета присадки 0,20–0,25 % масс. С), при этом массовая доля фосфора в готовой стали не превышала 0,015 %.

Расчетная равновесная активность кислорода в раскисленной кремнием и марганцем рельсовой стали (около 0,8 % С) составила менее 25–30 ppm, что соответствует результатам прямых измерений датчиками Celox.

Расход кремний- и марганецсодержащих сплавов (ферросилико-марганца, при необходимости – ферросилиция) выбирался таким, чтобы достигалась массовая доля марганца, близкая к среднемарочной, и формировались жидкие включения силикатов марганца.

Окончательное раскисление плавки осуществлялось на установке ковш-печь присадками силикокальция, а раскисление ковшового шлака – твердым углеродсодержащим материалом и гранулированным алюминием или карбидом кальция. Контроль окончательного раскисления осуществлялся по величине активности кислорода и массовой доле кальция.

Анализ диаграммы изоактивностей бинарной системы $CaO - SiO_2$ [5] показал, что даже для насыщенной двухкальциевым силикатом шлаковой фазы (активность SiO_2 около 0,04) расчетная активность растворенного кислорода составляет свыше 20 ppm (при температуре 1600 °С).

Учитывая высокую вязкость чисто силикатных шлаков, предпочтительными для внепечной обработки рельсовой стали являются шлаки $CaO - SiO_2 - Al_2O_3 - MgO$ с низкой активно-

© Ботштейн В.А., Рудюк А.С., Гахеладзе Г.С., Чичкарев Е.А., Попов Е.С., Костыря И.Н., 2013 г.

стью Al_2O_3 . Результаты расчета активности растворенного в стали кислорода, равновесного со шлаком различной основности, представлены на рис. 1.

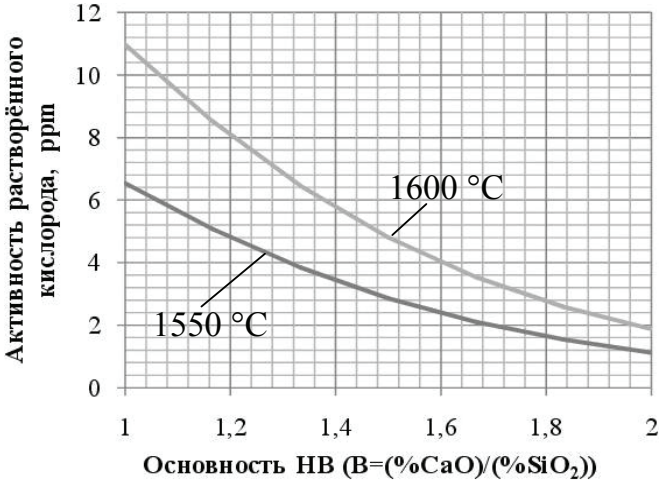


Рис. 1. Расчетная активность растворенного кислорода в рельсовой стали. Раскисление кремнием [Si] = 0,3 % масс., равновесие со шлаком $CaO - SiO_2 - Al_2O_3 - MgO$

Активность SiO_2 и Al_2O_3 рассчитывалась по модели [6]. Как видно на рис. 1, равновесная активность кислорода ($a_{[O]}$) на уровне 10 ppm (при температуре 1600 °С) достигается лишь при низкой основности шлаковой фазы (около 30 % SiO_2). По мере увеличения основности величина $a_{[O]}$ снижается, однако снижение активности кислорода до уровня менее 3,5 ppm (при температуре 1550 °С) нежелательно вследствие возможного восстановления алюминия и формирования хрупких алюминатов кальция.

Наилучшие результаты по величине активности растворенного кислорода обеспечила технология диффузионного раскисления.

В рамках данного варианта технологии раскисление ковшового шлака в процессе доводки производится гранулированным алюминием, присаживаемым на шлак. Алюминий присаживался 2–4 порциями по 50–70 кг в процессе нагрева и десульфурации стали.

Массовая доля алюминия в верхних слоях металла не превышала 0,010 % с последующим снижением до 0,005 % по мере перемешивания содержимого ковша и вакуумирования. Результаты промышленного эксперимента, показывающего изменение активности растворенного кислорода по мере роста массовой доли кальция в металле, представлены на рис. 2.

При внепечной обработке рельсовой стали без вакуумирования кальций присаживался одной (0,35–0,40 кг/т) или двумя порциями (при необходимости дополнительного раскисления плавки до $a_{[O]} < 10$ ppm или корректировки массовой доли кальция). Контроль активности кислорода в стали показал, что по мере раскисления шлака активность снижается до 8–10 ppm, а после обработки кальцием – до 4–6 ppm и менее.

При выплавке рельсовой стали с вакуумированием массовая доля кальция по ходу внепечной обработки существенно изменялась. По завершении нагрева и обработки кальцием на установке ковш-печь (суммарный расход кальция 0,27 кг/т) массовая доля кальция изменялась в пределах 0,0040–0,0070 % масс. После вакуумирования массовая доля кальция снижалась до величины менее 0,0015 % масс., а после присадки еще 0,13 кг/т кальция (по завершении вакуумирования) увеличивалась до 0,0025–0,0030 % масс., при этом активность растворенного кислорода (по сравнению с обработкой без вакуумирования) была заметно меньше и на большинстве проконтролированных плавок составила менее 4 ppm.

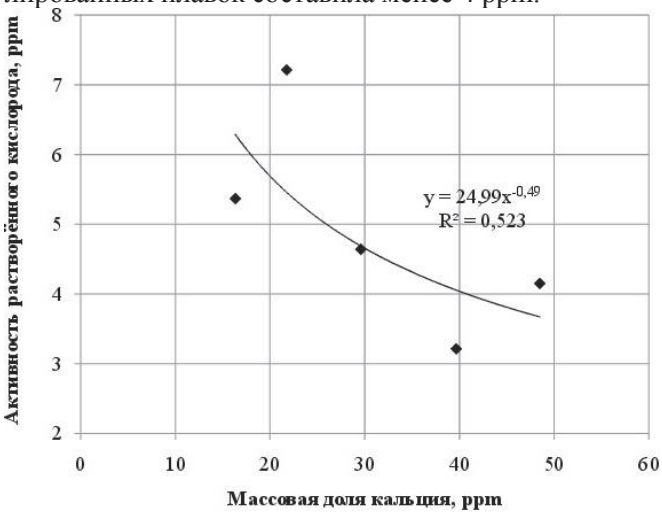


Рис. 2. Влияние массовой доли кальция на активность кислорода в рельсовой стали (массовая доля кальция – по завершении внепечной обработки)

После окончания внепечной обработки стали зеркало металла в сталеразливочном ковше утепляли теплоизолирующей смесью. Разливку рельсовой стали осуществляли сифонным способом в изложницы с прибыльными надставками.

Разработанные технологии выплавки и внепечной обработки в кислородно-конвертерном цехе обеспечила получение рельсовой стали с химическим составом в более узких пределах по сравнению с требованиями ДСТУ 4344:2004, фактическое содержание кислорода и водорода находилось в пределах 4,1–11,1 ppm и 2,3–4,1 ppm, соответственно.

Исследование загрязненности рельсов из конвертерной стали К76Ф неметаллическими включениями показало, что по длине строчек нитридов рельсы отвечают требованиям высшей категории ДСТУ 4344, при этом длина строчек не превышала 0,5 мм (допускается длина 1 мм). Длина строчек хрупкоразрушенных оксидов (алюминатов, силикатов, шпинелей и др.) в рельсах из конвертерной стали марки К76Ф в 60 % случаев отвечает требованиям высшей категории (≤ 1 мм), а в 40 % – первой категории ДСТУ 4344 (≤ 4 мм). Следует отметить, что длина строчек хрупкоразрушенных оксидов в рельсах из конвертерной стали практически в 2 раза меньше, чем в рельсах из мартеновской стали (таблица).

Таблица. Загрязненность рельсовой стали хрупкоразрушенными оксидами

Марка стали	Средняя длина строчек хрупкоразрушенных окислов, мм	
	в головных рельсах	в донных рельсах
К76Ф	0,59	0,55
М76Т	1,15	0,95

Механические свойства термоупрочненных рельсов полностью удовлетворяли требованиям категории 1 по ДСТУ 4344.

Установочная партия рельсов из кислородно-конвертерной стали была подвергнута квалификационным испытаниям, включавшим лабораторные испытания в условиях ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» и стендовые испытания на усталость в ОАО «ВНИИЖТ» (Москва). Результаты квалификационных испытаний показали, что разработанная технология обеспечивает свойства рельсов в соответствии с требованиями ДСТУ 4344, а также - НБ ЖТ ТМ 01-98 «Элементы верхнего строения железнодорожного пути. Нормы безопасности».

Выводы

1. В условиях конвертерного цеха ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» разработана технология выплавки и внепечной обработки конвертерной рельсовой стали марки К76Ф и освоено промышленное производство термоупрочненных железнодорожных рельсов типа Р65 из этой стали.

2. Предложена технология комплексного науглероживания низкоуглеродистого полупродукта жидким чугуном и твердым науглероживателем, обеспечивающая массовую долю фосфора в стали не более 0,015 % масс.

3. Установлено, что снижение балла загрязненности готовых рельсов оксидными включениями достигается при формировании включений оптимального состава за счет обработки кальцием в две стадии с контролем необходимости дополнительной обработки по величине активности растворенного кислорода.

4. При внепечной обработке рельсовой стали корректирующая обработка кальцием необходима, если активность растворенного в стали кислорода превышает 10 ppm.

Библиографический список

1. Улучшение качества рельсов из стали, раскисляемой алюминием / А.А. Дерябин, В.В. Могильный, А.Б. Добужская // Сталь. – 1997. – № 7. – С. 50–55.

2. Рейхарт В.А. Контактно-усталостная стойкость опытных рельсов производства ОАО «КМК» // Сб. тр. юбилейной рельсовой комиссии ОАО «КМК». – 2002. – Новокузнецк: ОАО «Новокузнецкий полиграфкомбинат». – С. 35–42.

3. Гарбер А.К. Анализ термодинамики процессов раскисления и оптимизация технологии внепечной обработки рельсовой стали / А.К. Гарбер // Автореф. дисс. … канд. техн. наук: 05.16.02. – М.: Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. – 2009.

4. Применение фракционного газового анализа для оценки эксплуатационных свойств рельсовой стали / К.В. Григорович, А.М. Арсенкин, С.С. Шибаев // Сб. докл. по материалам Рельсовой комиссии 2004. – Магнитогорск, 2004. – С. 94–107.

5. Атлас шлаков: Справ. изд. – М.: Металлургия, 1985. – 208 с.

6. Ohta H. Activities of SiO_2 and Al_2O_3 and activity coefficients of Fe_tO and MnO in $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO$ slags / H. Ohta, H. Suito // Metallurgical and Materials Transactions B. – 1998. – Vol. 29B. – P. 119–129.

Поступила 04.06.2013

◆

УДК 669.18

Наука

Харахулах В.С., Зражевский А.Д.
ОП «Металлургпром»

Охотский В.Б. /д.т.н./
НМетАУ

Развитие контроля окисленности стали

Проанализировано формирование окисленности стали на всех этапах ее производства и определены его закономерности. Табл. 5. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: *сталь, шлак, окисленность стали*

Analyzed the formation of oxidized steel at all stages of its production and the values of its laws.

Keywords: *steel slag, steel oxidation.*

1. История и состояние вопроса

Бессемеровская сталь стала производиться стабильно необходимого качества после того, как она начала раскисляться марганцем по патенту R. Mushet (Франция, 1856). Но только в начале XX века появились эпизодические анализы на содержание в ней кислорода, благодаря работам А. Ledebour (Франция), Г. Вейнберга (Россия),

© Харахулах В.С., Зражевский А.Д., Охотский В.Б., 2013 г.

C.F. King (США), F. Muller (Германия), C.H. Herty (США) и др. Они носили исследовательский характер и в 1920-40-х годах постепенно начали создаваться диаграммы раскисления стали различными элементами, которые продолжали пересматриваться и уточняться вплоть до 1980-х гг.

Параллельно шло практическое освоение раскисления кипящих (КП), полуспокойных (ПС), спокойных (СП) и химически закупориваемых, в конечном итоге, алюминием (ХЗА) сталей.

В Украине в 1928-29 гг. на Макеевском МЗ для предотвращения сваривания листов при пакетной прокатке в сталь КП начали добавлять кремний и это был один из первых в мировой практике опытов производства полуспокойной стали, которая в 1940-е гг. получила заметное распространение во многих странах, заняв место между КП и СП сталями.

Соответственно, постепенно выработался принцип выбора ее состава, обеспечивающий необходимую структуру стального слитка [1-3], который в дальнейшем был дополнен и обобщен [4, 5]. Несмотря на значительные отличия в условиях производства, выяснилось, что существуют оптимальные концентрации кислорода, величины которых были близки между собой, как показал анализ опубликованных данных [4], а минимизация рванин на стали ПС в прокате обеспечивается зависящей от содержания кислорода в металле [0] оптимальной скоростью разливки [2].

В начале 1970-х гг. в зарубежной практике разливки стали начали применять зонды-активометры (З-А) для контроля ее окисленности и определения параметров оптимального раскисления. Устройства контроля окисленности стали (УКОС) появились в отечественной практике в 1970-х гг. и были использованы как для контроля окисленности стали, так и для выработки технологических параметров ее раскисления [6, 7].

В 1930-х гг. для производства стальных слитков промежуточных структур на заводах США стали применять механическое и химическое закупоривание, упрощавшее технологию разливки [7]. Со временем от бутылочных изложниц отказались, сегодня некоторые предприятия [8] возвращаются от технологии ХЗА к производству ПС стали, как менее дефектной в прокате.

Таблица 1. Динамика окисленности металла и шлака при производстве стали

Сталь	Параметр	Этапы производства				
		1	2	3	4	5
3КП	[0], ppm	316-365 340/2	248-397 302/8	209-344 267/7	127-215 179/5	117-233 168/6
	(Fe), %	10-27 17/17	7-23 13/19	5-16 11/16	7-15 11/4	5-14 9/12
3ПС	[0], ppm	338-363 348/3	178-271 224/2	157-218 188/2	-	86-177 132/2
	(Fe), %	13-18 16/4	9-19 13/4	7-13 9/3	-	5-8 6/4
КПТ	[0], ppm	-	110 110/1	142 142/1	-	55 55/1
	(Fe), %	9-10 10/2	7-8 8/2	5 5/2	-	5 5/1
3СП	(Fe), %	1-2 12/1	1-0 10/1	5 5/1	-	5 5/1

Таблица 2. Взаимосвязь окисленности металла и шлака

Сталь	Этапы производства				
	1	2	3	4	5
3КП	20	23	24	16	19
3ПС	22	17	21	-	22
КПТ	-	14	28	-	11

Таблица 3. Изменение состава стали при продувке в ковше аргоном

Параметр	Фурма	Время продувки, мин		
		3-4	5-6	7-8
ΔC	В	1,08	1,02	0,88
	Н	0,98	1,08	-
ΔSi	В	1,50	1,20	1,36
	Н	1,45	-	-
ΔMn	В	1,06	1,08	1,05
	Н	1,10	1,03	-
ΔFe	В	1,10	1,24	1,15
	Н	-	1,04	-

2. Закономерности окисленности стали

Активность кислорода в конвертерной стали, измеренная З-А, дает с углеродом произведение $C \cdot \alpha_o$, величина которого не зависит от параметров конвертера, расхода кислорода, высоты фурмы $h_{ср}$ относительно уровня спокойной ванны, температуры и окисленности шлака [9].

Использование З-А при производстве ПС стали показало, что фактическое содержание кислорода в стали находится в равновесии с кремнием и марганцем [10] и ниже равновесного с углеродом [5, 11].

Динамика изменения содержания кислорода в стали на всех этапах ее производства изучена только для СП стали [12]. Сделан вывод о том, что содержание кислорода в ковше с кислой футеровкой выше, чем с основной. Это противоречит анализу равновесия в системе «металл-огнеупор», согласно которому минимальная окисленность металла достигается при кислой футеровке [13] так же, как и кислые сталеплавильные процессы.

3. Динамика [0] и (Fe) при производстве стали

На 250-т кислородных конвертерах верхнего дутья на этапах пребывания металла после продувки в агрегате (1), выпуска в ковш (2), гомогенизирующей ванну в ковше продувки аргоном через погружаемую фурму (3), разливки менее половины плавки (4), при остатке в ковше менее 100 т стали (5) отбирали пробы металла и шлака, которые анализировались, в том числе, соответственно, на содержание кислорода [0] и оксидов железа (Fe). В табл. 1 приведены результаты исследования производства ст.3КП, ст.3ПС, ст.КПТ и ст.3СП (в числителе указан диапазон содержания этих компонентов, в знаменателе – средняя величина диапазона / количество определений).

Наиболее значительные изменения окисленности металла и шлака происходят при выпуске плавки из конвертера в ковш (этапы 1-2). В дальнейшем величина изменений уменьшается и, например, для сталей КПТ и ЗСП содержание оксидов железа в шлаке на этапах 3-5 практически постоянно.

В табл. 2 представлено отношение [0]/(Fe), ppm/%, в качестве характеристики взаимосвязи окисленности металла и шлака в конвертере и ковше. При определенном сходстве в динамике, наблюдается тенденция к снижению величины отношения на заключительных этапах. Это, очевидно, связано с затвердеванием поверхности шлака после окончания продувки аргоном (этап 3) и увеличением его вязкости, что уменьшает интенсивность массообмена в системе «шлак–металл».

4. Динамика продувки стали в ковше аргоном

Для продувки 250-т плавки в ковше аргоном использовалась погружаемая фурма, устанавливаемая по центру ковша вертикально (В) или наклонно (Н) под углом между вертикалью и осью фурмы 5-18° . Изменение отношения начальной к текущей и конечной концентрации углерода ΔC, кремния ΔSi и марганца ΔMn представлено в табл. 3. В большинстве случаев наблюдается определенное снижение величины отношения. Так как выплавка стали осуществлялась по технологии с передувом и присадкой углеродсодержащих материалов в ковш, а раскисление стали – ферромарганцем и силикомарганцем, то, очевидно, более легкие, чем сталь, материалы всплывали в подшлаковый слой, обогащая его соответствующими элементами. При отборе проб стали на глубине 500-600 мм содержание C, Si и Mn в пробе зависело от интенсивности циркуляции металла в ковше. Характеристика окисленности шлака $\Delta Fe = Fe_н / Fe_к$ также соответствовала динамике этого компонента (см. табл. 1).

5. Динамика окисленности металла при продувке в ковше

Анализ опубликованных отечественных (О) и зарубежных (З) исследований по динамике окисленности стали, продуваемой в ковшах вместимостью 1-330 т представлен в табл. 4. Характеристикой результативности продувки было отношение $\Delta O = [O]_н/[O]_к$, а аргументом – удельный расход газа V, м^3/т.

В отечественной практике наблюдается моно-

Таблица 4. Раскисление стали при продувке в ковше аргоном (ΔO = Он/Ок)

Источник	Удельный расход аргона, м^3/т			
	<0,1	0,1-0,3	0,3-1,0	>1,0
О	1,0-3,8 1,5/7	1,2-2,1 1,4/9	1,0-6,6 2,5/19	3,3 3,3/1
З	1,2-3,0 2,1/27	1,8-6,0 3,0/5	1,6-4,2 2,8/25	1,6-6,0 3,0/19

Таблица 5. Влияние интенсивности продувки стали аргоном на содержание в ней неметаллических включений

Источник	Метод анализа	Удельный расход аргона U, м^3/т			
		0,01-0,03	0,03-0,10	0,10-0,30	0,30-1,00
О	М	1,12-2,00 1,41/5	1,01-1,70 1,36/2	2,00 2,00/1	0,57-6,00 2,40/6
	Ф	-	1,10 1,10/1	1,55 1,55/1	1,55 1,55/1
З	М	-	-	-	0,80-3,20 2,30/3
	Ф	2,00 2,00/1	1,26-2,20 1,86/3	1,80-2,00 1,90/2	2,37-3,23 2,77/3
[12]	расчетный	1,01-1,04	1,04-1,14	1,14-1,50	1,50-3,80

тонный рост ΔO с увеличением V, однако при $V \leq 1$ результативность продувки ниже, чем в зарубежной. Очевидно, это связано с более совершенной конструкцией дутьевых устройств, в частности - с размерами сопел, уменьшение которых при увеличении их количества в блоке измельчает размер пузырей и увеличивает их удельную поверхность контакта с металлом, что интенсифицирует массообмен. В отечественной практике эффективность отделения шлака от металла при выпуске плавки в ковш еще недостаточна. При продувке возникает массообмен в системе «металл-шлак» с переносом кислорода в сталь.

6. Неметаллические включения (НВ)

При продувке стали в ковше происходит флотация неметаллических включений (НВ) в соответствии с различными моделями [12]. Изменение содержания НВ на практике исследуют металловедческими (М) или физическими (Ф) методами.

Проанализированы опубликованные данные отечественных (О) и зарубежных (З) исследований по определению влияния V, м^3/т, на $\Delta НВ = НВ_н / НВ_к$, где $НВ_н$ и $НВ_к$ – содержание НВ в стали перед и после продувки в ковше (табл. 5).

В отечественных работах величина ΔНВ при металловедческом контроле заметно выше, чем в более объективных физических методах исследования. Но в производственных условиях первый – преобладает в связи с меньшей трудоемкостью и стоимостью. Увеличение удельного расхода газа стабильно увеличивает эффективность удаления НВ.

В зарубежных работах преобладают более объективные физические методы контроля. В том же диапазоне удельного расхода продуваемого газа, изменение величины ΔНВ происходит в большей степени благодаря более высокой эффективности малых величин интенсивности продувки V. Возможно, это связано с более частым, чем в отечественной практике, использованием до трех донных вставок с направленной пористостью, что уменьшает размеры пузырей, увеличивает их удельную поверхность и возможность флотации НВ.

Сопоставление фактических результатов (табл. 5) с моделями удаления НВ при продувке стали газом показывает, что им приблизительно соответствует

модель продольной диффузии НВ [12], результаты расчета по которой (в предположении, что D/n = 1/30) приведені в последней строке табл. 5.

Выводы

Проанализированы процессы, определяющие окисленность производимой стали, а также технологические приемы, используемые на основании полученных исследовательских данных, направленные на улучшение качества металла.

В сталеплавильном производстве Украины эта технология только начинает использоваться и расширение ее применения будет способствовать повышению качества производимой продукции до уровня мировых стандартов.

Библиографический список

1. Поляков В.Ф. // В сб. Технология производства и свойства черных металлов. – М: Металлургия (Труды УкрНИИМ № 11), 1965. – С. 96-104.
2. Левин С.Л., Поляков В.Ф., Гринберг С.В. // Сб. Металлургия и коксохимия № 7. – К.: Техника, 1967. - С. 101-106.
3. Scimar R., Nilles P.// CNRM Rep. - 1967. - № 11. - P. 17-24.
4. Nickolson A., Harkness B. // Iron & Steel. – 1972, № 1, P. 53-57; 1972 № 2, P.
5. Шнееров Я.А., Вихлевщук В.А. Полуспокойная сталь. – М.; Металлургиздат, 1973.
6. Явойский В.И., Лузгин В.П., Вишкарев А.Ф. Окисленность стали и методы ее контроля. – М.: Металлургия, 1970. - 285 с.
7. Шнееров Я.А. // Сталь - 1947. - № 10. - С. 881-892.
8. Мошинский В.А., Янак Б.Е. // Сталь. - 2007. - № 10. - С. 19-21.
9. Боом Р., Хальберг Н. // Черные металлы. - 1978. - № 22. - С. 9-13.
10. Плюшкель В. // Черные металлы. - 1979. - № 8. - С. 17-24.
11. Казачков Е.А. // Изв. вузов. Черная металлургия. - 1979. - № 5. - С. 42-45.
12. Ghosk D.N., Singh R.P. // Trans ISI Jap. – 1988, V.28. - № 8. - P. 659-662.
13. Белов Б.Ф., Новохатский И.А., Вольперт О.П. и др. // Изв. АН СССР Металлы. - 1975. - № 1. - С. 67-70.

Поступила 04.07.2013

◆

Уважаемые читатели!

У Вас есть возможность оформить подписку изданий ООО «Укрметаллургинформ «НТА» на 2014 г.:

Индекс: 74311

- журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на русском языке;

Индекс: 49501

- журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на русском языке, CD-ROM;

через каталог «Изданий Украины», каталог России «Газеты. Журналы» и через редакцию журнала.

Редакция:
ул. Дзержинского, 23, г. Днепропетровск, Украина, 49027,
к/т 056-744-81-66; т/ф 0562-46-12-95.

УДК 669.14.018.8

Производство

Корниевский В.Н., Кийко С.Г., Сальников А.С. /к.т.н./, Логозинский И.Н., Шибеко П.А.
ПАО «Днепроспецсталь»

Повышение эффективности производства коррозионностойких сталей за счет снижения удельного расхода легирующих элементов и улучшения качества

Разработана технология выплавки, внепечной обработки и экономного легирования коррозионностойких сталей выплавляемых по схеме: открытая дуговая печь, агрегат газокислородного рафинирования, установка ковш-печь. Показана принципиальная возможность работы на нижних граничных значениях содержания легирующих элементов Ni, Cr и обеспечения технических требований, предъявляемых к металлопродукции. Установлены факторы, разработана технология понижения содержания азота в титансодержащих коррозионностойких сталях, снижена отбраковка по всем видам дефектов. Ил. 10. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: *открытая дуговая печь, агрегат газокислородного рафинирования, установка ковш-печь, коррозионностойкая сталь, легирование, механические свойства, пластичность*

The technology of melting, secondary treatment and economical cost of corrosion-resistant steel alloying is developed, melting is conducted by the scheme: an open-arc furnace, oxygen refining unit, ladle furnace. The principal possibility of the lower boundary values of the content of alloying elements Ni, Cr is showed and providing technical requirements for steel products. The factors are specified, the technology of reducing the nitrogen content in the titanium-containing corrosion-resistant steels is developed, and rejection by all kinds of defects is reduced.

Keywords: *Open arc furnace, gas-oxygen refining unit, ladle furnace, corrosion-resistant steel, alloying, mechanical properties, ductility*

Одним из важнейших направлений снижения себестоимости выплавки высоколегированных сталей является снижение удельного расхода дорогостоящих ферросплавов и легирующих элементов Ni, Cr, Mo, Mn, Si и других. Значительная доля при формировании финансового бюджета ПАО «Днепроспецсталь» от реализации готовой продукции как по объемам выплавки, производства проката и поковок, так и в стоимостном выражении, принадлежит сортаменту высоколегированных коррозионностойких сталей аустенитного класса с содержанием С до 0,03 и 0,12 %.

До 2003 г. на заводе «Днепроспецсталь» технологической схемой производства сталей марок типа 03Х18Н10, 03Х17Н13М2 (т.е. марок с содержанием С до 0,03 %) являлась выплавка полупродукта в открытой дуговой печи (ОДП) с последующей обработкой расплава в агрегате газокислородного рафинирования (ГКР). Выплавка стали марок типа 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т осуществлялась либо напрямую в открытой дуговой печи, либо по схеме ОДП+ГКР. Эффективность и преимущества выплавки с применением агрегата ГКР хорошо известны [1-3]:

- производство низкоуглеродистых (с С до 0,03 %) коррозионностойких марок сталей, которые широко используются в мире;
- возможности для более широкого использования менее дорогого высокоуглеродистого феррохрома (ФХ 800, ФХ 900) для легирования стали;
- глубокое рафинирование расплава и, соответственно, более высокая чистота стали от загрязненности неметаллическими включениями.

Во второй половине 2003 г. в электросталеплавильном цехе № 2 (СПЦ-2), специализирующемся на выплавке коррозионностойких сталей, пущен в эксплуатацию агрегат внепечного рафинирования стали установка ковш-печь (УКП).

Основные преимущества работы с этим оборудованием, такие как возможность работать на нижних допустимых значениях содержания легирующих элементов, исключение брака по химическому составу стали, сокращение длительности плавки и улучшение технико-экономических показателей, были по достоинству оценены заводскими специалистами после внедрения в 1997 г. УКП в электросталеплавильном цехе № 3.

Основными нормативными документами, по которым осуществляется поставка на рынок СНГ сортового проката и трубной заготовки из коррозионностойких марок сталей, в т.ч. стали марки 08Х18Н10Т являются следующие:

- ГОСТ 5632-72 «Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные»;
- ГОСТ 5949-75 «Сталь сортовая и калиброванная, коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная»;
- Технические условия ФГУП ЦНИИчермет

© Корниевский В.Н., Кийко С.Г., Сальников А.С., Логозинский И.Н., Шибеко П.А., 2013 г.

им. Бардина ТУ 14-1-565-84 «Заготовка трубная из высоколегированных коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей;

- ТУ 14-1-790-73 (переизданы в 2001 г.) «Заготовка трубная из коррозионностойких марок стали для электрополированных труб»;

- ТУ 14-1- 3844-84 «Заготовка трубная из коррозионностойких марок стали»;

- ТУ 14-1- 3845- 84 «Заготовка трубная из коррозионностойкой стали марок 08Х18Н10Т и 08Х18Н10Т-Ш».

В этих нормативных документах оговорены область применения, химический состав сталей и технические требования, предъявляемые к металлопродукции:

- геометрические размеры и допускаемые отклонения проката и поковок;

- требования к качеству поверхности;

- допустимое содержание газов в стали;

- требования к показателям макроструктуры; механическим свойствам, в т.ч. при высоких температурах;

- сталь должна выдерживать испытания на горячее кручение;

- с контролем внутренних дефектов металла неразрушающими методами;

- оценка загрязненности стали неметаллическими включениями и величины зерна;

- проверка на отсутствие склонности к межкристаллитной коррозии;

- с нормированием альфа-фазы в аустенитных сталях и другие технические требования.

Исследования и определение фактических значений показателей качества металлопродукции производится по соответствующим методическим ГОСТ-м.

С целью определения технической возможности работы на нижних допускаемых значениях содержания легирующих элементов, прежде всего дорогостоящего никеля, методами математического анализа и статистической обработкой данных были проанализированы массивы из более, чем 700 плавок сталей марок (08)12Х18Н10Т, выплавленных по ранее действующей технологии без УКП.

В задачу этих исследований входило установление суженных пределов содержания основных химических элементов C, Ni, Cr, Si, Mn, Ti для этой группы марок стали, при которых гарантированно обеспечиваются все технические требования предъявляемые к стали и показатели свойств.

Особое внимание при анализе и статистической обработке данных уделялось наиболее проблемным показателям:

- расчетное и фактическое содержание альфа-фазы, повышенное содержание которой оказывает негативное влияние на технологическую пластичность как при испытаниях, так и при деформационном переделе;

Таблица 1. Химический состав стали марок 08Х18Н10Т и 12Х18Н10Т

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P
	не более						не более	
08Х18Н10Т	0,08	0,8	2,0	17,0-19,0	9,0 - 11,0	5xC-0,7	0,020	0,035
12Х18Н10Т	0,12	0,8	2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	5xC-0,8	0,020	0,035

- сталь должна выдерживать испытания на горячее кручение. Число скручиваний до разрушения должно быть не менее 20. Температура испытаний 1175 ± 10 °С;

- механические свойства стали, в т.ч. при повышенных температурах (в частности предел текучести при 350 °С).

Химический состав стали марок 08(12) Х18Н10Т представлен в табл. 1 (ГОСТ 5632-72).

Как видно из табл. 1 в соответствии с ГОСТ 5632-72, содержание никеля для этих сталей составляет 9,0-11,0 %. Ранее перечисленными техническими условиями (кроме ТУ4-1-565-84) установлено содержание никеля 10,0–11,0 %.

ТУ 14-1-565-84 устанавливают содержание никеля с допускаемым отклонением (-) 1 %. Таким образом при производстве металла по ГОСТ 5632-72, ГОСТ 5949-75 и ТУ 14 -1-565-84 массовая доля содержания никеля в стали 08(12)Х18Н10Т может составлять 9,0–11,0 %, если другое не оговаривается потребителем.

Краткое описание технологического процесса производства коррозионностойких сталей представлено ниже.

В дуговой печи (ДСП) производится расплавление шихты, состоящей из металлоотходов и ферросплавов, усреднение металла по химическому составу и температуре посредством продувки ванны кислородом в течение 5-10 мин, раскисление металла и шлака алюмокремнистыми, кремнистыми раскислителями и коксом, скачивание шлака периода плавления и наведение рафинировочного шлака, науглероживание полупродукта до содержания углерода не менее 0,60 %. Расплав-полупродукт с помощью заливочного ковша передается для дальнейшей обработки в агрегат ГКР.

Процесс ГКР на следующие три технологические периода

Первый период окислительного рафинирования – присадка необходимого количества металлодобавок (процесс ГКР позволяет использовать для легирования максимальное количество высокоуглеродистого феррохрома), продувка расплава кислородом с целью доводки расплава по содержанию углерода и температуре до требуемых значений, порционная присадка извести для исключения перегрева металла и обеспечения требуемого шлакообразования.

Второй период окислительного рафинирования - ступенчатая продувка расплава аргонокислородной смесью с целью глубокого обезуглероживания

расплава.

Третий период восстановительного рафинирования - продувка аргоном и раскисление расплава кремнийсодержащими материалами с целью максимально полного восстановления хрома, доводка металла по химсоставу и температуре, конечное раскисление металла перед выпуском расплава из конвертера в ковш и непосредственно в ковше перед разливкой металла.

Внедрение в эксплуатацию установки ковш-печь в СПЦ-2 позволило проводить операции по доводке по химсоставу, температуре и конечное раскисление металла непосредственно в ковше.

Перенос операции по доводке металла по химсоставу в ковше на УКП в первую очередь позволяет исключить брак по химсоставу и обеспечить экономию легирующих материалов Cr, Ni, Mn и их содержание в готовом металле ниже средних пределов.

Второе - это качество коррозионностойких сталей, стабилизированных титаном и снижение отбраковки по «титанистой неоднородности», которая выявляется при металлографическом контроле макроструктуры, ультразвуковом контроле, и на поверхности проката (поковок). Металлографические исследования дефектных мест показали, что они состоят в основном из скоплений карбонитридных и оксидных включений, а анализ влияния содержания азота на уровень отбраковки стали подтвердил значимость этого фактора [4].

В [5] опубликованы результаты совместных исследований специалистов «Днепроспецстали», НМетАУ, Никопольского южнотрубного завода, ПНЦ «Трубосталь» и исследована возможность уменьшения содержания никеля в стали типа Х18Н10 при сохранении ее технологической пластичности. Показана принципиальная возможность работы по содержанию никеля в стали марок 08(12)Х18Н10Т в соответствии с ГОСТ 5632-72 менее 10,0 % или в интервале 9,4-10,0 %. При этом корректировкой технологии раскисления стали, соотношением основных легирующих элементов, достигнуты удовлетворительные результаты технологической пластичности при производстве трубной заготовки, при горячем прессовании труб, а также допустимого содержания альфа-фазы и числа скручиваний при испытаниях на горячее кручение.

Таким образом, была показана возможность получения удовлетворительной технологической пластичности при деформационном переделе и требуемых показателей свойств при исследовании и испытаниях опытных плавок с содержанием никеля от 9,4 % и выше, т.е. в соответствии с требованиями ГОСТ 5632-72 и ТУ 14-1 565-84.

Внедрение УКП с возможностью работы в более узком интервале значений химических элементов открыло дополнительные резервы выплавки стали за счет экономии Ni , Cr , Mn , Si, Ti.

С целью определения возможности работы на нижних граничных значениях по содержанию никеля, с помощью методов математического анализа и статистики были проанализированы массивы из более двухсот плавок, выплавленных по новой технологии по схеме ОДП-ГКР-УКП. Установлены корреляционные связи между параметрами, построены уравнения множественной регрессии (табл. 2), которые позволяют с достаточной долей вероятности прогнозировать показатели механических свойств. Исследовано влияние химического состава на расчетное содержание альфа-фазы и показатели механических свойств, в т.ч. при высоких температурах.

Таблица 2. Уравнения зависимости механических свойств от химического состава сталей 08-12Х18Н10Т, поставляемых по ТУ 565 и 790

Показатель	Уравнение	Коэффициент множественной регрессии
Предел прочности	46,18 + 35,03C + 0,33Si + 1,94Mn + 0,63Cr - 0,4Ni - 6,3Ti + 8,1Al - 4,9N	0,5
Относительное удлинение	92,8 - 41,3C + 0,8Si - 3,1Mn + 0,01Cr - 2,4Ni - 2,3Ti - 2,1Al - 1,9N	0,4
Горячее кручение	72,0 + 12,3C + 3,4Si - 3,2Mn - 3,5Cr + 2,5Ni - 15,1Ti - 19,9Al - 36,4N	0,5
Предел текучести при 350 °С	- 19,3 + 8,0C + 8,3Si + 3,5Ni - 11,5Ti	0,8

На основании выполненного анализа разработаны суженные пределы содержания легирующих элементов, при которых гарантированно обеспечиваются требования по содержанию альфа-фазы, показателям механических свойств, в т.ч. при высоких температурах (прежде всего предел текучести при 350 °С), необходимое число скручиваний при испытаниях на горячее кручение при производстве трубной заготовки из коррозионностойких сталей по техническим условиям ТУ 14-1-790, ТУ 14-1-565 и другим нормативным документам.

Разработаны суженные пределы содержания элементов Ni, Cr, C, Si, Mn, Ti, при этом содержание Ni

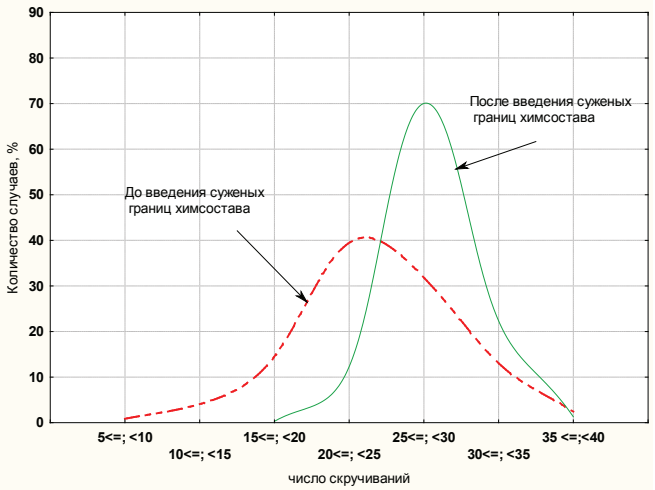


Рис. 1. Гистограмма распределения результатов испытаний на горячее кручение в стали 08-12Х18Н10Т до и после введения суженых границ химсостава

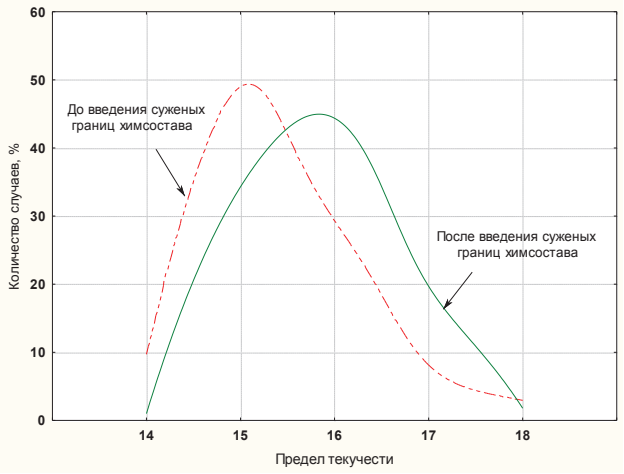


Рис. 2. Распределение результатов испытаний предела текучести при 350 °С на стали 08-12Х18Н10Т до и после введения суженых границ химсостава

установлено 9,00-9,30 % для заказов по ГОСТ 5632-72, ГОСТ 5949-75, ТУ 14-1-565-84 и содержание Ni 10,00-10,20 % для заказов по ТУ 14-1-790-73, ТУ 14-1-3844-84 и ТУ 14-1-3845-84.

Статистическая обработка данных на массиве значительного объема плавок коррозионностойких марок стали 08-12Х18Н10Т, выплавленных после внедрения оптимальной технологии соотношения элементов химического состава показывает, что проблемные показатели качества, такие как горячее кручение и предел текучести при 350 °С удовлетворяют требованиям технических условий (рис. 1, 2). Кроме того, принятые технологические решения позволили существенно снизить себестоимость коррозионностойких сталей.

Анализом показателей качества, первичной отбраковки по дефектам, выявленным при ультразвуковом контроле и поверхности титансодержащих коррозионностойких сталей, была установлена зависимость увеличения отбраковки от содержания азота в стали [4]. В результате выполненных работ установили основные факторы и разработали элементы технологии внепечной обработки с целью снижения содержания азота в стали и улучшения качества.

На рис. 3 показана зависимость концентрации азота от температуры разливки и содержания титана в металле. Оптимизация технологии выплавки по схемам ОДП+УКП, ОДП+ГКР+УКП позволила значительно (до 30 %) снизить содержание азота в стали, существенно сократить первичную отбраковку коррозионностойких сталей, стабилизированных титаном, по дефектам сталеплавильного производства, так называемой титанистой неоднородности, отбраковку при ультразвуковом контроле, улучшить качество поверхности проката (рис. 4).

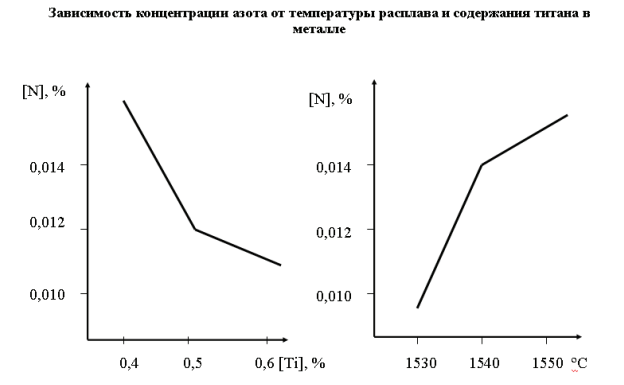


Рис. 3. Зависимость концентрации азота от температуры расплава и содержания титана в металле

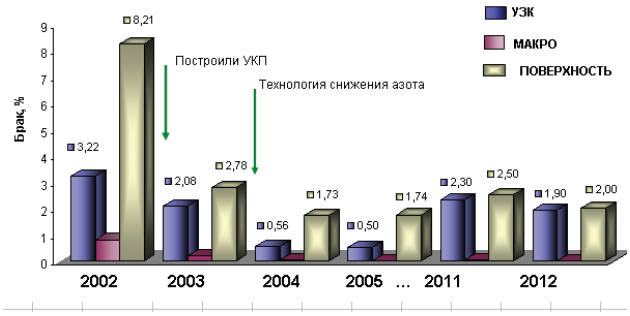


Рис. 4. Динамика отбраковки титанистых коррозионностойких сталей в прокатном цехе по дефектам сталеплавильного производства

Как уже говорилось, эффективным способом повышения конкурентоспособности коррозионностойких сталей аустенитного класса является снижение содержания никеля, а также хрома, марганца, в пределах марочного состава с целью снижения себестоимости и, соответственно, цены металлопродукции. Однако уменьшение содержания аустенитообразующих элементов - никеля и марганца в стали приводит к увеличению расчетного и фактического количества α-фазы в структуре металла и, следовательно, к уменьшению пластичности стали, к возникновению рванин при прокатке слитков на заготовку. С целью устранения негативного влияния ферритной фазы при деформационных переделах слитков на трубную заготовку, а также при горячем прессовании или при поперечно - винтовой прокатке заготовок на трубы у потребителей металла, были введены суженные границы содержания химических элементов как на аустенитообразующие (C, Ni, Mn), так и ферритообразующие элементы (Cr, Si). Кроме того, отрицательное влияние изменения химического состава компенсировали корректировкой режимов нагрева слитков перед прокаткой на стане 1050/950 и заготовок перед прокаткой на стане 550. Для снижения количества фактического содержания ферритной фазы по отношении к расчетным ее значениям для различных групп марок сталей (в зависимости от содержания углерода, молибдена и пр.) внедрены соответствующие режимы гомогенизирующего нагрева слитков и заготовок.

Корректировка режимов нагрева слитков позволила значительно (более чем в 10 раз) снизить количество слитков коррозионностойких сталей с особо низкой технологической пластичностью, «выбрасываемых» на промежуточную зачистку в виде недокатов.

Среднегодовые закупочные цены и их колебания (в т.ч. за счет изменения курса валют) на никель, феррохром, ферромарганец и ферросилиций с 2004 по 2012 гг., а также Изменение плановой себестоимости

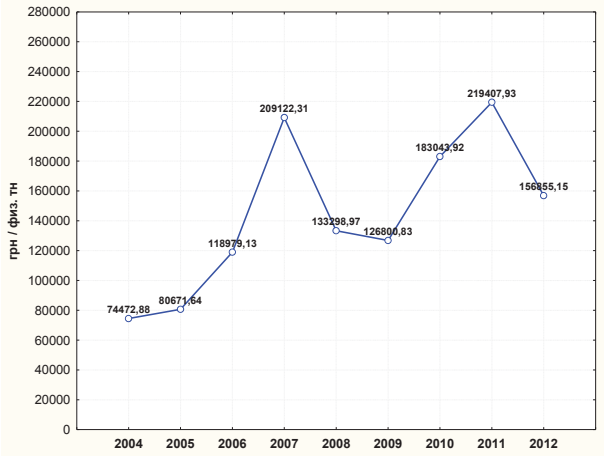


Рис. 5. Изменение закупочных цен на никель (Н1-Н2)

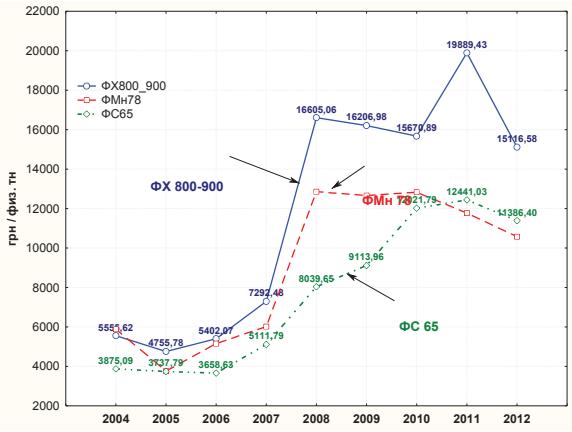


Рис. 6. Изменение цен на хром (ФХ800-900), марганец (ФМн78), ферросилиций (ФС65)

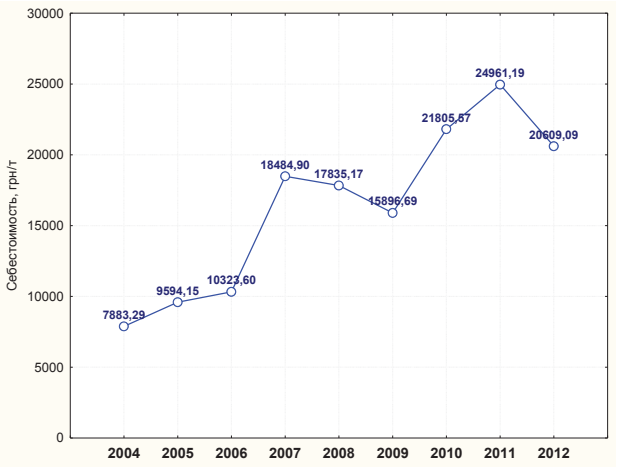


Рис. 7 . Изменение плановой себестоимости стали марки 08Х18Н10Т

стали марки 08Х18Н10Т представлены на рис. 5-7.

На графиках (рис. 8-10) показано снижение содержания Ni, Cr, Mn в стали 08Х18Н10Т, поставляемой по нормативным документам с допускаемым содержанием Ni 9,0-11,0 % с момента внедрения УКП и новой технологии выплавки. Некоторое повышение средних значений содержания Ni свыше 9,3 % объясняется наличием определенного количества заказов по ТУ-14-1-565-84 и ГОСТ 5632-72 с требованием заказчика не менее 10,0 % содержания Ni и превышением, по сравнению с расчетным, его содержания, полученным по расплавлению отходов. За счет внедрения новой технологии выплавки достигнута

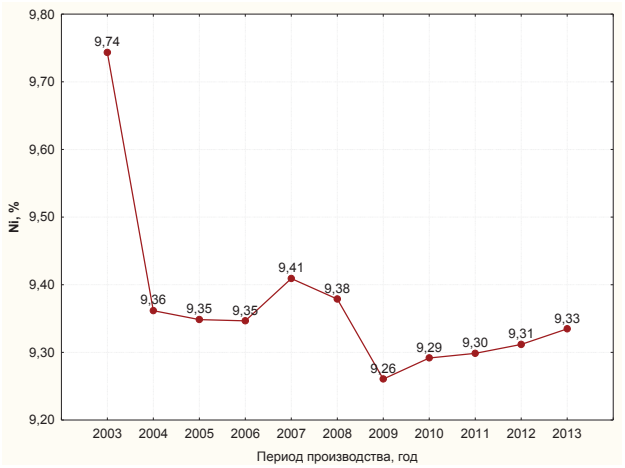


Рис. 8. Среднее содержание Ni в стали 08Х18Н10Т (ГОСТ 5632, 5949, ТУ 565) по периодам производства

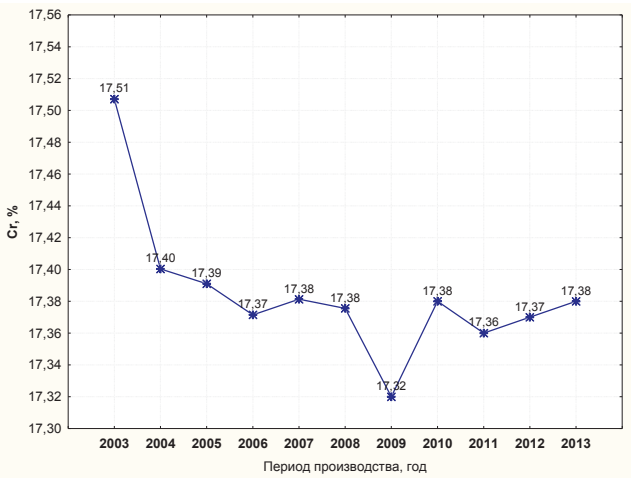


Рис. 9. Среднее содержание Cr в стали 08Х18Н10Т (ГОСТ 5632, 5949, ТУ 565) по периодам производства

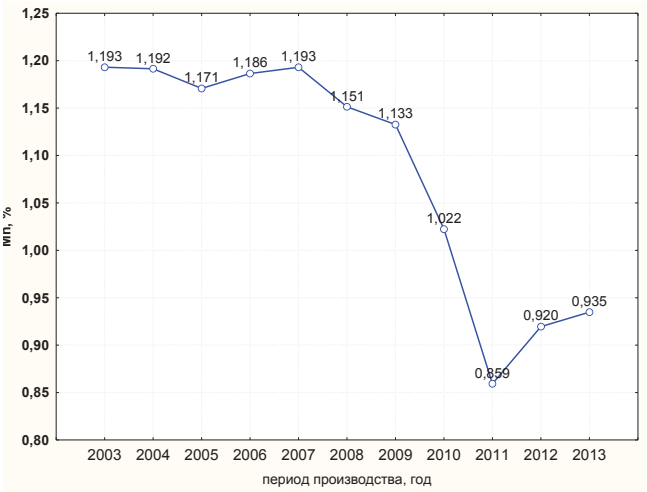


Рис. 10. Среднее содержание Mn в стали 08Х18Н10Т (ГОСТ 5632, 5949, ТУ 565) по периодам производства

значительная экономия никеля и ферросплавов. Ежегодный экономический эффект в годы стабильной загрузки производства только за счет экономии Ni составляет от 8 млн. грн.

Выводы

1. В связи с внедрением агрегата ковш-печь показана принципиальная возможность работы на нижних допускаемых значениях по содержанию Ni, Cr при выплавке коррозионностойких сталей. Разработаны суженные пределы содержания основных легирующих элементов.

2. Установлены основные факторы, влияющие на повышенную отбраковку по дефектам УЗК и поверхности титансодержащих коррозионностойких марок стали. Разработана технология выплавки, внепечного рафинирования и раскисления коррозионностойких сталей легированных титаном с пониженным содержанием азота. Значительно снижена отбраковка проката по всем видам дефектов.

3. За счет снижения содержания никеля при выплавке стали марок 08-12Х18Н10Т по заказам ТУ 14-1-565-84 суммарный экономический эффект за последние годы составляет около 60 млн. грн.

Библиографический список

1. Садовник Ю.В., Нефедов Ю.А. Рабинович А.В. и др. Повышение качества высоколегированных сталей методом газокислородного рафинирования // Черная металлургия. - 1997. – Вып. - 5-6. - С. 23-24.

2. Нефедов Ю.А., Рабинович А.В., Садовник Ю.В. Разработка и промышленное освоение технологии выплавки коррозионностойких сталей методом газокислородного рафинирования // Современные проблемы металлургии. Науч. тр. ГМетАУ. - Вып. 1. - Днепропетровск, 1999. - С. 112-132.

3. Шульга В.О., Сальников А.С., Логозинский И.Н. Оптимизация периода газокислородного рафинирования коррозионностойких сталей // Сталь. - 2004. - № 11. - С. 19-20.

4. Шульга В.О., Король Л.Н., Сальников А.С. и др. Опыт освоения производства легированной высококачественной стали с обработкой на установке ковш-печь // Сталь. - 2004. - № 2. - С. 22-23.

5. Рабинович А.В., Садовник Ю.В., Венец Ю.С. и др. Исследование возможности уменьшения содержания никеля в стали типа Х18Н10 при сохранении ее технологической пластичности // Сталь. - 2002. - № 6. - С. 75-77.

Поступила 19.04.2013

◆

УДК 669.14.018.294.001.57:669.046.554

Есаулов Г.А. /к.т.н./, Климчик Ю.В.
ООО «МЗ «Днепросталь»

Наука

Жаданос А.В. /к.т.н./, Гасик М.И. /д.т.н./, Кукушкин О.Н. /д.т.н./
НМетАУ

Математическое моделирование теплоэнергетических процессов в агрегате ковш-печь в условиях ООО «МЗ «Днепросталь»

Применительно к условиям ООО «МЗ «Днепросталь» разработана динамическая модель, позволяющая прогнозировать температуру расплава по ходу его обработки на установке ковш-печь с точностью ± 5°. Полученные аналитические выражения изменения температуры расплава во время обработки на установке ковш-печь позволяют интегрировать разработанную модель в существующие АСУ внепечной обработкой стали. Выполнена оценка статей энергетического баланса УКП, что позволяет определить технологические режимы, которые обеспечивают максимальный энергетический кпд. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: *внепечная обработка стали, установка ковш-печь, теплоэнергетические процессы, температура жидкой стали, энергетический баланс, автоматизированная система управления*

With regard to the conditions of LTD «Dneprostal» the dynamic model has been developed. This model allows to the temperature prediction of liquid steel during ladle-furnace treatment processes with an accuracy of ± 5º. That makes a possibility of further application in automated control system of ladled steel treatment. Completed estimation of energy balance items makes it possible to define technological regimes leading to the best power efficiency.

Keywords: *ladled steel treatment, ladle-furnace aggregate (LF), heat-energy processes, temperature of liquid steel, power balance, automated control system*

Постановка задачи

Внепечная обработка стали на электродуговой установке ковш-печь (УКП) и вакуумной установке - одно из инновационных направлений в современной металлургии. На украинских металлургических предприятиях на текущий момент функционирует 16

© Есаулов Г.А., Климчик Ю.В., Жаданос А.В., Гасик М.И., Кукушкин О.Н., 2013 г.

Таблица 1. Характеристики действующих УВОС предприятий Украины

Предприятие (производительность, млн. т.)	Емкость ковша, т	LF	Мощность тр-ра, МВА	VD	Производители оборудования
Енакиевский металлургический завод (2 + ***(I)***[1*])	145	2 + ***(I)***	25	-	НКМЗ
Донецкий электрометаллург. завод (0,8)	120	1	18	1	Daniely
Днепроспецсталь (0,7)	60	2	16, 20	1	Daniely, SMS Demag
Донецксталь (1,15)	155	1	18	-	Fuks Systemtechnik
Алчевский металлургический комбинат (5)	300	1	50	1	Siemens VAI
Энергомашспецсталь (Краматорск) (0,23)	75, 130	1	18	1	НКМЗ
Азовсталь (4)	300	2x2	45	1x2	Siemens VAI
НКМЗ (Краматорск)	60, 90	2	18	1	НКМЗ
Азовэлектросталь (0,45)	60	1	12	1	Совм. с STG group
ДМК им. Дзержинского (1 + ***(I)***)	250	1 + ***(I)***	35	***(I)***	Siemens VAI
ООО Электросталь (Курахово) (0,3)	50	1	13	-	STG group (Италия)
Днепросталь (1,32)	160	1x2	29,7	1x2	Daniely

Примечание: Жирным курсивом в табл. 1 выделены планируемое дальнейшее увеличение производительности и планируемые к установке LF и VD

установок ковш-печь типа LF и 8 вакуумных установок типа VD (табл. 1) [1-4] и web-сайтов предприятий. В ближайшие годы планируется дополнительно ввести в эксплуатацию еще 8 агрегатов ковш-печь и 5 вакууматоров.

В 2012 г. в Украине (Днепропетровск) введен в строй новый электрометаллургический завод ООО «МЗ «Днепросталь» мощностью 1,32 млн. т, на котором производятся колесные и трубные марки стали по технологической схеме ДСП-УКП-ВАКУУМАТОР-МНЛЗ.

Температура расплава – один из наиболее важных технологических параметров, который контролируется во время обработки стали на установке ковш-печь. Исследования [5] показали, что далеко не всегда при обработке обеспечиваются режимы эффективного нагрева расплава, гарантированных поставщиками установок по контракту. Причиной этого является значительный разброс значений входных параметров процесса (толщины шлакового покрова, массы расплава, температуры футеровки ковша, расхода аргона, начальной температуры расплава). Температура расплава контролируется путем промежуточных замеров термопарами, выполнение которых возможно лишь при отключении установки, что приводит к увеличению продолжительности обработки, потерям тепла и снижению энергетического и теплового к.п.д. установки. Поэтому необходимо для прогнозирования температуры расплава разработать математическую модель, которая, с одной стороны, обеспечивала бы точность, сопоставимую с термопарой, а с другой (для упрощения ее интеграции в АСУ), описывалась бы достаточно простыми аналитическими выражениями с минимумом входных параметров.

Структура динамической модели

Установка ковш-печь является сложным теплофизическим объектом с переменными состояниями. Переменность состояний модели обусловлена тем, что периоды нагрева металла чередуются с периодическими остановками для замеров температуры расплава. Повышение температуры расплава зависит от подводимой электрическими дугами мощности и тепловых потерь вследствие теплопередачи через футеровку ковша, излучения с поверхности шлако-металлического расплава, расплавления легирующих и шлакообразующих материалов, продувки аргоном. Так как с целью гомогенизации расплава по ходу обработки проводится продувка аргоном, при дальнейших теплофизических расчетах принимаем допущение, что расплав однороден по температуре и химическому составу.

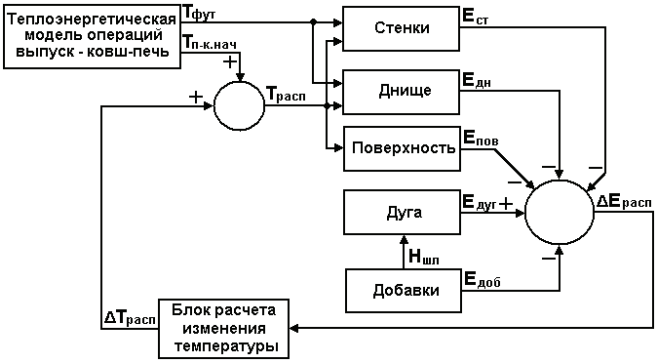


Рис. 1. Структурная схема динамической модели тепловых процессов в агрегате ковш-печь

Тепловые потери в связи с продувкой инертным газом происходят вследствие образования открытой от шлака поверхности жидкой стали в ковше и нагрева аргона. Выполненные нами расчеты показали, что при суммарном расходе аргона 50 нм^3 потери энергии расплавом на нагрев аргона незначительны (≤0,5°), поэтому при расчетах их не учитывали.

Разработанная динамическая модель теплоэнергетических процессов в агрегате ковш-печь (рис. 1) включает следующие подсистемы: «**Дуга**», «**Добавки**», «**Поверхность**», «**Стенки**», «**Днище**» [4]. В данных подсистемах оцениваются основные статьи энергетического баланса установки. При заданной начальной температуре стали перед обработкой на установке $T_{п-к.нач}$, температуре футеровки ковша $T_{фут}$, а также массе $M_{расп}$ и теплоемкости расплава $C_{расп}$ определяется текущее значение температуры жидкой стали $T_{расп}$.

Моделирование и анализ результатов

В подсистеме модели «**Дуга**» определяется энергия электрических дуг установки, поступающая на нагрев расплава [6]

$$E_{дуг}=K\cdot\sqrt{3}\cdot U_{2.j}\cdot I_{2.j}\cdot\cos\varphi_j\cdot з_{эл}\cdot t_{нагр}\ , \qquad (1)$$

где K – коэффициент, учитывающий потери мощности дуг на облучение стенок ковша и свода УКП в зависимости от толщины шлакового покрова; $U_{2.j}$, $I_{2.j}$ – соответственно, номинальные напряжения и токи на вторичной обмотке трехфазного трансформатора j – ой ступени напряжения; $\cos\phi_j$ – коэффициент мощности трансформатора ступени напряжения j; $ґ_{эл}$ - электрический кпд УКП; $t_{нагр}$ – время нагрева металла.

При определении коэффициента K необходимо учитывать три основных периода состояния поверхности шлако-металлического расплава: начальный период формирования шлакового покрова, период нарастания толщины шлакового покрова по мере ввода новых порций шлакообразующих и раскислителей, период работы дуг при полном их экранировании шлаком. По данным [7], по мере нарастания шлакового покрова коэффициент K меняется в диапазоне от 0,1 до 1.

В подсистемах модели «**Добавки**», «**Поверхность**», «**Стенки**», «**Днище**» производится определение энергетических потерь расплавом вследствие нагрева, расплавления введенных шлакообразующих и легирующих материалов, потерь через границу раплав-шлак, теплопередачи через футеровку ковша. Ввод химических добавок приводит к существенному снижению температуры расплава, способствуя при этом повышению эффективности нагрева электрическими дугами. По результатам анализа литературных источников, для оценки затрат энергии (кДж) на нагрев и расплавление шлакообразующих, легирующих добавок, раскислителей (подсистема «**Добавки**») нами предложена линейная модель [8]

$$E_{доб}=2095\cdot m_{CaO}+1676\cdot m_{CaF_2}+1680\cdot m_{SiMn}-$$
$$-419\cdot m_{FeSi}+1341\cdot m_{FeMn}+4190\cdot m_c \qquad ,(2)$$

где m_i – масса вводимой добавки, кг.

При определении тепловых потерь через футеровку ковша, состоящей из нескольких слоев огнеупорных материалов (рабочий слой, подрабочий слой, слой теплоизоляции), рассматривался процесс нестационарной теплопередачи. Считали, что стенки ковша представляют собой цилиндр, а днище ковша – плоскую поверхность. Тогда уравнения теплопроводности для каждого m-го материала футеровки имеют вид [9]

$$C_m(T_m)\cdot\rho_m\cdot\frac{\partial T_m}{\partial t}=\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\left(r\cdot\lambda_m(T_m)\frac{\partial T_m}{\partial r}\right)\ \text{для стенки ковша}$$
$$C_m(T_m)\cdot\rho_m\cdot\frac{\partial T_m}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_m(T_m)\frac{\partial T_m}{\partial z}\right)\ \text{для днища ковша} \qquad ,(3)$$

где r – радиус ковша; z – координата высоты расплава; $C_m(T_m)$ – удельная теплоемкость; T_m – температура; ρ_m – плотность; $\lambda_m(T_m)$ – теплопроводность.

Для границы расплав – футеровка задаются граничные условия 3-го рода [10]

$$-л_р(T_р)\cdot\left(\frac{\partial T_р}{\partial n}\right)_{n_{р.0}}=б_{расп}\cdot(T_{расп}-T_{р.0}) \qquad , \qquad (4)$$

где $T_{расп}$ – температура расплава; $T_{р.0}$ – температура внутренней поверхности рабочего слоя футеровки; $ґ_{расп}$ – коэффициент теплоотдачи расплава, Вт/м²·К.

На стыках слоев футеровки и кожуха ковша задаются граничные условия 4-го рода

$$\left.\begin{array}{l} T_{пр.0}=T_{р.1};\ T_{из.0}=T_{пр.1} \\ л_{р.ф}(T_{р.ф})\cdot\left(\frac{\partial T_{р.ф}}{\partial n}\right)_{n_{р.ф.1}}=л_{пр}(T_{пр})\cdot\left(\frac{\partial T_{пр}}{\partial n}\right)_{n_{пр.0}};\\ л_{пр.вн}(T_{пр})\cdot\left(\frac{\partial T_{пр}}{\partial n}\right)_{n_{пр.1}}=л_{из}(T_{из})\cdot\left(\frac{\partial T_{из}}{\partial n}\right)_{n_{из.0}}; \end{array}\right\} \ , \ (5)$$

где $T_{р.1}$ – температура внешней поверхности рабочего слоя футеровки; $T_{пр.0}$ – температура внутренней поверхности подрабочего слоя футеровки; $T_{пр.1}$ – температура внешней поверхности подрабочего слоя шамотной футеровки; $T_{из.0}$ – температура внутренней поверхности теплоизоляционного слоя; $T_{из.1}$ – температура внешней поверхности слоя изоляции; $л_m\left(\frac{\partial T_m}{\partial n}\right)_{n_m}$ – тепловые потоки, проходящие через поверхности соприкосновения соответствующих слоев.

С учетом того, что в металлическом кожухе ковша градиент температуры невелик, при теплопередаче он не учитывается. Поэтому для наружной поверхности ковша граничные условия 3-го рода задаются следующим образом

$$л_{из.ф}\cdot\left(\frac{\partial T_{из.ф}}{\partial x}\right)=-б_{окр}\cdot(T_{из.1}-T_{окр}) \qquad ,(6)$$

где $\lambda_{окр}$ – коэффициент теплоотдачи в окружающую среду, $T_{из.1}$ – температура внешней поверхности теплоизоляционного слоя, $T_{окр}$ – температура окружающей среды.

Сложность оценки теплопотерь на нагрев футеровки ковша и теплопередачи через нее заключается в том, что начальные условия для решения уравнений (3) с граничными условиями (4-6) неизвестны. Поэтому дополнительно рассматривались теплофизические процессы в период между выпуском и нагревом расплава на установке ковш-печь: теплопередача через футеровку ковша (принималось допущение о стационарности начальных условий внутри футеровки ковша на момент выпуска расплава в ковш) и излучение с поверхности системы расплав-шлак. Расчет теплового состояния футеровки ковша выполнялся методом конечных разностей. При оценке

тепловых потерь с поверхности расплава необходимо учитывать, что часть энергии теряется излучением с поверхности, покрытой шлаком, а часть с открытой поверхности расплава, которая образуется восходящими потоками аргона. Полный тепловой поток излучением с поверхности расплава, покрытой шлаком, определяется из выражения [8]

$$Q_{р-ш.ф}=y_0 \cdot e_{р_ш-кр} \cdot \left(T^4_{расп.ф}-T^4_{кр}\right) F_{р_ш} \quad ,(7)$$

где $Q_{р-ш.ф}$ тепловой поток с поверхности металл-шлак в τ-ю минуту обработки стали на ковше-печи; $y_0=5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – константа излучения абсолютно черного тела $e_{р_ш-кр}$ – степень черноты системы, которая включает в себя поверхность расплав-шлак и водоохлаждаемую крышку установки; $T_{расп.ф}$ – температура расплава в τ-ую минуту обработки на ковше-печи; $T_{кр}$ – температура водоохлаждаемой крышки; $F_{р_ш}$ – площадь покрытой шлаком поверхности.

Во время технологических остановок, при оценке тепловых потерь с поверхности расплава, покрытого шлаком, необходимо учитывать уменьшение потерь вследствие затвердевания шлакового покрова. Поэтому при оценке тепловых потерь излучением с поверхности расплав-шлак принимали допущение, что степень черноты $e_{р_ш-кр}$ изменяется по выражению $e_{р_ш-кр.2}=a\cdot(\phi+1)^b$, эмпирические коэффициенты которого получены во время адаптации модели.

Полный тепловой поток с открытой поверхности расплава определяется из выражения [8]

$$Q_{откр.ф}=y_0 \cdot e_{расп-кр} \cdot \left(T^4_{расп.ф}-T^4_{кр}\right) F_{откр} \quad ,(8)$$

где $Q_{откр.ф}$ тепловой поток с открытой поверхности расплава в τ-ую минуту обработки стали на ковше-печи; $e_{расп-кр}$ – степень черноты системы расплав-водоохлаждаемая крышка; $F_{октр}$ – площадь открытой поверхности расплава.

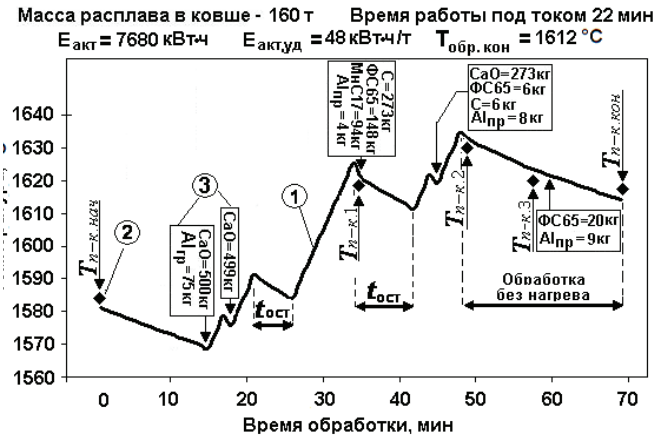


Рис. 2. Динамика температуры колесной стали по ходу обработки на УКП: 1 - модельные значения, 2 - результаты замеров термопарами, 3 - ввод добавок

Агрегат «ковш-печь», под который адаптировалась разработанная модель, имеет следующее технологические параметры: $M_{расп}$ = 160 т, $U_{2.j}$ = 270-390 В, $I_{2,j}$ = 20,8-46,3 кА, активная мощность $P_{акт}$ = 8,8-21,6 МВт, длина электрической дуги $L_д$ = =60-135 мм, $P_{дуг}$ = 8,1-18,8 МВт, $cos\varphi$ = 0,66-0,86, $\eta_{эл}$ = =0,84-0,91. В качестве параметров, которые подстраивались в модели, учитывались, коэффициент теплоотдачи стали $\alpha_{расп}$, степени черноты $e_{р_ш-кр}$, $e_{р_ш-кр.2}$, $e_{расп-кр}$. Основной целью адаптации модели является минимизация суммы квадратов разностей между реальными и модельными значениями изменения температуры расплава. Максимальное отклонение между модельными и экспериментальными данными не превышают ± 5°, т.е. находится в пределах погрешности термопары (рис. 2).

Установлено, что приращение температуры расплава во время нагрева на УКП без учета введения шлакообразующих, легирующих добавок, раскислителей хорошо описывается уравнением вида

$$\Delta T_{расп}=k_1 \cdot t_{нагр}, \quad (9)$$

где k_1 – эмпирический коэффициент, определяемый из выражения

$$k_1=a_j \cdot H_{шл}+b_j \cdot M_{расп}+c_j \cdot Q_{Ar}+d_j \cdot t_{вып}+ +e_j \cdot T_{п-к.нач}+f_j \cdot T_{фут.0}+g_j \quad ,(10)$$

где $H_{шл}$ – толщина шлакового покрова, мм; $M_{расп}$ – масса расплава, т; Q_{Ar} – удельный расход аргона, л/мин·т; $t_{вып}$ – время с момента окончания выпуска стали в ковш, мин; a_j, b_j, c_j, d_j, e_j, f_j, – коэффициенты уравнения, зависящие от ступени напряжения трансформатора.

На рис. 3 приведены данные об энергетическом балансе установки при следующих электрических параметрах: $U_{2.j}$ = 360 В; $I_{2,j}$ = 35,3 кА; $P_{полн}$ = 22 МВА; $P_{акт}$ = 17,3 МВт; $P_{дуг}$ = 15,4 МВт; $U_{дуг}$ = 146 В; $L_д$ = 111 мм; $cos\varphi$ = 0,79; $\eta_{эл}$ = 0,89.

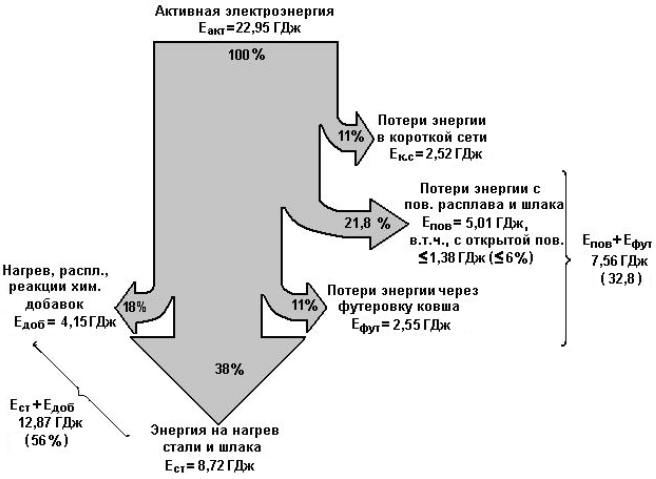


Рис. 3. Энергетический баланс установки ковш-печь

Выводы

1. Разработана динамическая модель тепловых процессов в агрегате ковш-печь, в которой в отличие от полученных ранее теплофизических моделей учтено наличие открытой поверхности металла, площадь которой зависит от интенсивности продувки инерт-

ным газом, а также нестационарность начальных условий внутри футеровки ковша. Модель адаптирована к реальным промышленным условиям.

2. Полученные аналитические выражения изменения температуры расплава позволяют интегрировать разработанную модель в существующие АСУ внепечной обработки стали.

3. Анализ статей энергетического баланса установки показывает, что существуют резервы для повышения энергетического и теплового к.п.д. установки: сокращение по возможности технологических остановок (в случае, если такие остановки необходимы с точки зрения технологии, то расход аргона должен быть меньше, чтобы не образовывалась открытая поверхность металла; переключение ступеней напряжения с низких на более высокие должно осуществляться по мере увеличения толщины шлакового покрова, чтобы избежать потерь энергии дугами на облучение стенок ковша.

Библиографический список

1. Основные направления и перспективы развития сталеплавильного производства в Украине / Ю.С. Кривченко, А.А. Малик, В.Я. Орман, А.В. Филяк // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 2007. - № 1. - С. 16-18.

2. «Мини» вместо «Комби». Электрометаллургические мини-заводы – альтернатива интегрированным меткомбинатам / Ю.С. Кривченко, М.И. Гасик // Металлургический компас. Украина - Мир. - 2006. - № 1. - С. 26-30.

3. Проектирование современных производств обработки металлов давлением: учебник / Ю.Н. Стасовский, Ю.С. Кривченко, Г.С. Бабенко. - Днепропетровск: Монолит, 2009. - 745 с.

4. Оптимизация энергетического режима внепечной обработки колесной стали на основе математического моделирования / А.В. Жаданос, О.Н. Кукушкин // Теория и практика металлургии. – 2010. - № 3-4. – С. 37-43.

5. Управление тепловым и электрическим режимами агрегата ковш-печь / Е.Б. Агапитов, Г.П. Корнилов, Т.Р. Храмшин и др. // Электрометаллургия. - 2006. - № 6. - С. 11-16.

6. Исследования с помощью математической модели теплового состояния агрегата ковш-печь при внепечной обработке металла / Н.Ф. Ахметшин, И.Ю. Зинуров, В.С. Галян и др. // Электрометаллургия. – 2001. - № 10. - С. 23-26.

7. Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов: Учебник / В.А. Гладких, М.И. Гасик, А.Н. Овчарук, Ю.С. Пройдак. - Днепропетровск: Системные технологии, 2004. - 736 с.

8. Динамическая модель теплоэнергетических процессов в электротермическом агрегате ковш-печь для создания АСУ / А.В. Жаданос, О.Н. Кукушкин, И.В. Деревянко // Теория и практика металлургии. - 2007. - № 2-3. - С. 64-69.

9. Energiehaushalt eines Pfannenofens / W. Hoppmann, F.N. Fett, T. Klages, L. Fiege // Stahl und Eisen. - Band (108) 5. September 1988. - № 18. - P. 841-847.

10. Кучаев А.А. Численно-экспериментальный метод моделирования трехмерного индукционного трехфазного поля в жидкой стали установки «печь-ковш» // Физико-технический институт стали и сплавов НАН Украины. – Киев, 1998. - 79 с. – Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 13.07.98, № 326 - УК98.

Поступила 31.07.2013

◆

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

В редакции можно приобрести по льготной цене авторские экземпляры журнала. Просим заблаговременно подать заявку для формирования тиража.

контактный телефон 056-744-81-66
(факс) 0562-46-12-95

УДК 621.74.04

Наука

Усенко Р.В., Мазорчук В.Ф. /к.т.н./, Репях С.И. /к.т.н./
Национальная металлургическая академия Украины
Жегур А.А. /к.т.н./
ООО «НТП «Новые машины и технологии»

Огнеупорная суспензия буферных слоев керамических оболочковых форм для литья по выплавляемым моделям

В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что с повышением плотности водного раствора ортофосфорной кислоты, наполненности огнеупорной суспензии и со снижением её температуры условная вязкость суспензии монотонно возрастает. Наиболее существенное повышение условной вязкости огнеупорной суспензии наблюдается при снижении её температуры. Разработана математическая модель зависимости условной вязкости огнеупорной суспензии от основных параметров её приготовления и использования, позволяющая с погрешностью не более 2,5 % рассчитывать ее значение. Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

Ключевые слова: *суспензия, вязкость, температура, плотность, зола, математическая модель, точность*

As a result of experimental studies found that as the density of the aqueous solution of phosphoric acid, and the fullness of the refractory slurry to lower its temperature, relative viscosity of the suspension increases. The most significant increase in the conditioned refractory slurry viscosity observed when reducing its temperature.

A mathematical model based refractory slurry relative viscosity of the main parameters of its preparation and use, allowing with an accuracy of 2.5% to calculate its value.

Keywords: *suspension, viscosity, temperature, density, ash, mathematical models, accuracy*

Постановка проблемы и состояние вопроса

В настоящее время для изготовления керамических оболочковых форм (КО) для литья по выплавляемым моделям общемашиностроительного назначения в качестве связующего вещества используют гидролизованные растворы этилсиликата (ГРЭТС), кремнезоль или жидкое стекло с кварцем пылевидным, дистен-силлиманитом или электрокорундом. При этом все слои КО выполняют либо на ГРЭТС либо делают их комбинированными. В комбинированных КО первые 2-3 слоя выполняют на ГРЭТС или кремнезоле, а жидкое стекло используют для выполнения последующих слоёв КО. Керамические оболочковые формы, изготовленные только на жидком стекле, не применяются, т.к. они обладают низкой огнеупорностью и термостойкостью.

Одним из перспективных связующих материалов, которые позволяют повысить огнеупорность и термостойкость комбинированных жидкостекольных КО, является ортофосфорная кислота, наполненная пылевидной золой тепловой электростанции (ТЭС). Перспективность применения ортофосфорной кислоты обусловлена её относительной дешевизной, доступностью, необходимым уровнем физико-химических свойств и их стабильностью во времени. Зола является техногенным продуктом – результатом сжигания каменного угля и по стоимости на несколько порядков дешевле кварца пылевидного, дистен-силлиманита и электрокорунда. Тем не менее, ортофосфорную кислоту, как связующее вещество, и золу, как наполнитель огнеупорной суспензии для выполнения буферных слоёв (слоя) при производстве жидкостекольных КО, в литье по выплавляемым моделям не используют. Соответственно в настоящее время отсутствуют данные и о зависимости условной вязкости ортофосфорных огнеупорных суспензий от их наполненности пылевидной золой, температуры и плотности используемой ортофосфорной кислоты.

Постановка задачи исследования

Задача исследований – определить влияние наполненности ортофосфорной огнеупорной суспензии пылевидной золой, температуры суспензии и плотности используемой ортофосфорной кислоты на условную вязкость огнеупорной суспензии.

Основные результаты исследований

Для приготовления огнеупорной суспензии использовали следующие материалы: кислота ортофосфорная техническая (ТУ У 6-05766356.037-98) плотностью ρ = 1,59-1,61 г/см^3 (при 20 °С), вода техническая, зола Приднепровской ТЭС с относительной влажностью 0,5 % по массе. Перед использованием золу просеивали через сито с ячейкой 2×2 мм.

Приготовление суспензии на основе кислоты ортофосфорной осуществляли при 20±0,5 °С следующим образом. Кислоту ортофосфорную, воду и золу предварительно выдерживали при 20±0,5 °С в течение не менее 24 ч. После выдержки кислоту ортофосфорную порционно вливали в воду, перемешивали раствор и доводили до нужной плотности. Плотность раствора замеряли ареометром с точностью до 0,01 г/см^3.

В приготовленный раствор вводили соответствующую навеску золы-уноса в 2-3 приёма при непрерывном перемешивании. По окончании ввода последней порции навески золы, раствор перемешивали в

© Усенко Р.В., Мазорчук В.Ф., Репях С.И., Жегур А.А., 2013 г.

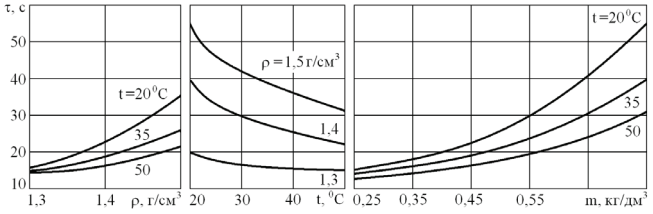
течение 1-2 мин. С момента ввода золы в ортофосфорную кислоту из раствора начинают выделяться газовые пузыри. В связи с этим раствор выдерживали в течение не менее 24 ч. Непосредственно перед определением условной вязкости испытуемый раствор тщательно перемешивали. Условную вязкость определяли по вискозиметру ВЗ-4 [1]. Время истечения суспензии из вискозиметра фиксировали по секундомеру с точностью 0,5 с.

Испытаниям подвергали суспензии для приготовления, которых использовали водные растворы ортофосфорной кислоты с плотностью от 1,3 до 1,5 г/см^3 определенной при 20 °С. Температуру суспензий в процессе проведения исследований изменяли в пределах от 20 до 50 °С, а их наполненность золой – в пределах от 0,25 до 0,75 кг/дм^3 водного раствора ортофосфорной кислоты.

Математическую зависимость между исследуемыми параметрами рассчитывали по методике, приведенной в [2]. По результатам проведенных вычислений получили следующую эмпирическую зависимость:

$$\tau = 9{,}111\cdot\rho^2\cdot m^2\cdot t^2 - 22{,}046\cdot\rho\cdot m^2\cdot t^2 + 13{,}335\cdot m^2\cdot t^2 - 4{,}8021\cdot\rho^2\cdot m\cdot t^2 + 11{,}7756\cdot\rho\cdot m\cdot t^2 - 7{,}2147\cdot m\cdot t^2 + 0{,}572\cdot\rho^2\cdot t^2 - 1{,}38914\cdot\rho\cdot t^2 + 0{,}84302\cdot t^2 - 788{,}435\cdot\rho^2\cdot m^2\cdot t + 1887{,}82\cdot\rho\cdot m^2\cdot t - 1130{,}26\cdot m^2\cdot t + 392{,}89\cdot\rho^2\cdot m\cdot t - 952{,}279\cdot\rho\cdot m\cdot t + 576{,}917\cdot m\cdot t - 45{,}303\cdot\rho^2\cdot t + 108{,}99\cdot\rho\cdot t - 65{,}542\cdot t - 32938{,}2\cdot\rho^2\cdot m^2 + 79229{,}2\cdot\rho\cdot m^2 - 47477\cdot m^2 + 13048{,}25\cdot\rho^2\cdot m - 31441{,}2\cdot\rho\cdot m + 18889{,}3\cdot m - 698{,}85\cdot\rho^2 + 1707{,}9\cdot\rho - 1027{,}9,$$

где τ – время истечения суспензии из вискозиметра (условная вязкость), с; ρ – плотность ортофосфорной кислоты, г/см^3; m – наполненность суспензии золой, кг/дм^3; t – температура суспензии, °С.



а б в

Рисунок. Зависимость условной вязкости суспензии от плотности ортофосфорной кислоты и температуры при m = 0,6 кг/дм^3 (а); от плотности ортофосфорной кислоты и наполненности суспензии при t = 20 °С (б); от наполненности суспензии и температуры при ρ = 1200 кг/м^3 (в)

Точность полученной математической модели оценивали по величине относительной погрешности между расчетными и экспериментальными данными. Результаты проведенных расчётов и сравнительный анализ показали, что индекс аппроксимации для полученной математической модели составляет 0,977, а величина наибольшей относительной ошибки между экспериментальными и расчётными данными не превышает 2,5 %. Высокий коэффициент аппроксимации и низкая величина максимальной относительной ошибки между экспериментальными и расчётными данными позволяет рекомендовать разработанную математическую модель для использования в инженерных расчётах при изменении исследованных параметров в указанных выше пределах [3].

Используя математическую модель, построили графические зависимости $\tau = f(\rho, m, t)$, представленные на рисунке.

Анализ зависимостей на рисунке показывает, что условная вязкость суспензии на основе кислоты ортофосфорной и золы возрастает с понижением её температуры, увеличением плотности водного раствора ортофосфорной кислоты и наполненности суспензии золой. При этом характер полученных зависимостей аналогичен характеру подобных зависимостей для суспензий на основе жидкого стекла с кварцем пылевидным, а также жидкого стекла и золой, которые приведены в [4].

Выводы

1. С повышением плотности водного раствора ортофосфорной кислоты, наполненности огнеупорной суспензии и со снижением её температуры условная вязкость суспензии монотонно возрастает.

2. Наиболее существенно изменение величины условной вязкости огнеупорной суспензии наблюдается при изменении её температуры, что следует учитывать при использовании огнеупорной суспензии в литейных цехах с неуправляемой температурой воздуха в отделении изготовления керамических оболочковых форм.

3. Разработанная математическая модель зависимости условной вязкости огнеупорной суспензии от основных параметров её приготовления и использования позволяет с высокой степенью надежности проводить корректировку ее состава в реальных условиях производства литья.

4. Использование пылевидных материалов техногенного происхождения позволяет более чем в ~2,5 раза снизить себестоимость керамических оболочковых форм, за счет замены дорогостоящих пылевидных материалов природного и искусственного происхождения

Библиографический список

1. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. - Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.

2. Жегур А.А. Методика построения эмпирических моделей // Литьё Украины. - 2010. – № 11(123). – С. 10–19.

3. Организация металлургического эксперимента / Г.Е. Белай, В.В Дембовский, О.В. Соценко. – М.: Металлургия, 1993. – 254 с.

4. Условная вязкость жидкостекольной суспензии / А.А. Жегур, С.И. Репях, Р.В. Усенко // Металл и литье Украины. – 2011. – № 4. – С. 29–32.

Поступила 07.08.2013

◆

УДК 621.771

Наука

Штода М.Н. /к.т.н./, Ершов С.В. /д.т.н./, Мельник С.Н. /к.т.н./, Нагорный С.Е.
Днепродзержинский ГТУ

Классификация ящичных калибров по виду напряженно-деформированного состояния

В статье изложены новые подходы к классификации ящичных калибров на основе исследований, проведенных с использованием программного пакета ESVDeform, разработанного сотрудниками кафедры ОМД ДГТУ. Анализ напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации при прокатке в ящичных калибрах разных типов привел к разработке новых подходов к классификации ящичных калибров. Предлагаемые подходы позволяют расширить классификационные признаки ящичных калибров и облегчить выбор калибра для их практического применения. Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: *классификация ящичных калибров, напряженно-деформированное состояние металла, очаг деформации, калибр*

The article describes new approaches to classification on the basis of box calibration studies conducted using a software package ESVDeform, developed by the staff of the Department OMD DGTU . Analysis of the stress -strain state of the metal in the deformation zone during rolling in the calibers of different types of box led to the development of new approaches to the classification of box calibers. The proposed approach can extend the classification features of box -caliber and facilitate the choice of caliber for their practical application .

Keywords: *classification of box -caliber , stress-strain state of the metal , the deformation , the caliber.*

Ящичные калибры широко распространены при прокатке сортовых профилей крупных и средних сечений [1, 2]. Система ящичных калибров применяется в обжимных клетях, в первых клетях всех современных сортовых станов. Подобные калибры широко используют при производстве профилей специального назначения. Ящичные калибры относят к калибрам простой формы [1, 2]. На производстве используют открытые и реже закрытые ящичные калибры.

Чаще всего ящичные калибры используют на начальных стадиях процесса прокатки при производстве сортовых профилей. Практический опыт показывает, что первые проходы определяют качество готовой продукции. Дефекты, образовавшиеся на этих этапах, часто переходят на готовую продукцию. Поэтому развитие теории процесса прокатки в калибрах ящичной формы является важной задачей не только с научной, но и с практической точки зрения.

В настоящее время существует ряд работ, посвященных изучению течения металла и напряженного состояния при прокатке в калибрах ящичной формы. Например, в [3] показано, что при прокатке слитка на гладкой бочке без кантовки на боковой поверхности раската образуется вогнутость, величина которой в некоторых случаях может достигать 50-55 мм. После кантовки такого раската и передачи его в первый ящичный калибр в первом проходе обжимаются в основном наплывы металла, а средняя часть слитка при этом или не контактирует с дном калибра, или обжимается незначительно. В [4] выполнен теоретический анализ напряженно-деформированного состояния металла при прокатке прямоугольной полосы в ящичном калибре специальной формы. Показано, что напряженное состояние металла вдоль физического очага деформации изменяется весьма значительно и связано с особенностями течения металла в различных зонах физического очага деформации.

При проектировании ящичных калибров кроме основной задачи – получение необходимой формы и размеров полосы – решаются также задачи, связанные с улучшением качества готовой продукции или повышением производительности стана:

1) исключение образования закатов на полосе при переполнении предыдущего калибра [5];

2) предотвращение возможного сваливания полосы в результате неустойчивого положения ее на рольганге при захвате валками [6];

3) улучшение условий захвата [7];

4) прокатка в одном калибре большого диапазона ширин полос без потери устойчивости [8];

5) обеспечение необходимого заполнения последующего калибра [3];

6) уменьшение неравномерности износа валков [9];

7) снижение трещинообразования [4].

Такой широкий круг решаемых специалистами задач приводит к использованию на практике разнообразных форм ящичных калибров. Однако в литературе нет однозначного ответа на вопрос о том, для каких случаев лучше использовать ту или другую форму ящичного калибра. Это можно объяснить отсутствием широких исследований напряженно-деформированного состояния металла при прокатке в ящичных калибрах разной формы и законченной

© Штода М.Н., Ершов С.В., Мельник С.Н., Нагорный С.Е., 2013 г.

классификации возможных форм ящичных калибров.

Целью данной работы является уточнение современной классификации применяемых на практике ящичных калибров исходя из новых сведений о напряженно-деформированном состоянии металла в очаге деформации.

Ящичный калибр имеет плоское, выпуклое или вогнутое дно. Величина выпуклости (вогнутости) не превышает, как правило, 2 % от высоты калибра. Образующая стенок калибра – наклонная прямая или ломаная линия. Выпуск калибра находится в пределах до 35 %. Переход от стенки ко дну выполнен по дуге или прямой (ломаной) линии.

Для достижения поставленной цели в части новых подходов к классификации выполнены теоретические исследования процесса прокатки квадратной полосы 300х300 мм в ящичных калибрах с наиболее часто встречающимися формами. Диаметр валков по буртам составил 600 мм. Выпуски калибров составляли 25 %, в калибре с двойным выпуском: у дна 17 %, у зазора 41,7 %. Моделирование проводилось с использованием программного пакета ESVDeform, разработанного на кафедре ОМД Днепродзержинского ГТУ. В основе программного пакета лежит метод конечных элементов, который используется для решения вариационной задачи.

При рассмотрении распределения продольных напряжений (σ_x) во входном сечении в очаг деформации (рис. 1) было выявлено, что в ящичном калибре простой формы по всей площади полосы, кроме углов калибра, возникают растягивающие напряжения (положительные значения). Это объясняется тем, что скорость продольного течения металла на входе в очаг деформации рассматриваемой формы максимальна в углах калибра. Схожее распределение продольных напряжений во входном сечении наблюдается и в калибре с двойным уклоном. Отличительной особенностью распределения σ_x во входном сечении

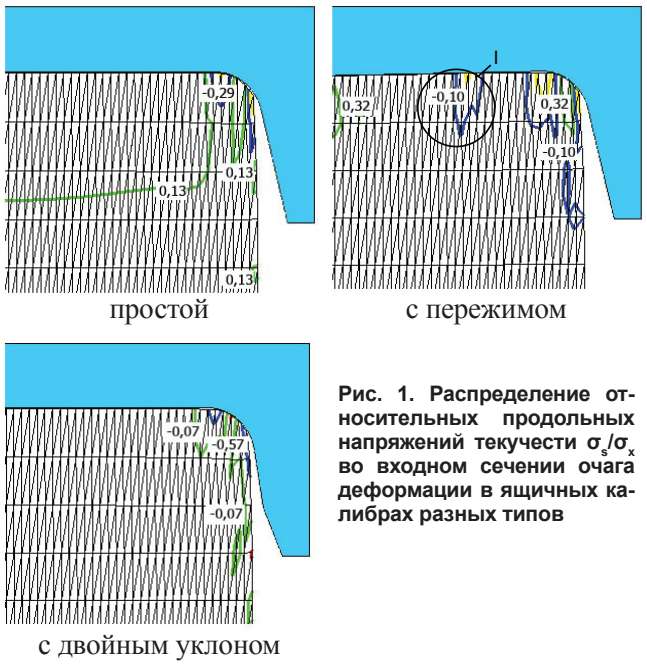


Рис. 1. Распределение относительных продольных напряжений текучести σ_s/σ_x во входном сечении очага деформации в ящичных калибрах разных типов

этого калибра являются большие по величине сжимающие σ_x и меньшие значения растягивающих напряжений σ_x (отрицательные значения), в сравнении с калибром без двойных уклонов. В калибре с пережимом во входном сечении сжимающие напряжения σ_x возникают на контакте полосы в зоне I. Это объясняется тем, что во входном сечении сильно развивается уширение полосы, а в рассматриваемом калибре выпуклость еще больше способствует боковому течению. Поэтому продольная скорость течения металла по вертикальной оси калибра меньше, чем в зоне I. Сжимающие напряжения σ_x во входном сечении калибра с пережимом сосредоточены также под углами калибров, а в самих углах возникают растягивающие σ_x. Это объясняется тем, что в отличие от всех остальных типов ящичных калибров на входе в калибр с пережимом металл стремится заполнить углы калибра не только в боковом, но и в вертикальном направлении. Т.е., вначале полоса обжимается

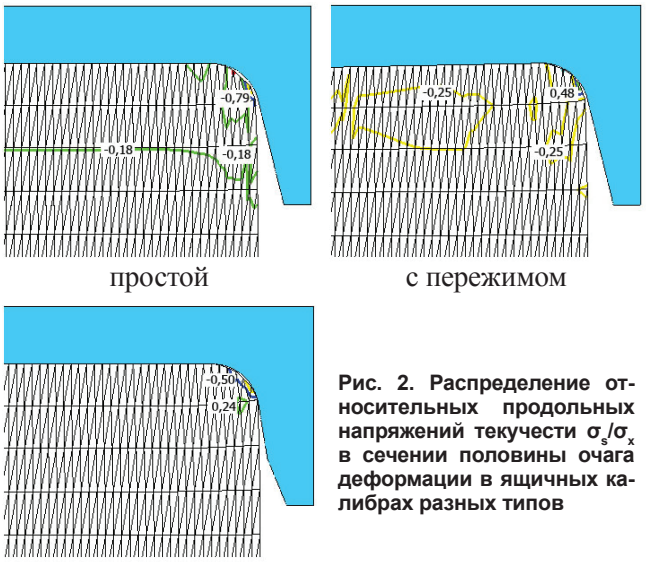


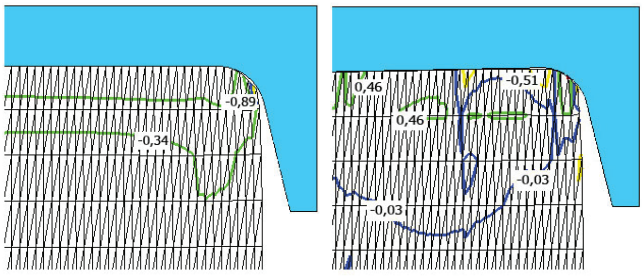
Рис. 2. Распределение относительных продольных напряжений текучести σ_s/σ_x в сечении половины очага деформации в ящичных калибрах разных типов

по вертикальной оси калибра, а потом встречается с валками в углах калибра. В результате на входе в очаг деформации замедляется продольное, вертикальное и боковое течение металла в углах калибра по сравнению с соседними участками. Поэтому в углах калибра с пережимом на входе в очаг деформации возникают растягивающие σ_x.

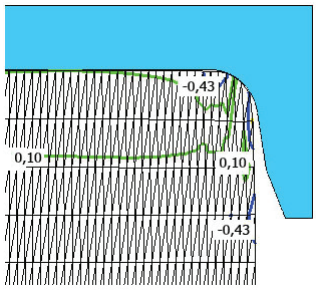
Анализ распределения продольных напряжений на половине длины очага деформаций (рис. 2) показывает, что при прокатке в ящичном калибре простой формы в рассматриваемом сечении возникают сжимающие напряжения, максимум которых приходится на углы калибра. Это объясняется максимальной продольной скоростью в углах полосы в рассматриваемом сечении очага деформации. В калибре с пережимом в рассматриваемом сечении очага деформации в углах полосы возникают растягивающие продольные напряжения. Это объясняется тем, что по вертикальной оси калибра создается большее обжатие, а значит, возникает большая вытяжка. Поэтому в углах формируется зона растягивающих σ_x. В калибре с двойным уклоном зона растягивающих напряжений форми-

руется ниже углов полосы. Это объясняется тем, что ниже этих зон на половине длины очага деформации начинается интенсивное боковое течение металла из-за отсутствия стенок калибра.

Анализ распределения продольных напряжений в остальных сечениях показал, что в ящичных калибрах рассматриваемых типов принципиальных различий, в характере возникновения зон растягивающих и сжимающих напряжений σ_x нет. Поэтому для краткости этот анализ в статье не приводим.



простой с пережимом

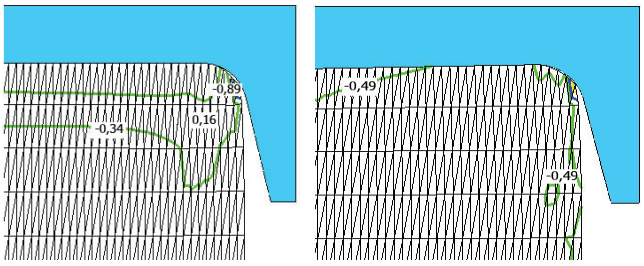


с двойным уклоном

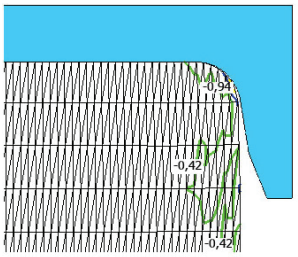
Рис. 3. Распределение относительных поперечных напряжений текучести σ_s/σ_y во входном сечении очага деформации в ящичных калибрах разных типов

При рассмотрении распределения поперечных напряжений (σ_y) было выяснено, что в сечении входа в очаг деформации (рис. 3) в калибре простой формы в приконтактной зоне возникают сжимающие σ_y, что объясняется незначительным проникновением деформации в глубину полосы во входном сечении. Из-за выпуклости дна калибра большая часть металла из центральной контактной зоны смещается сначала внутрь, а затем к боковым частям полосы. В результате во входном сечении на половине ширины поперечная скорость течения металла в приконтактном слое больше, чем на контакте. Поэтому посередине ширины калибра с пережимом во входном сечении возникают растягивающие поперечные напряжения. В калибре с двойным уклоном металл раньше, чем в калибре простой формы, встречается с боковыми стенками калибра. Поэтому практически во всем входном сечении возникают растягивающие поперечные напряжения, а в углах – сжимающие, так как на этом этапе продолжается заполнение углов калибра.

Анализ распределения поперечных напряжений в сечении очага деформации, находящемся на расстоянии четверти длины очага деформации от входа в него (рис. 4), показывает, что при прокатке в ящичном калибре простой форме его характер и величина мало чем отличается от входного сечения (см. рис. 3). В рассматриваемом сечении очага деформации калибра с пережимом на контакте возникает пикообразная зона растягивающих σ_y. Возникновение этой зоны



простой с пережимом

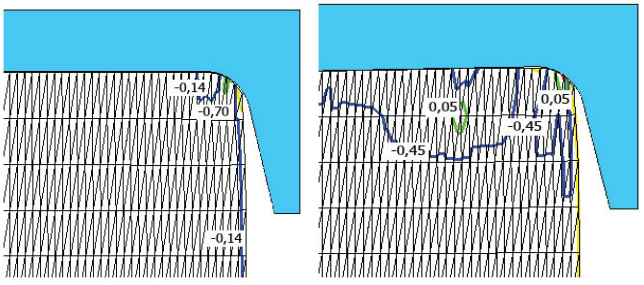


с двойным уклоном

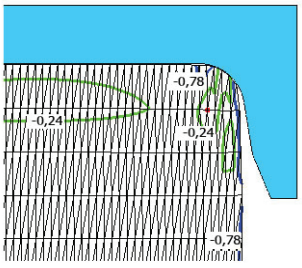
Рис. 4. Распределение относительных поперечных напряжений текучести σ_s/σ_y в сечении очага деформации, находящемся на расстоянии четверти длины очага деформации от входа в него, в ящичных калибрах разных типов

объясняется действием выпуклости дна калибра, механизм возникновения описан при анализе распределения поперечных напряжений во входной зоне. На боковой поверхности полосы в рассматриваемом сечении при прокатке в калибре с двойным уклоном возникают сжимающие напряжения, это объясняется большими скоростями поперечного течения металла в этих зонах, чем в соседних.

Анализ распределения поперечных напряжений в остальных сечениях показал, что в ящичных калибрах рассматриваемых типов принципиальных различий, в характере возникновения зон растягивающих и сжимающих σ_y, нет. Поэтому для краткости этот анализ в статье не приводим.



простой с пережимом

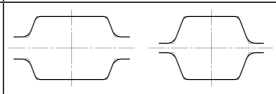
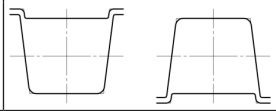
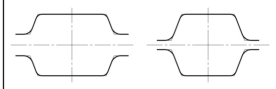
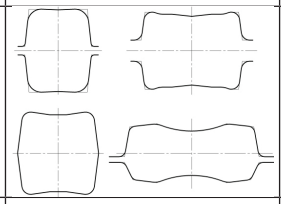
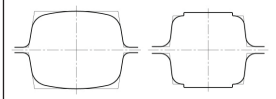
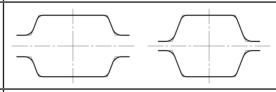
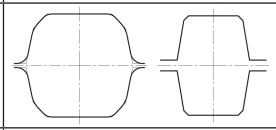
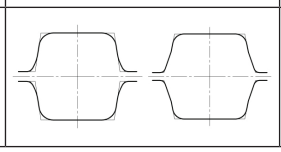


с двойным уклоном

Рис. 5. Распределение относительных вертикальных напряжений текучести σ_s/σ_z во входном сечении очага деформации в ящичных калибрах разных типов

Анализ распределения вертикальных напряжений (σ_z) во входном сечении (рис. 5) показывает, что максимум сжимающих вертикальных напряжений находится в углах полосы. При прокатке в ящичном калибре с двойными уклонами в таком же сечении максимальные сжимающие вертикальные напряжения распространяются от углов полосы до центра по

Таблица. Уточнения к классификации ящичных калибров

Тип ящичного калибра	Внешний вид	Описание
Открытый		Зазор совпадает с осью калибра
Закрытый		Зазор выше (ниже) калибра
Полузакрытый		Зазор не выходит за максимальные размеры калибра
С прямым дном		Одинаковая высота калибра по центру и в месте перехода к стенке
С выпуклым дном (с пережимом)		Высота калибра по центру меньше, чем в месте перехода к стенке
С вогнутым дном		Высота калибра по центру больше, чем в месте перехода к стенке
Закругленный		Переход от стенки ко дну по дуге
Десятиугольный		Переход от стенки ко дну по прямой (ломаной)
С прямым выпуском		Стенка калибра выполнена прямой линией
С двойным выпуском		Стенка калибра выполнена ломаной линией, раскрывающейся у зазора

всему краю полосы. Это объясняется сдерживающим влиянием боковых стенок калибра. В результате на боковой поверхности полосы более интенсивно развиваются вертикальная и продольная составляющая скорости течения металла. В калибре с пережимом в рассматриваемом сечении в углах полосы возникают растягивающие вертикальные напряжения из-за неравномерного обжатия по ширине калибра – вначале металл обжимается посередине ширины калибра, а потом, после заполнения, встречается с валками в углах калибра.

Анализ распределения вертикальных напряжений в остальных сечениях показал, что в ящичных калибрах рассматриваемых типов принципиальных различий, в характере возникновения зон растягивающих и сжимающих σ_z нет. Поэтому для краткости этот анализ в статье не приводим.

Изучение полей напряжений металла в очаге деформации показывает, что разница в форме калибра может привести к значительным изменениям напряженного состояния металла в очаге деформации. Следовательно, износ калибра, трещинообразование или выкатываемость трещин на полосе в каждом типе ящичного калибра будут разными. Например, при прокатке в калибре с пережимом во входной части очага деформации в приконтактной зоне возникают области с растягивающими σ_y (рис. 3, 4), что может привести к образованию продольных трещин на поверхности полосы, а замена такого калибра калибром с прямым дном может решить эту проблему. На основании выполненного анализа предлагается уточнение к существующей классификации типов ящичных калибров (таблица).

Выводы

Предложены новые подходы к классификации ящичных калибров, исходя из видов напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации. Предлагаемые подходы позволяют расширить классификационные признаки ящичных калибров и облегчить выбор калибра для их практического применения, исходя из вида напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации.

Библиографический список

1. Прокатка и калибровка. Т. 1. Справочник / Б.М. Илюкович, Н.Е. Нехаев, С.Е. Меркурьев. – Днепропетровск: РВА «Днепро-ВАЛ», 2002. – 506 с. – ISBN 966-7616-42-8.

2. Берковский В.С. Теоретические основы и расчет калибровки валков сортовых прокатных станов: учеб.-метод. Пособие. – М.: МИСиС, 2003. – 110 с.

3. Совершенствование технологии прокатки на блюмингах / Д.П. Кукуй, Г.М. Шульгин, В.А. Нечепоренко и др. // Сб. науч. статей «Наука производству». – К.: Наукова думка, 2003. – С. 166-169.

4. Анализ напряженного состояния в специальном ящичном калибре при прокатке трубной заготовки / С.В. Ершов, Г.В. Левченко, Е.Е. Мостипан, Г.А. Мединский // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 6. – С. 34-39.

5. Калибровка прокатных валков / Б.П. Бахтинов, М.М. Штернов. - М.: Металлургиздат, 1953. – 784 с.

6. Некрасов С.Г. Конструирование прямоугольных калибров для прокатки углеродистой и легированной стали // Сталь. – 1961. – № 6. – С. 541-542.

7. Сокращение ребровых пропусков на обжимной клети при прокатке полос / Е.М. Кроз, А.В. Сафронов // Сталь. – 1973. – № 5. – 438 с.

8. Уткин Г.С. Калибровка валков блюминга со сложным сортаментом // Сталь. – 1992. – № 6. – С. 49-51.

9. Совершенствование технологии прокатки заготовок на стане 850/730/580 / И.С. Кузнецов, А.Б. Юрьев, В.Н. Беспалов и др. // Сталь. – 2002. – № 12. – С. 40-41.

Поступила 27.05.2013

УДК 621.771. 23.003.1

Наука

Николаев В.А. /д.т.н./, Жученко С.В.
Запорожский национальный университет

Оценка неравномерности распределения погонных сил по ширине прокатываемой полосы

Выполнен теоретический анализ влияния различных факторов прокатки на неравномерность распределения сил прокатки по ширине полосы. Представлены результаты теоретических исследований. Проведена статистическая обработка результатов и представлены теоретические зависимости. Ил. 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: *прокатка, неравномерность сил, сила прокатки, изгиб валков, теоретическая зависимость*

Theoretical analysis of various factors rolling on the uneven distribution of forces rolling strip was made. The results of theoretical research. A statistical analysis of the results and shows the theoretical dependence.

Keywords: *rolling, uneven forces, the force of rolling, bending rolls, the theoretical dependence*

Введение

Поперечная разнотолщинность полосы при горячей и холодной прокатке, в общем случае, обусловлена прогибом рабочих и опорных валков. Величина совместного прогиба валков существенно зависит, в частности, от ширины полосы [1-4]. При этом, чем больше ширина полосы тем меньше прогиб валков. Влияние ширины полосы на закономерности прогибов проявляется через неравномерность распределения межвалковых погонных сил, что убедительно показано в экспериментальных исследованиях [2]. Очевидно, что вместе с этим на величину прогиба рабочего валка оказывает и определенное влияние неравномерность распределения погонных сил в контакте полосы с рабочим валком. Теоретически, это отражено в формуле для расчета собственного прогиба рабочего валка в публикации [4]. Степень неравномерности распределения погонных сил в контакте полоса-валок оценивается коэффициентом $n_1 = p_1/p_0$ (где p_1 и p - погонные силы на краевых участках и в середине ширины полосы $p_i = \Delta P_i/\Delta B_i$, где ΔP_i – часть полной силы P_i, действующая на участок ΔB_i ширины полосы). Неравномерность распределения P_i по ширине полосы обусловлена переменным по ширине обжатием полосы ($\Delta П$), собственно прогибом валков (W), неравномерным распределением по ширине полосы напряжений натяжения ($\Delta\sigma_H$). Все факторы, способствующие неравномерному обжатию по ширине полосы приводят к увеличению или уменьшению неравномерности погонных сил по ширине полосы и, в соответствии с этим, изменению коэффициента неравномерности n_1. В [5] представлены экспериментальные данные по изменению коэффициента n_1 в зависимости от некоторых параметров деформации. Так, установлено что с увеличением параметра L_a/L (L – длина бочки рабочего валка; L_a – длина бочки опорного валка без учета концевых скосов) коэффициент существенно возрастает от $n_1 = 0{,}3\text{-}0{,}8$ при $L_a/L = 0{,}4$, до $n_1 = 1{,}0\text{-}1{,}3$ при $L_a/L = 0{,}9$. Т.е., чем меньше длина концевых скосов (врезов) на бочке опорных валков, тем больше обжатие краевых участков полосы и, следовательно, больше значение краевой погонной силы P_1. Уменьшение ширины полосы также способствует увеличению значений n_1 и P_1 вследствие увеличения прогиба валков.

В [6] представлено теоретическое решение, которое с использованием итерационного процесса позволяет установить распределение погонных сил, а, следовательно, и коэффициент неравномерности n_1 в зависимости от основных параметров процесса прокатки при варьировании величинами поперечной разнотолщинности полосы до и после прокатки, т.е.

$$\Delta П = \delta H_0 - \delta h_0,$$

где δH_0 и δh_0 – величины поперечной разнотолщинности полосы по оси полосы до и после прокатки; $\Delta П$ – неравномерность обжатий по ширине полосы.

В соответствии с расчетами установлено, что с изменением параметра $\Delta П$ имеет место изменение величин относительных обжатий по ширине полосы, что приводит к соответствующему изменению напряжения течения металла, контактных нормальных напряжений и погонных сил по ширине полосы [5]. Так, установлено, что при прокатке высоких полос с $H = 3{,}5$ мм ($D_1 = 500$ мм) неравномерность распределения погонных сил по ширине полосы практически отсутствует. При прокатке тонких полос ($H = 0{,}5$ мм) и $\Delta П = 0{,}05$ мм коэффициент $n_1 = 0{,}91$. Коэффициент n_1 оказывает определенное влияние на прогиб рабочего валка, что показано в [4].

Основная часть исследований

В данной работе представлены расчеты параметров очага деформации по модели [6] с целью получения закономерностей изменения коэффициента n_1 при изменении отношения $B/L = 0{,}59\text{-}0{,}88$, $\Delta П/H = \pm 0{,}05\text{-}0{,}15$ и $\varepsilon = 0{,}2\text{-}0{,}4$. Результаты исследований представлены на рис. 1. Из расчетов следует, что па-

© Николаев В.А., Жученко С.В., 2013 г.

раметр $\Delta П/H$ оказывает существенное влияние на неравномерность распределения погонных сил и при большем обжатии в середине ширины полосы ($\Delta П/H > 0$) коэффициент n_1 меньше единицы ($n_1 < 1{,}0$). Коэффициент n_1 уменьшается с увеличением параметра $\Delta П/H$ и уменьшении обжатия ε, т.е. при увеличении $\Delta П$ и уменьшении толщины полосы. При $\Delta П/H = 0$ (равномерное обжатие по ширине полосы) во всех случаях коэффициент $n_1 = 1{,}0$. Минимальные значения $n_1 \approx 0{,}5$ имеет место при значительной неравномерности обжатий по ширине, и при небольшом общем обжатии, когда доля влияния различия обжатий в середине и на кромке наиболее заметна. При реальных в практике значениях $\Delta П/H < 0{,}05$ коэффициент неравномерности n_1 при ($P_1 < P_0$) находится в пределах $n_1 = 0{,}81$-$1{,}0$ (рис. 1а).

При прокатке полос с большим обжатием по кромке полосы ($P_1 > P_0$) коэффициент n_1 ($-\Delta П/H$) оказывается больше единицы ($n_1 > 1$) (рис. 1б), что возможно в случае значительного прогиба валков или когда исходная полоса имеет прямоугольную или вогнутую форму поперечного сечения, а межвалковый зазор последующей клети имеет выпуклую форму. Теоретические результаты расчетов в достаточной степени адекватны результатам экспериментальных исследований [6]. Очевидно, для практических расчетов прогибов рабочих валков при прокатке тонких полос представляют интерес значения коэффициентов n_1, ограниченных параметром $\Delta П/H$ в пределах $\Delta П/H = 0$-$0{,}05$.

Расчетные данные на рис. 1 обработаны по методу наименьших квадратов с использованием программного пакета Statistica 6.1 и получено уравнение следующего вида

$$n_1 = 1{,}04 + 0{,}06\varepsilon - 2{,}9\frac{\Delta П}{H}. \qquad (1)$$

Представленное выражение получено при условии постоянных значений температуры и напряжений натяжения по ширине. С учетом влияния этих факторов запишем

$$n_1 = 1{,}04 + 0{,}06\varepsilon - 2{,}9\frac{\Delta П}{H}(1+k), \qquad (2)$$

где ε - относительное обжатие в долях; H - исходная толщина полосы; k – коэффициент учитывающий переменность внешних факторов на величину n_1.

Коэффициент k – равен

$$k = \pm\Delta P_1 / P_0; \quad \Delta P_i = P_0 - P_1; \qquad (3)$$

где ΔP_i – приращение или уменьшение погонной силы на краевом участке полосы вследствие снижения температуры полосы или увеличения натяжения на этом участке.

При этом, уменьшение температуры краевых участков вызывает увеличение P_1 и коэффициент $k = \Delta P_i / P_0$ будет иметь отрицательный знак ($k < 0$). В случае увеличения напряжения растяжения, например, на кромках коэффициент $k > 0$, т.е. со знаком (+). При прокатке с $n_1 < 1$ в первом случае происходит выравнивание погонных сил, и коэффициент $n_1 \to 1{,}0$, а во втором случае ($n_1 < 1$ и $k > 0$) будет иметь место уменьшение первоначальных значений n_1.

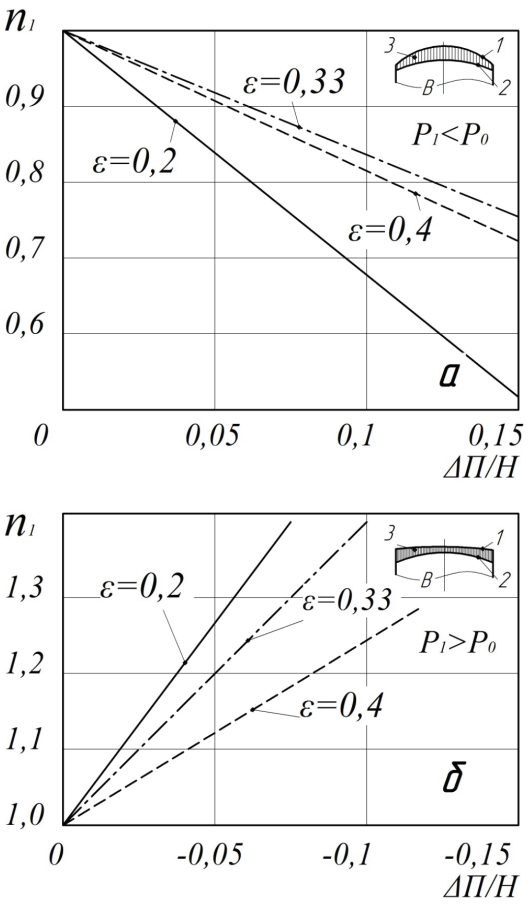


Рис. 1. Влияние неравномерности обжатия ΔП/H на коэффициент n_1 неравномерности распределения погонных сил по ширине полосы (НСХП 1700, H = 1-3 мм; B = 1000-1500 мм; сталь марки 08кп; диаметр валков 500 мм: 1 – профиль поперечного сечения заготовки; 2 – профиль поперечного сечения готовой полосы; 3 – область неравномерного обжатия

В выражении отсутствует такой важный параметр листовой прокатки как B/L, но влияние его проявляется через величины неравномерности обжатия $\Delta П$. Параметр $\Delta П$, а следовательно, и коэффициент n_1 будут определяться, как показывают опыты [5], отношениями B/L и L_a/L. При небольших значениях L_a/L (например, 0,5-0,6) и больших значениях отношения B/L коэффициент $n_1 < 1{,}0$, а при увеличении L_a/L до 0,85-0,9 коэффициент $n_1 > 1{,}0$ [5], т.е. в данном случае, кромки полосы получают большее обжатие (рис. 1б). Получение системных данных о коэффициенте n_1 позволяет уточнить расчетные величины собственного прогиба рабочего валка [4].

Для расчета прогиба рабочего валка необходимо также предварительно определить коэффициент n неравномерности распределения межвалковых погонных сил [2, 4], который оказывает существенное влияние на прогиб рабочего валка через изменение отношения B/L_a и чем меньше B/L_a, тем больше прогиб рабочего валка. Расчет коэффициента n неравномерности распределения межвалковых погонных сил

в зависимости от B/L_a, D_1/D_2 и f_Σ, на основе экспериментальных данных [2], можно выполнить по выражению, представленному в [4]

$$n=\left[0,86+0,97\frac{B}{L_a}\left(2,44\cdot\frac{B}{L_a}-1\right)-5,9\frac{D_1}{D_2}(1-1,56\frac{D_1}{D_2})\right]\times \quad (4)$$
$$\times 0,5\left[1+(1-1000f_\Sigma/L_a)^2\right],$$

где D_1 и D_2 – диаметры соответственно рабочего и опорного валка; f_Σ - суммарная выпуклость рабочего и опорного валков.

Прогиб валков определяли по известным формулам:

рабочий валок

$$W_1=\frac{PL_a^3}{384E_1J_1}\left(\frac{3}{2+n}\{3-1,7(1-n)\}-\frac{B^3}{L_a^3}\frac{3}{(2+n_1)}\times\right.$$
$$\left.\times\left\{1-4\frac{L_a}{B}+6\frac{L_a^2}{B^2}-8(1-n_1)\times\left[0,5\frac{L_a^4}{B^4}-0,167\frac{L_a^3}{B^3}-0,12\right]\right\}\right)+ \quad (5)$$
$$+\frac{PL_ak}{4\pi R_1^2G_1}\times\left[\frac{3}{2+n}\left(0,5-\frac{n-1}{4}\right)-\frac{B}{L_a}\frac{3}{2+n_1}\left(0,5-\frac{1-n_1}{4}\right)\right];$$

опорный валок

$$W_2=\frac{PL_a^2}{29,5E_2J_2}\left[\frac{1+2n}{2+n}+2,9\frac{E_2J_2L}{G_2R_2^2L_a^3}\left(1-\frac{L_a}{2L}\right)\right]-0,92\left(\frac{a}{L_a}-1\right), \quad (6)$$

где B – ширина полосы; L – длина бочки опорного валка; L_a – длина бочки опорного валка без учета врезов; n_1 – коэффициент неравномерности распределения сил под полосой; n - коэффициент неравномерности межвалковых погонных сил; D_1 и D_2 – диаметры рабочего и опорного валков; P – сила прокатки; E_1 и E_2 – модуль упругости рабочего и опорного валков, соответственно; J_1 и J_2 – момент инерции рабочего и опорного валка, соответственно; k – коэффициент отражающий форму сечения (k = 1); G_1 и G_2 – модуль сдвига рабочего и опорного валка, соответственно.

Расчет прогиба рабочих валков необходимо выполнять при заданных величинах δH_0 и δh_0 и предварительном определении коэффициента n_1 по формуле (2).

Как следует из теоретических исследований (рис. 2), (при $n_1 = const$), величина прогиба рабочего валка увеличивается с увеличением силы прокатки и уменьшением ширины полосы. Однако при $n_1 = 1,2$ (б) ($n = const$) прогиб имеет отрицательное значение (выпуклость на полосу), а при $n_1 = 0,8$ (а) прогиб рабочего валка положительный (выпуклость на опорный валок). Физическая сущность влияния силы P и отношения B/L раскрыта в известных работах [2, 4], а механизм взаимодействия межвалковой погонной силы и погонной силы в контакте полоса-валок подробно освещены в [5]. На рис. 3 видно, что с увеличением неравномерности распределения погонных сил в системе полоса-валок прогиб рабочего валка заметно уменьшается, а особенно на узкой полосе ($B/L = 0,58$). Однако, и в этом случае при $n_1 = 1,07$ (в соответствии с расчетами) обеспечивается нулевой прогиб рабочего валка. В реальных же условиях прокатки за счет большого обжатия средней части ширины полосы ($\Delta П > 0$) (рис. 1а) имеем $n_1 = 1,0$ и соответствующий прогиб рабочего валка (рис. 3).

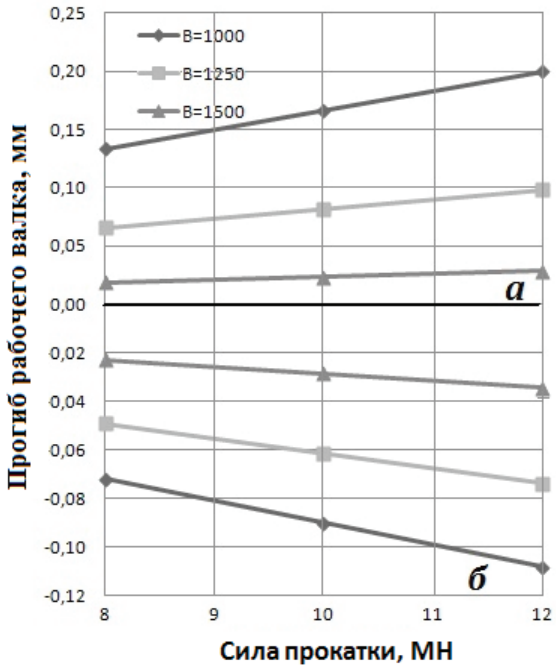


Рис. 2. Влияние силы прокатки ширины полосы на собственный прогиб рабочего валка при коэффициенте n_1 = 0,8 (а), и n_1 = 1,2 (б) (стан 1700)

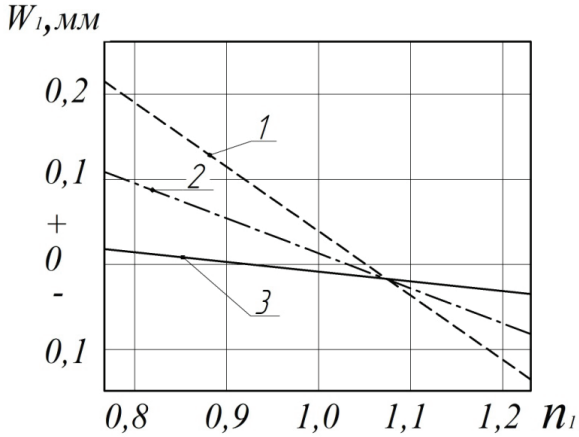


Рис. 3. Влияние неравномерности погонных сил в контакте полоса-рабочий валок (коэффициент n_1) на собственный прогиб рабочего валка (L = 1700 мм, D_p = 500 мм, P = 12 МН). Отношение B/L: 1 - 0,588; 2 - 0,734; 3 - 0,88

Выводы

Впервые получена зависимость коэффициента неравномерности распределения погонных сил по ширине полос от степени деформации, толщины полос и неравномерности обжатий по ширине полосы.

Установлено, что уменьшение неравномерности обжатий по ширине полосы обеспечивает снижение прогиба рабочего валка и поперечной разнотолщинности полос.

В условиях холодной прокатки снижению неравномерности обжатий по ширине полосы способствует уменьшение поперечной разнотолщинности горячекатаного подката, получаемого с непрерывного широкополосного стана горячей прокатки. Кроме того, для снижения неравномерности обжатий по ши-

рине полосы целесообразно обеспечить преимущественное натяжение в средней ее части по сравнению с кромками перед или после клети № 1 непрерывного стана холодной прокатки. Это позволит приблизить значение коэффициента n_1 к единице. Для такого регулирования можно использовать роликовые устройства со специальными профилями рабочей поверхности.

Библиографический список

1. Боровик Л.И. Эксплуатация валков станов холодной прокатки. - М.: Металлургия; 1968. – 233 с.
2. Полухин В.П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов. - М.: Металлургия, 1972. – 512 с.
3. Профилирование валков листовых станов / А.А. Будаква, Ю.В. Коновалов, К.Н. Ткалич и др. - К.: Техніка, 1986. – 190 с.
4. Николаев В. А. Профилирование и износостойкость листовых валков. – К.: Техніка, 1992. – 160 с.
5. Николаев В.А., Жученко С.В. Неравномерность погонных сил по длине валков и полосы // Металл и литье Украины. – 2011. - № 5. - С. 6-9.
6. Николаев В.А. Жученко С.В. Погонные силы в области контакта «полоса-валок» в клети кварто // Металл и литье Украины. – 2010. - № 12. – С. 9-13.
7. Николаев В.О., Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. – Запоріжжя: ЗДІА, 2010. – 320 с.
8. Николаев В.А., Жученко С.В. Регулирование плоскостности полос при холодной прокатке роликовыми устройствами // Металлург. и горноруд. промсть. – 2011. - № 7. – С. 235-237.

Поступила 04.07.2013

◆

УДК 620.178.152.28

Наука

Грушко А.В. /к.т.н./
Винницкий НТУ

Построение динамической кривой упрочнения металла при холодной деформации с использованием методов твердости по Либу и Бринеллю

Предложен метод построения кривой упрочнения с учетом скорости деформаций для черных металлов на основе определения твердости по Либу и Бринеллю. Кривая упрочнения аппроксимирована степенной функцией. Уравнения связи чисел твердости и кривой течения получены путем моделирования методом конечных элементов. Метод обладает достаточной простотой и может быть предложен в качестве оценки чувствительности материала к скоростному упрочнению для расчетов процессов холодного пластического деформирования. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: *динамическая кривая упрочнения, холодная деформация, методы твердости по Бринеллю и Либу*

The article deals with a method of constructing the hardening curve, taking into consideration the strain rate for ferrous metals based on the determination by Lieb and Brinell hardness. Hardening curve is approximated with a power function. Equations of relating of hardness numbers and the flow curve are obtained with finite element modeling. The method is sufficiently simple and can be offered as an estimate of the sensitivity of the material to speed hardening process for the calculation of cold plastic deformation

Keywords:dynamic curve of hardening, cold deformation, Lieb and Brinell hardness method

Динамическое воздействие на металл заготовки, обрабатываемой методами холодного пластического деформирования (ХПД), может оказывать существенное влияние на его свойства сопротивления пластическому формоизменению. Как правило, это выражается в повышении предела текучести, прочности, упрочняемости металла при средних и высоких скоростях деформаций, что следует учитывать при расчете и моделировании таких процессов обработки давлением как электрогидроимпульсная штамповка, прокатка, методы поверхностного пластического деформирования – обкатывание, выглаживание, обдув дробью и др. Скоростные эффекты учитываются также при конечноэлементном моделировании столкно-

© Грушко А.В., 2013 г.

вения автомобилей, самолетов, механизмов, аварий строительных конструкций, проведении экспертиз, связанных с определением энергии деформации при столкновении автомобилей и пр. [1, 2]. В литературе достаточно слабо представлены данные влияния скорости деформации на упрочнение в холодном состоянии большинства конструкционных материалов [2-4]. В результате возникает необходимость экспериментальной или расчетной оценки этих параметров [4–6]. Для таких исследований применяют специальные лабораторные динамические испытания, являющиеся малораспространенными и дорогостоящими. Таким образом, актуальным является разработка метода определения параметров скоростного упрочнения материала, позволяющего применять стандартные методы испытаний.

В основу описания динамических кривых упрочнений могут быть положены различные гипотезы, находящие свое отражение в соответствующих моделях металла. В дальнейшем рассматривается изотропное упрочнение начально-изотропного материала в холодном состоянии.

Динамические кривые упрочнения часто ставят в соответствие со статическими, с учетом масштабного коэффициента, зависящего от свойств металла и скорости деформации [3, 6]

$$\sigma_i = \sigma_{ist}(e_i) f(\dot{e}_i), \qquad (1)$$

где σ_i, e_i – интенсивность напряжений и деформаций (истинное напряжение и деформация); $\sigma_{ist}(e_i)$ - функция напряжения течения в квазистатических условиях; $\dot{e}_i$ - интенсивность скоростей деформаций.

Иным подходом может быть аппроксимация динамических кривых упрочнений соответствующими уравнениями, например, [4]

$$\sigma_i = A_V e_i^{n_V}, \qquad (2)$$

где A_V, n_V – коэффициенты, учитывающие влияние скорости деформаций на напряжение текучести; A_V, n_V найдены по результатам испытаний различных металлов и нелинейно зависят от скорости деформаций [4]

$$A_V = A\left[1{,}045 + \frac{1}{135}\ln(0{,}00227 + \dot{e}_i)\right],$$

$$n_V = n\left[\exp[-0{,}127 ln(1+\dot{e}_i)]\right].$$

Недостатком модели (2) является одинаковая динамическая упрочняемость при идентичных статических кривых упрочнения, что не согласуется с экспериментом для металлов, относящихся к разным реологическим классам.

При скоростях деформаций больше 10 $с^{-1}$, с учетом встречающихся на практике констант параметров упрочнения материала, используемых в обработке металлов давлением (ОМД), модель (1) нашла применение в виде степенной функции [3, 6, 8]

$$\sigma_i = A(e_0 + e_i)^n \dot{e}_i^m,$$

A, n, m – константы материала – модуль упрочнения, показатель деформационного упрочнения и показатель скоростного упрочнения соответственно; e_0 - деформация начальной текучести.

С целью уменьшения количества констант модели параметр e_0 может быть задан по пересечению прямолинейного упругого участка, определяемого модулем Юнга со степенной функцией $\sigma_i = Ae_i^n$ [7]. Такое приближение оправдано в задачах, в которых пластическая деформация e_i достигает значений, значительно превосходящие величину e_0. Таким образом, в данной работе за основу принята модель упрочнения материала в виде

$$\sigma_i = A\left[\left(\frac{E}{A}\right)^{\frac{1}{n-1}} + e_i\right]^n \dot{\varepsilon}_i^m. \qquad (3)$$

За основу исследования свойств металла примем испытания на твердость в условиях квазистатического и динамического нагружения. Отметим, что с твердостью связывают различные механические свойства металла – пределы текучести, прочности; коэффициенты Холла-Петча; микроструктуру металла и пр. [8, 9]. Очевидна феноменология связи процесса внедрения шарового индентора в статической и динамической постановке задачи с кривой упрочнения.

Целью данной работы является обоснование и разработка метода определения параметра m скоростного упрочнения путем измерения его статической твердости по Бринеллю HB и динамической по Либу *HL*, как наиболее простых и легко реализуемых в лабораторных и производственных условиях.

Определение статической кривой упрочнения

В [10, 11] обоснованы методы изучения кривых упрочнения, использующих простейшие методы испытаний, в том числе на основе стандартных механических характеристик. Наиболее высокую точность имеют методы, основывающиеся на измерении твердости с различными нагрузками на индентор [10].

Связь статической твердости (при $m = 0$) при внедрении шара диаметром 0,010 м при нагрузках 29,43 кН (3000 кгс) и 2,453 кН (250 кгс) с кривой упрочнения материала получена в [10] с использованием МКЭ при таких условиях: характеристики материала: коэффициент Пуассона μ = 0,3, модуль Юнга E = 210 ГПа, коэффициент трения между шариком и поверхностью по Кулону f = 0,1. Материал шарика – абсолютно упругий с μ = 0,3 и E = 210 ГПа. В результате получены степенные зависимости

$$HB_{3000} = -810{,}4 + 965{,}8n^{0.349} + 19{,}05A^{0.798} - 19{,}51n^{0.349}A^{0.798}, \qquad (4)$$

$$HB_{250} = -762{,}43 + 778{,}1n^{0.396} + 54{,}97A^{0{,}624} - 59{,}72n^{0.396}A^{0{,}624}, \qquad (5)$$

где HB_{3000}, HB_{250}, A в МПа.

Погрешности определения HB_{3000} по (4) не более 2 %, HB_{250} по (5) не более 4 %. Пределы изменения аргументов – $0{,}05 \le n \le 0{,}5$; $500 \le A \le 1500$ МПа.

Решение систем уравнений (4), (5) дает значения аппроксимирующих коэффициентов с погрешностью не более 10 %. Различие в корреляциях кривых упрочнения, построенных по твердости с кривыми упрочнения, полученных испытанием образцов на сжатие, растяжение и кручение составляет менее 2 % [10].

Определение динамической кривой упрочнения по измерению твердости HL по Либу

Метод твердости по Либу основывается на измерении скорости отскока $v_{отск}$ ударника со сферическим наконечником диаметром 3 мм, массой 5,5 г, с начальной скоростью v_0 = 2 м/с (энергия удара 11 мДж). Твердость определяется согласно зависимости

$$HL = 1000\frac{v_{отск}}{v_0} \qquad (6)$$

Следуя апробированной методике, моделировали процесс измерения твердости по Либу МКЭ (LS-DYNA). Отметим, что такая задача является динамической, упруго-пластической, контактной, нелинейной, требующей учета больших перемещений и деформаций. Свойства материала задавали в виде кривой упрочнения с учетом скоростного упрочнения, согласно зависимости (3). Характеристики упругости материала и условия контакта принимали такими же, как и при моделировании твердости по Бринеллю. Задавались различными n = 0,05-0,55 с интервалом 0,1 и A = 500-1500 МПа с интервалом 250 МПа, m = 0-0,1 с интервалом 0,01. Таким образом, получили приблизительно 300 значений динамической твердости HL. Отметим, что скорость деформации в очаге формоизменения достигала значений 500-1500 $с^{-1}$. Для каждой пары A и n производили расчет HB_{250} и HB_{3000}. Таким образом, набору величин A, n и m поставлены в соответствие значения HL, HB_{250} и HB_{3000}. Для каждого значения m искали корреляционную связь $HL(HB_{3000}, HB_{250})$ в виде полинома 2-й степени (корреляция около 98,5 %)

$$HL = a_0 + a_1 \cdot HB_{3000} + a_2 \cdot HB_{250} + a_3 \cdot HB_{3000}{}^2 + \\ + a_4 \cdot HB_{250}{}^2 + a_5 \cdot HB_{3000} \cdot HB_{250}, \qquad (7)$$

где $a_0, a_1 \ldots a_5$ - коэффициенты, зависящие от показателя упрочнения m.

Дальнейшее изучение показало, что коэффициенты выражения (7) следуют квадратичным зависимостям относительно m (корреляция около 99 %)

$$a_i = b_{i1}m^2 + b_{i2}m + b_{i3},\ i = 0\ldots5, \qquad (8)$$

где b_{i1}, b_{i2}, b_{i3} - коэффициенты аппроксимации параметров a_i, не зависящие от m.

При подстановке (8) в (7) получаем квадратное уравнение

$$Bm^2 + Cm + D = 0, \qquad (9)$$

где

$$B = \sum_{i=0}^{5} b_{i1} = b_{01} + b_{11} + b_{21} + b_{31} + b_{41} + b_{51} = -195,9 - 2,05HB_{3000} + \\ +4,73HB_{250} + 0,0025HB_{3000}^2 + 0,0022HB_{250}^2 - 0,00528HB_{3000}HB_{250},$$

$$C = \sum_{i=0}^{5} b_{i2} = -133,8 + 0,0413HB_{3000} + 0,194HB_{250} - 0,000021HB_{3000}^2 + \\ + 0,00015HB_{250}^2 - 0,0001HB_{3000}HB_{250},$$

$$D = \sum_{i=0}^{5} b_{i3} = -HL + 91,067 - 0,0585HB_{3000} + 0,383HB_{250} + 0,000228HB_{3000}^2 + \\ + 0,00028HB_{250}^2 - 0,000536HB_{3000}HB_{250}, \qquad (10)$$

Решение (9) дает значение показателя скоростного упрочнения

$$m = \frac{-C + \sqrt{C^2 - 4BD}}{2B}. \qquad (11)$$

Методика

Для определения динамической кривой упрочнения металлов в виде степенной зависимости (3), в соответствии с вышеизложенным методом, необходимо:

а) измерить статическую твердость по Бринеллю HB_{3000}, HB_{250} при усилиях 29,43 кН (3000 кгс) и 2,453 кН (250 кгс) на стальной шаровой индентор диаметром 0,010 м;

б) измерить динамическую твердость по Либу HL (энергия удара 11 мДж, шаровой ударник диаметром 3 мм, массой 5,5 г);

в) рассчитать параметры статической кривой упрочнения A и n, численно решив систему уравнений (4), (5);

г) рассчитать величины B, C, D по (10) и определить показатель скоростного упрочнения m по (11).

Если кривая упрочнения металла для квазистатических условий известна, то следует аппроксимировать ее степенной функцией $\sigma_i = Ae_i^n$; далее рассчитать HB_{3000}, HB_{250} по (4), (5); измерить HL; выполнить пункт г).

Проверка

Проверку предложенного метода провели для ряда сталей: ШХ15, Х18Н9Т, 20Х, Сталь 20, Сталь 45. Измерение твердости HB производили на стандартном твердомере Бринелля, твердость по Либу – с использованием переносного твердомера ТЭМП-4. Статическую кривую упрочнения строили путем испытания коротких образцов на сжатие в специальном приспособлении, с использованием прокладок из свинца, меди и фторопласта. Динамическую кривую упрочнения строили с использованием уникального динамического стенда ударного действия, обеспечивающего различные скорости нагружения, задавали скорость деформаций в испытаниях 500 $с^{-1}$.

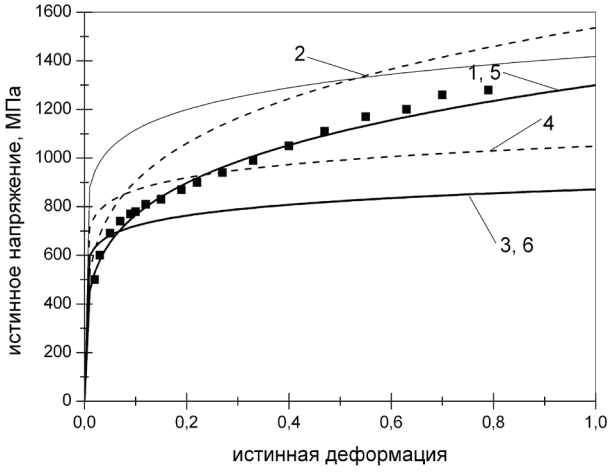


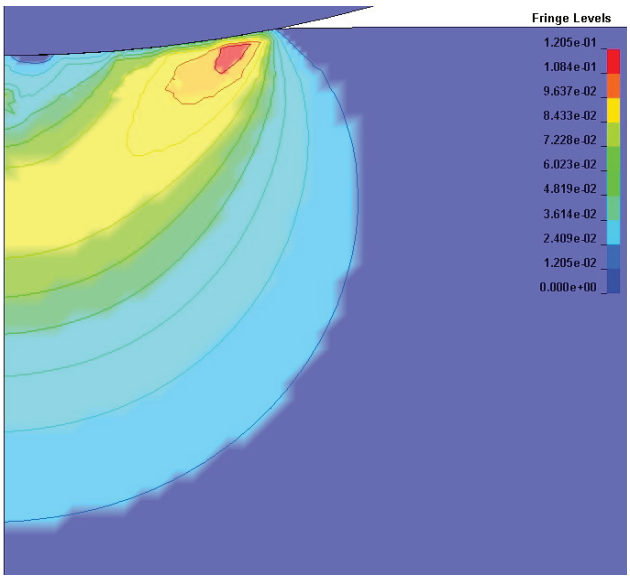
Рис. 1. Кривые упрочнения для материалов, имеющих различные кривые упрочнения и одинаковую твердость HB_{3000} = 2011 МПа в квазистатических (кривые 1, 3) и динамических (кривые 2, 4, 5, 6) условиях. Точками показаны данные статических испытаний стали ШХ15. Характеристики кривых сведены в таблицу. 1

Так, для стали ШХ15, состояние поставки, экспери-

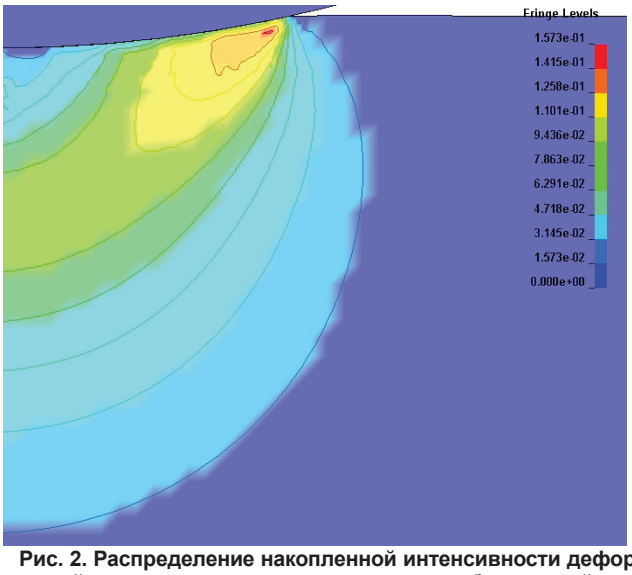
Таблица. Характеристики материала к рис. 1

Номер кривой (по рис. 1)	HB_{3000}, МПа	HB_{250}, МПа	HL	A, МПа	n	m	$\dot{e}_i$, c^{-1}
1	2011	1560	497	1300	0,23	0,03	0,01
2		1560	497	1300	0,23	0,03	500
3		1800	548	871	0,082	0,03	0,01
4		1800	548	871	0,082	0,03	500
5		1560	488	1300	0,23	0	500
6		1800	537	871	0,082	0	500

ментально полученные значения: HB_{3000} = 2011 МПа, HB_{250} = 1560 МПа, HL = 497, A = 1250 МПа, n = 0,21, m = 0,033. Рассчитанные значения составили A = 1300 МПа, n = 0,23, m = 0,03 (рис. 1, кривая 1). Погрешность определения параметров: A – 4 %, n – 9,5 %, m - 10 %. Аналогичную точность имеют A, n и m, полученные для остальных исследованных материалов.



а)



б)

Рис. 2. Распределение накопленной интенсивности деформаций при внедрении шара в материал, обладающий скоростным упрочением (а) (m = 0,033) и при его отсутствии (б) (m = 0). A = 1250 МПа, n = 0,21

Отметим, что одинаковым числам стандартной твердости HB_{3000} соответствуют различные значения HL в зависимости от величин A и n, при равных показателях скоростного упрочнения m (таблица. 1). В свою очередь, параметр m также оказывает существенное влияние на HL при прочих равных условиях. В результате можно сделать вывод о некорректности перевода чисел твердости HL в HB_{3000}, в том числе для материалов, относящихся к одной группе по химическому составу.

Выводы

1. Скоростное упрочнение металла оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние для процессов холодно пластического деформирования с высокими скоростями деформаций, что следует учитывать при их исследовании и расчете.

2. Функциональная связь между твердостью по Бринеллю и Либу для различных групп металлов в общем виде отсутствует. В результате, перевод чисел твердости HL в HB (или иные шкалы твердости) без дополнительных условий может внести в результат погрешность неопределенной величины. Можно допустить, что числа HL и HB имеют высокую степень корреляции лишь для сталей определенного класса, химического состава и условий термообработки.

3. Использование предложенного метода твердости для получения динамической кривой упрочнения основывается на экспериментальных данных измерения твердости по Либу. Статическая кривая упрочнения может быть определена по твердости Бринелля при различных нагрузках или иными экспериментально-расчетными методами. Метод обладает достаточной простотой, удобством и может быть предложен в качестве экспресс-оценки чувствительности материала к скоростному упрочнению в холодном состоянии для расчетов процессов ОМД, а также при моделировании аварийных режимов работы детали.

Библиографический список

1. Високошвидкісні методи обробки металів тиском: Підручник / В.А. Тітов, Ю.Є. Шамарін, А.І. Долматов та ін. – К.: КВІЦ, 2010. – 304 с. – ISBN 978-966-2003-59-8.

2. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы): монография / В.А. Огородников, В.Б. Киселев, И.О. Сивак – Винница: Универсум-Винница, 2005. –195 с. – ISBN 966-641-117-2.

3. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки давлением: Справочник / А. Хензель, Т. Шпиттель. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.

4. Учет скоростного упрочнения материалов при оценке энергии пластического деформирования элементов конструкции автомобиля / В.А. Огородников, А.В. Грушко, В.В. Захаров // Изв. ТулГУ. Серия. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. – Тула: ТулГУ. - 2005. - Вып. 3. – С. 26-33.

5. Муратов Р.Х. Расчетное построение кривых статического и динамического деформирования материалов. Часть I. Условные кривые статического деформирования // Тяжелое машиностроение. - 2012. - № 9. - С. 32-35. - ISSN 0131-1336.

6. Грушко А.В. Определение параметров ско-

ростного упрочнения материала по его твердости Вісник НТУ «ХПІ» тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. - Харків: НТУ «ХПІ» – 2011. - № 45. – С. 119-124. – ISSN 2079-5459.

7. John O. Hallquist. LS-DYNA theoretical manual / John O. Hallquist. Livermore Software Technology Corporation. – 1998.

8. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.

9. Bestimmung der Streckgrenze und der Hall-Petch-Konstanten des Verguetungsstahles 42CrMo4 unterschiedlichen Gefueges mittels Eindruckpruefungen / Fr.-W. Bach, M. Schaper, F. Nuernberger, Chr. Krause, O. Grydin // Materialwissenschaft und Werkstofftechnologie. – 2006. – № 37 (8). – P. 668-673.

10. Грушко А.В. Развитие использования метода твердости по Бринеллю для определения напряжения текучести при холодной деформации // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2013. – № 1. – С. 36-39.

11. Грушко А.В. Определение кривой течения материала по стандартным механическим характеристикам // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія Машиностроение. – 2010. - № 60. – С. 133-137. – ISSN 2305-9001.

Поступила 04.07.2013

◆

УДК 621.967.1

Наука

Боровик П.В. /к.т.н./
ДонГМА

Петров П.А.
ДонГТУ

Теоретическое определение силы резки ножницами фасонных профилей

Исследованы особенности поперечного разделения сортовых заготовок на ножницах и уточнена методика расчета энергосиловых параметров процесса резки фасонных профилей на ножницах. На базе совместных теоретических и экспериментальных исследований, на примере алюминиевого сплава АА6063, получены уточненные зависимости силы резки для квадратного и круглого сечений, а также уголка. Результаты работы могут быть использованы при расчете энергосиловых параметров процесса резки фасонных профилей на ножницах. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: *ножницы, фасонный нож, фасонный профиль, поперечное разделение, сила резки*

Developing methods for calculation of power output at separating process for shaped sections using the shears. Peculiarities of sectional separation of billets with the shears are studied and power output calculation method for the cutting of billets using the shears is specified. Basing on the united theoretical and practical researches having AA6063 aluminum alloy as a sample, there have been obtained specified dependencies of cutting force both for square and circle shaped sections and for a corner as well. Results of the work can be used for calculating of power output at cutting of shaped sections with the shears.

Keywords: *shears, shaped shears, shaped sections, sectional separation, cutting force*

В современных условиях развития металлургической промышленности весьма актуальными являются вопросы расширения технологических возможностей уже эксплуатируемого и вновь проектируемого оборудования за счет повышения точности производимых конструкторских расчетов и увеличения степени научной обоснованности при принятии проектных и технологических решений.

В различных технологических схемах производства сортового металлопроката широко применяют операции поперечного разделения на ножницах [1-4]. При этом повышение требований к качеству готового металлопроката и стремление расширить технологические возможности ножниц способствуют повышению интереса в данной области [5, 6].

Основным исходным технологическим параметром, определяющим конструкцию ножниц, производительность и надежность их эксплуатации, а также сортамент разрезаемых профилей является сила резки.

Классическими подходами к определению максимальной силы резки являются хорошо известные методики А.И. Целикова, В.В. Носаля и А.А. Королева [1, 2], которые наименее трудоемки и базируются на экспериментальных данных резки параллельными ножами. Для более сложных профилей максимальную силу резки определяют, как и для условий резки параллельными ножами заготовок с эквивалентной площадью сечения.

Однако, как показывает практика [3, 7], даже при разделении заготовок одинакового квадратного сечения в условиях резки параллельными и фасонными (по диагонали) ножами наблюдается различие в максимальной величине силы резки. В [3] представлена методика расчета для условий горячей резки квадрата по диагонали, но вопрос разделения на ножницах профилей более сложного сечения остается открытым. Таким образом, требуется дальнейшее развитие и уточнение методов расчета энергосиловых параметров процесса резки сортовых профилей на ножницах, что необходимо для совершенствования технологий и оборудования.

В качестве цели данной работы ставилась задача

© Боровик П.В., Петров П.А., 2013 г.

исследовать особенности поперечного разделения сортовых заготовок на ножницах и уточнить методику расчета энергосиловых параметров процесса.

Для достижения указанной цели проводили совместные теоретические и экспериментальные исследования на примере алюминиевого сплава АА6063.

По аналогии с [8], в основу теоретических исследований, была положена одномерная математическая модель процесса резки параллельными и фасонными ножами, которая базируется на численном рекуррентном решении конечно–разностной формы статического равновесия по определению геометрических характеристик и энергосиловых параметров в рамках каждого отдельно выделенного элементарного объема очага резки (рис. 1).

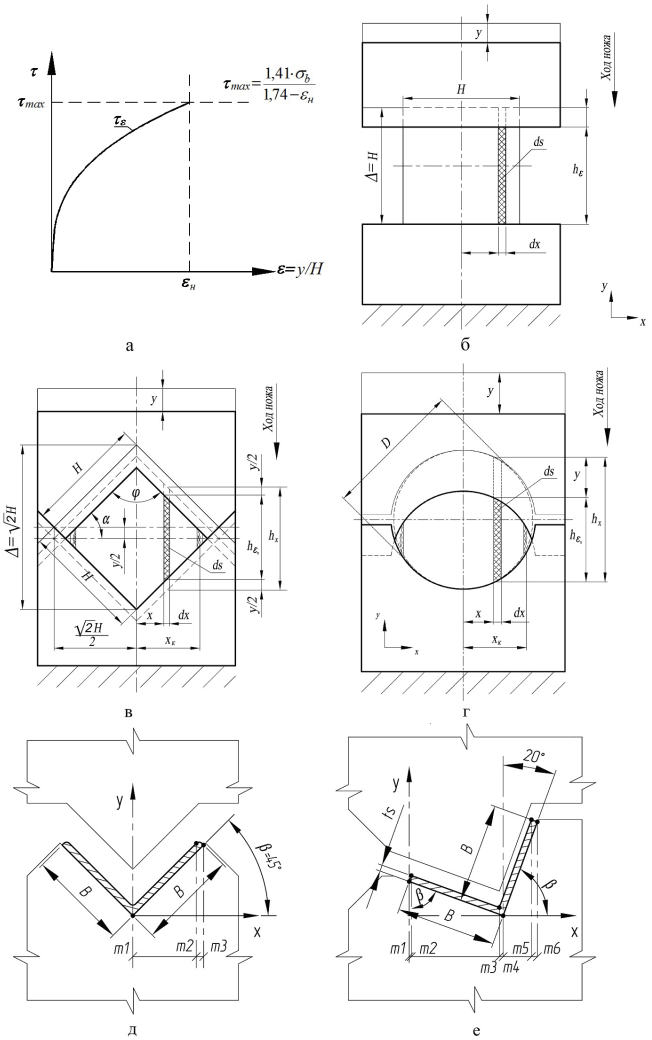


Рис. 1. Зависимость сопротивления срезу (а) и схемы к определению силы резки квадратной заготовки параллельными (б) и фасонными (в) ножами, а также фасонными ножами круглой (г) заготовки и уголка при симметричном (д) и несимметричном (е) расположении

Аналитические зависимости силы резки, применительно к простым формам поперечного сечения разрезаемой заготовки, могут быть получены в результате разбиения очага резки на конечное множество выделенных элементарных объемов (площадью ds) с последующим интегрированием. Силу резки, в общем виде, принято определять следующим образом [1-4]

$$P(\varepsilon)=\int_s \tau_\varepsilon ds, \qquad (1)$$

где τ_ε – сопротивление срезу, при относительной глубине внедрения ε, характеризующей отношение величины внедрения ножей в металл к исходной высоте разрезаемого сечения; ds – остаточная площадь выделенного элементарного объема, разрезаемого сечения.

При этом сопротивление срезу (рис. 1а) определяется выражением [8]

$$\tau_\varepsilon=\tau_{max}\left(\varepsilon/\varepsilon_н\right)^{\alpha_\tau}=\frac{1,41\cdot\sigma_b}{1,74-\varepsilon_н}\left(\varepsilon/\varepsilon_н\right)^{\alpha_\tau}, \qquad (2)$$

где τ_{max} – максимальное сопротивление срезу; σ_b – предел прочности разрезаемого материала; $\varepsilon_н$ – относительное внедрение до скола, при котором происходит полное разделение рассматриваемого элементарного объема, разрезаемого сечения; α_τ – степенной показатель, характеризующий форму распределения сопротивлений срезу, $\alpha_\tau=0,35$.

Опираясь на уравнения (1) и (2), применительно к резке квадратной заготовки со стороной H параллельными ножами (рис. 1б), когда $\varepsilon=y/H$, можно получить зависимость изменения силы резки от абсолютной величины смещения ножа y (начиная с момента начала контакта ножа с заготовкой)

$$P(y)=\frac{1,41\cdot\sigma_b}{1,74-\varepsilon_н}\left(\frac{y}{\varepsilon_н\cdot H}\right)^{\alpha_\tau}\left(1-\frac{y}{H}\right)\cdot H^2. \qquad (3)$$

Учитывая данные [9] было отмечено, что для всех фасонных профилей имеют место различные условия по поперечному сечению разрезаемой заготовки, которые оказывают влияние на локальные характеристики и интегральный показатель силы в целом. В связи с этим, анализировали величину относительного внедрения $\varepsilon_н$, по поперечным срезам квадратной заготовки (рис. 2а, б) размерами 10х10 мм на параллельных и фасонных ножах, на лабораторных ножницах (V = 30 мм/с). При этом контролировали силовые параметры с помощью измерительной системы.

На представленных изображениях сечений можно видеть, что в поперечном сечении имеют место две зоны: первая – вмятие (затемненная зона на фото среза) и вторая - скол (более светлая часть). Причем вмятие ножей в металл зависит от исходной высоты сечения.

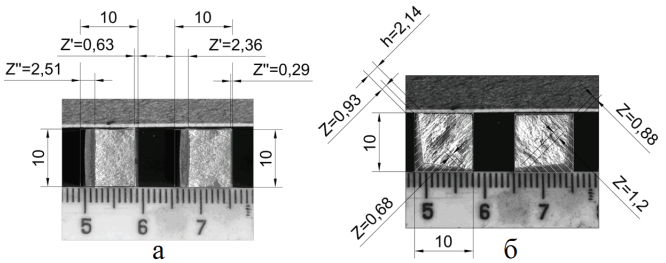


Рис. 2. Относительное вмятие ножей в металл: а – поперечное сечение квадрата 10х10 мм при резке параллельными ножами; б – поперечное сечение квадрата 10х10 мм при резке фасонными ножами на угол

Для определения относительной величины внедре-

ния до скола на изображения (рис. 2б) были нанесены параллельные линии с шагом разбиения 1 мм, что позволило определить абсолютную величину вмятия z, а затем величину относительного вмятия в зависимости от исходной высоты сечения.

В результате обработки полученных экспериментальных кривых зависимости силы резки от относительного внедрения ножей в металл и поперечных сечений срезов (рис. 2), была предложена следующая зависимость величины относительного внедрения до скола $\varepsilon_{н_x}$ для участка перерезаемого сечения с исходной высотой h_x (см. рис. 1б)

$$\varepsilon_{н_x}(h_x,\alpha)=1-\frac{1-e^{-A\left(h_x/h_{\max}\right)0,625}}{1-e^{-A}}\cdot\left(1-\varepsilon_н\left(\cos\alpha\right)^2\right),(4)$$

где A – эмпирический коэффициент, который определяется свойствами разрезаемого материала; $h_{\max}$ – толщина заготовки, при которой значения относительного внедрения до скола $\varepsilon_н$ асимптотически приближаются к своему минимуму; α – половина угла между режущими кромками верхнего и нижнего ножей (рис. 2б), что при резке квадрата параллельными ножами составляет $\alpha=0°$, а фасонными – $\alpha=45°$.

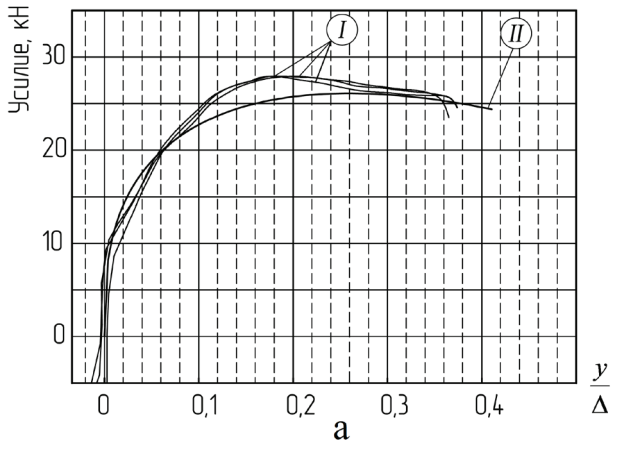
Характер зависимости, полученной из уравнения (4), хорошо согласуется с зависимостью относительного внедрения до скола, полученной по результатам работы [9]. Таким образом, используя (1), (2) и (4) представляется возможным получить зависимость силы резки от абсолютной величины смещения ножа y по диагонали квадрата для фасонных ножей (рис. 1в)

$$P(y)=2\int_0^{x_к}\frac{1,41\cdot\sigma_b}{1,74-\varepsilon_{н_x}}\left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{н_x}}\right)^{\alpha_т}\left(\sqrt{2}H-2x-y\right)dx,(5)$$

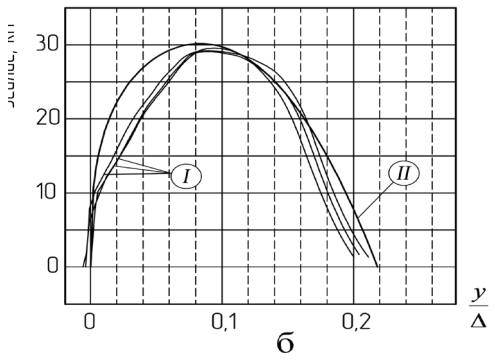
где ε_x – относительное внедрение ножей в заготовку для сечения, расположенного на удалении x от оси заготовки; $\varepsilon_{н_x}$ – относительное внедрение ножей до скола для сечения, расположенного на удалении x от оси заготовки; $x_к$ – координата, где нарушается сплошность разрезаемого сечения, при суммарном смещении ножей на величину y

$$x_к=\left(\sqrt{2}H\cdot\varepsilon_{н_x}-y\right)\Big/2\varepsilon_{н_x}\ .\qquad(6)$$

В качестве сравнения расчетных и экспериментальных данных на рис. 3 представлены данные по



а



б

Рис. 3. Экспериментальные I и теоретические II зависимости силы резки параллельными (а) и фасонными (б) ножами заготовок сечением 10х10 мм

резке квадрата параллельными и фасонными ножами. Как можно видеть, теоретические и экспериментальные зависимости имеют высокую степень сходимости.

Для вычисления силы резки дуговыми фасонными ножами круглой по сечению заготовки, следует рассмотреть расчетную схему, представленную на рис. 1г. Зависимость силы резки от величины смещения ножа y будет иметь следующий вид

$$P(y)=2\int_0^{x_к}\frac{1,41\cdot\sigma_b}{1,74-\varepsilon_{н_x}}\left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{н_x}}\right)^{\alpha_т}\left(\sqrt{D^2-4x^2}-y\right)dx,(7)$$

где D – диаметр разрезаемой заготовки; $x_к$ – координата, при которой заканчивается сплошность металла разрезаемого сечения, при суммарном смещении ножей на величину y

$$x_к=0,5\sqrt{D^2-\left(y/\varepsilon_н\right)^2}\qquad(8)$$

При разделении равнобокого уголка, возможны два варианта расположения (см. рис. 1):

1) уголок располагается симметрично относительно вертикальной оси (под углом $45°$), как показано на рис. 1д;

2) уголок располагается несимметрично относительно вертикальной оси (под углом от $0°$ до $45°$), как показано на рис. 1е.

Для вычисления силы резки профиля углового равнобокого фасонными ножами, при симметричном расположении относительно вертикальной оси, следует рассмотреть расчетную схему на рис. 1д, со следующими геометрическими параметрами: H – высота стенки; ts – толщина стенки.

Ввиду симметрии профиля относительно вертикальной оси можно рассматривать только половину сечения. В правой половине сечения выделяем точки, проекции которых на горизонтальную ось, отсчитываемые от начала координат вдоль оси абсцисс, при угле $\beta=45°$, следующие: $m1=0$, $m2=\left(H-ts\right)\Big/\sqrt{2}$, $m3=H\cdot\cos\beta\Big/\sqrt{2}$.

Зависимость силы резки от глубины внедрения y будет иметь вид

$$P(y)=2\left[\int_{m1}^{m3}\frac{1,41\cdot\sigma_b}{1,74-\varepsilon_{н_x}(h_x,\alpha)}\left[\left(\frac{y/h_x}{\varepsilon_{н_x}(h_x,\alpha)}\right)^{\alpha_т}\left(h_x-y\right)\right]dx\right].(9)$$

При резке фасонными ножами уголка, располо-

женного несимметрично относительно вертикальной оси рассмотрим схему, представленную на рис. 1е. Характерные точки перелома функции на горизонтальной оси, отсчитываемые от начала координат следующие: $m1 = 0$; $m2 = ts \cdot \cos\beta$; $m3 = H \cdot \sin\beta$; $m4 = m2 + (H - ts) \cdot \sin\beta$; $m5 = m4 + (H - ts) \cdot \cos\beta$; $m6 = H \cdot \sin\beta + H \cdot \cos\beta$.

Зависимость силы резки от глубины внедрения y будет иметь следующий вид

$$P(y) = \int_{m1}^{m6} \frac{1,41 \cdot \sigma_b}{1,74 - \varepsilon_{n_x}(h_x, \alpha)} \left[\left(\frac{y/h_x}{\varepsilon_{n_x}(h_x, \alpha)} \right)^{\alpha_\tau} (h_x - y) \right] dx . \qquad (10)$$

Используя разработанную методику расчета, представляется возможным получить зависимость изменения силы резки при разделении профилей различного сечения в функции смещения ножей. Аналитическое решение интегралов (5), (7), (9) и (10) представляется весьма громоздким, поэтому для их решения целесообразно использовать численные методы интегрирования.

В рамках данной работы для решения указанных интегралов и получения зависимостей силы резки использовали прикладной математический пакет MathCad.

В качестве анализа в таблице приведены сравнительные значения максимальных значений силы резки, определенных по разработанной методике и методикам других авторов [1-4] для условий резки алюминиевого сплава АА6063 ($\sigma_в$ = 390МПа, $\varepsilon_н$ = 0,25, A = 5). При использовании известных методик расчета максимальную силу резки определяли через площадь квадрата эквивалентного по площади сечения.

Таблица. Сравнительные значения максимальных значений силы резки

Разрезаемый профиль	Эксперимент, кН	Расчетные параметры						
		Сторона эквивалентного квадрата, мм	Целиков Королев, кН	Погрешность, %	Люленков [3], кН	Погрешность, %	Разработанная, кН	Погрешность, %
Квадрат 10х10 мм	27,9	10	23,21	-16,8	25,46	-8,7	26,09	-6,5
Квадрат 10х10 мм по диагонали	29,3	10	23,21	-20,8	24,53	-16,3	30,15	+2,9
Круг ∅12 мм	30,4	10,63	26,22	-13,8	28,77	-5,4	31,50	+3,6
Уголок при симметричном расположении	23,5	8,8	17,97	-23,5	19,72	-16,1	25,57	+8,8
Уголок при несимметричном расположении	23,3	8,8	17,97	-22,9	19,72	-15,4	25,48	+9,4

Обобщая полученные результаты можно утверждать, что основными преимуществами разработанной методики расчета, по сравнению с известными, является следующее:

– расширено представление о причинно-следственных связях реализации процесса разделения сложнопрофильного металлопроката на ножницах;

– учтена реальная форма разрезаемого сечения, что позволяет повысить точность производимых расчетов интегральных величин энергосиловых параметров процесса;

– установлено, что исходная толщина (высота) разрезаемого сечения выделенного элементарного объема, которое может изменяться при изменении положения разрезаемого сечения, оказывает влияние на энергосиловые параметры процесса.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

– предложенные теоретические зависимости силы резки дают высокую степень сходимости с экспериментальными данными;

– предложенная методика расчета позволяет уточнить величину максимальной силы резки и расширить представление о разделительных операциях при резке заготовок в холодном состоянии.

Результаты работы могут быть использованы при расчете энергосиловых параметров процесса резки фасонных профилей на ножницах, а также при дальнейших исследованиях разделительных операций.

Библиографический список

1. Прокатные станы: учебник для вузов / А.И. Целиков, В.В. Смирнов. – М.: Металлургиздат, 1958. – 432 с.

2. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. – М.: Металлургия, 1985. – 375 с.

3. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів. Навч. посіб. / Ф.К. Іванченко, В.М. Гребеник, В.І. Ширяєв – К.: Вища школа. - 1995. – 455 с.

4. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов: учебник для вузов / Н.Д. Лукашин, Л.С. Кохан, А.М. Якушев – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 456 с.

5. Развитие и совершенствование способов и механических схем резки сортового проката / В.И. Трусковский, Р.А. Закиров // Наука и технологии. Избр. тр. Российской школы. Серия «Технологии и машины обработки давлением». – М.: РАН, 2005. – С. 129–133.

6. Ножницы для резки сортового проката и толстостенных труб / В.И. Трусковский, В.Г. Шеркунов // Металлург. - 2012. – № 11. – С. 63–66.

7. Исследование энергосиловых параметров процесса поперечного разделения на ножницах непрерывнолитых сортовых заготовок / А.В. Сатонин, П.В. Боровик, П.А. Петров, С.М. Стриченко // Сб. науч. тр. Донбасского ГТУ. Вып. 35. – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – 360 с. – С. 131–137.

8. Боровик П.В. Совершенствование технологии и оборудования процесса продольной резки толстых горячекатаных листов на дисковых ножницах: дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук, спец. 05.03.05. – Краматорск, 2008. – 225 с.

9. К расчету энергосиловых параметров процесса резания листового металлопроката / В.Д. Нотченко, А.В. Сатонин, А.Н. Бойденко // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1999. – № 6. – С. 78.

Поступила 28.07.2013

УДК 621.771.28

Наука

Рахманов С.Р. /к.т.н./, Крышин С.М. /к.т.н./, Орещенко В.Ф. /к.т.н./, Вышинский В.Т. /к.т.н./, Журавлев А.В.

Национальная металлургическая академия Украины

Расчет конструкции рабочей клети стана холодной прокатки труб

Предложена математическая модель оптимизации параметров станины рабочей клети стана ХПТ. Полученные результаты использованы в расчетах при разработке конструкций станины. Разработана и внедрена рациональная конструкция станины рабочей клети стана ХПТ. Разработано новое нажимное устройство рабочих валков оптимальной структуры, реализация которого позволяет более эффективно вести технологический процесс, в силу того, что элементы устройства могут адаптироваться ко всем возможным неточностям изготовления и монтажа, а также к деформациям станины. На основе исследований промышленных образцов рациональной рабочей клети стана ХПТ-32 установлено, что величины и характер изменения деформаций в различных сечениях станины согласуются с величинами и характером изменения перемещений, найденных теоретическим методом. Реализация в промышленных условиях рациональной конструкции рабочей клети стана ХПТ-32 с новым нажимным устройством обеспечила повышение качества готовой продукции в результате снижения продольных отклонений геометрических размеров прокатываемых труб по стенке и по наружному диаметру. Достигнуто увеличения производительности стана, снижение массы рабочей клети, повышение срока службы рабочей клети и экономия энергозатрат при прокатке труб из труднодеформируемых сталей и сплавов. Ил.3. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: *холодный прокат, труба, динамика, станина, рабочая клеть, главный привод, валок, нажимное устройство, клин, ползун, стан, математическая модель, оптимизация, рациональная форма, разностенность, качество, жесткость, прочность*

The mathematical model of optimization of parameters of a bed of a working cage of a camp of HPT is offered. The received results are used in calculations when developing designs of a bed. The rational design of a bed of a working cage of a camp of HPT is developed and introduced. The new press device of working rolls of the optimum structure which realization allows conducting more effectively technological process, that elements of the device can adapt for all possible inaccuracies of production and installation, and also for bed deformations is developed. On the basis of researches of industrial samples of a rational working cage of a camp of HPT 32 it is established that sizes and nature of change of deformations in various sections of a bed will be coordinated with sizes and nature of change of the movements found a theoretical method. Realization in industrial conditions of a rational design of a working cage of a camp of HPT 32 with the new press device provided improvement of quality of finished goods as a result of decrease in longitudinal deviations of the geometrical sizes of rolled pipes on a wall and on outer diameter. Decrease in weight of a working cage, increase of service life of a working cage and economy of energy consumption is reached increase in productivity of a camp, when rolling pipes from hardly deformed stale and alloys.

Keywords: *cold hire, pipe, dynamics, bed, cage, drive, roll, wedge, ram, camp, mathematical model, optimization, rational form, quality, rigidity, durability*

Несмотря на большие достижения в области разработки технологии производства труб способом холодной прокатки и создания соответствующего оборудования, необходимого для осуществления этого процесса, резервы повышения эффективности последнего еще далеко не исчерпаны. Дальнейшее развитие процессов холодной прокатки труб во многом связано с освоением и внедрением в производство высокоэффективного технологического оборудования повышенной производительности с улучшенными эксплуатационными качествами.

Увеличение производительности станов ХПТ может быть достигнуто путем уменьшения массы возвратно-поступательно перемещающейся рабочей клети, а повышение качества холоднокатаных труб – увеличением ее жесткости и нагрузочной способности, и в первую очередь, станины и нажимного устройства рабочих валков [1].

Поэтому, разработка основных концепций оптимизации конструкции рабочих клетей, обеспечивающих повышение их эксплуатационной прочности, при одновременном снижении металлоемкости, является актуальной задачей, от решения которой во многом зависит повышение производительности и расширение технологических возможностей станов ХПТ.

Отметим, что в условиях интенсификации режимов холодной пильгерной прокатки труб, включающей увеличение в сортаменте станов ХПТ удельного веса труб из металлов с повышенной точностью, наблюдается резкое снижение долговечности рабочих клетей. Это обусловлено действием значительных по

© Рахманов С.Р., Крышин С.М., Орещенко В.Ф., Вышинский В.Т., Журавлев А.В., 2013 г.

величине и часто изменяющихся во времени динамических нагрузок. В результате этого выходят из строя из-за усталостного разрушения ответственные элементы рабочей клети, в частности станины, несмотря на значительные запасы статической прочности.

При модернизации действующих рабочих клетей станов ХПТ необходимо принимать во внимание как количественную сторону интенсификации технологических режимов прокатки труб, так и качественные показатели получаемых результатов. При этом возникает задача прокатки труб из трудно деформируемых сталей и сплавов с учетом необходимости повышения производительности стана и качества прокатываемых труб. Важную роль также играет улучшение условий эксплуатации оборудования станов ХПТ, увеличение сроков службы элементов главного привода.

В этой связи требуется изыскание конструкций рабочей клети стана ХПТ, функционирование которой могло бы обеспечить решение указанных выше задач. При создании конструкции рабочей клети стана ХПТ необходимо обратить внимание на установление рациональной формы станины клети, на возможность уменьшения ее массы, при одновременном повышении несущей способности и жесткости конструкции, на возможность выбора оптимальной схемы и структуры нажимного устройства и другие вопросы.

Динамические особенности функционирования станов ХПТ изложены в работах А.И. Целикова, М.И. Гриншпуна, Ф.С. Сейдалиева, С.Н. Кожевникова, В.И. Соколовского, Ю.Ф. Шевакина, А.С. Ткаченко, М.В. Попова, В.К. Цапко и др. Эти исследования в основном определили базовые теоретические предпосылки, на основе которых были выработаны главные направления по созданию и усовершенствованию оборудования – в частности станины рабочей клети современных станов ХПТ [1].

Решение задач по определению рациональных параметров рабочей клети стана ХПТ предусматривает, прежде всего, установление величины и характера формирования нагрузки при взаимодействии станины с обрабатываемой трубной заготовкой.

Отметим, что при определенных условиях эксплуатации станов ХПТ, элементы станины не будут подвержены действию изгибающих моментов, то есть будут находиться в условиях одноосного напряженного состояния. Однако на практике конфигурация станины под действием технологической нагрузки деформируется, в результате этого ее элементы в той или иной мере подвергаются изгибу. Для того чтобы свести к минимуму это явление, необходимо определенным образом выбрать образующую стоек станины стана ХПТ.

Задача сводится к нахождению условия экстремума интеграла, изгибающего момента согласно [2] (рис. 1).

$$\Phi = \int_0^{\ell_1} \bar{y} d\ell_1 , \qquad (1)$$

где ℓ_1 – длина стойки станины; $\bar{y}$ – координата точки в рассматриваемом сечении стойки станины.

Среди всех кривых, схематично изображающих

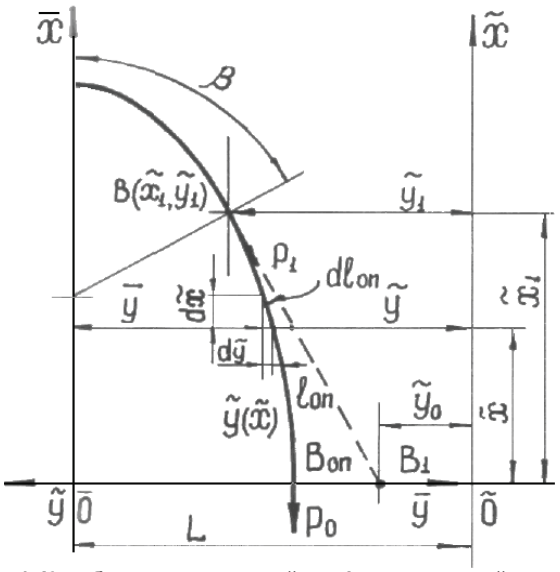


Рис. 1. К выбору рациональной конфигурации стойки станины

стойкую станину рабочей клети, требуется найти ту, использование которой приводит к минимальному значению по сравнению с другими, в предположении, что граничная точка сопряжения B (поперечины и стойки станины) фиксирована, а вторая B_o (рис. 1), выбирается исходя из условий минимизации рассматриваемого функционала Φ.

Для представленной функциональной зависимости (1) с учетом формы образующей возможна запись в таком виде

$$\Phi = \int_{\tilde{x}_0}^{\tilde{x}_1} (L - \bar{y}) \sqrt{1 + (\bar{y}')^2} , \qquad (2)$$

на которой определяются значения координат образующей станины согласно задаче об условном экстремуме в выбранной системе координат $\tilde{X}O\tilde{Y}$, где L – координаты расположения вертикальной оси симметрии станины в новой системе отсчета; $\tilde{x}_1$ – предел, определяемый из условия нахождения искомой кривой $\tilde{y} = \tilde{y}(\tilde{x})$, на которой функционал достигает слабый минимум, если

$$\ell_o = \int_{\tilde{x}_0}^{\tilde{x}_1} \sqrt{1 + (\bar{y}')^2} .$$

При заданных условиях задачи подынтегральная функция (2) не содержит $\tilde{x}$. Тогда удобной формой необходимого условия экстремума функционала (1) согласно [4] является соотношение

$$F - \bar{y}' F_{\bar{y}'} = C,$$
$$F = (L - \bar{y}) \sqrt{1 + (\bar{y}')^2} . \qquad (3$$

Функция $\tilde{y} = \tilde{y}(\tilde{x})$, представляющая собой решение уравнения Эйлера – это экстремали соответствующего функционала. Из множества кривых требуется выбрать одну кривую, проходящую через заданную точку с координатами (x_1, y_1) и удовлетворяющую условиям гладкого сопряжения конца поперечины и начала стойки станины. Достигается это определением частных значений произвольных постоянных в составе общего решения уравнения Эйлера.

В этом случае уравнение (3) запишется в виде

$$(L-\bar{y})\sqrt{1+(\bar{y}')^2}-\bar{y}'\frac{(L-\bar{y})2\bar{y}'}{2\sqrt{1+(\bar{y}')^2}}=C\,. \quad (4)$$

После необходимых преобразований выражение (4) представляем

$$\frac{Cd\tilde{y}}{\sqrt{(L-\bar{y})^2+C^2}}=d\tilde{x}\,. \quad (5)$$

Интегрируя (5), найдем

$$\tilde{x}+C_1=C\ln\left[(L-\bar{y})+\sqrt{(L-\bar{y})^2-C^2}\right]+C\ln(C)\,, \quad (6)$$

где постоянные в таком виде введены для удобства решения.

Дальнейшее вычисление упрощается, если перейти к уравнению

$$\left[C\exp(-\frac{\tilde{x}+C_1}{C})-(L-\bar{y})\right]^2=(L-\bar{y})^2-C^2\,. \quad (7)$$

Согласно (7) получим уравнение искомой кривой образующей станины в виде

$$L-\bar{y}=\frac{1}{2}C\left[\exp(\frac{\tilde{x}+C_1}{C})+\exp(-\frac{\tilde{x}+C_1}{C})\right]. \quad (8)$$

Произвольные постоянные интегрирования C и C_1 определяются из граничных условий задачи.

При исследовании зависимости (8) совершим параллельный перенос координаты осей. Поместив начало координат в точку ($-C_1, \tilde{y}_{c_1}=0$), можно считать, что в уравнении (8) $C_1=0$. Тогда уравнение (8) заменится более простым

$$(L-\bar{y})=C\,ch(\frac{\tilde{x}}{C})\,, \quad (9)$$

откуда видно, что форма нейтральной линии образующей стойки станины есть цепная линия [3], ось симметрии которой будет вертикальная ось симметрии станины стана.

Постоянную интегрирования C в решении уравнения Эйлера определим из условий трансверсальности согласно [1, 3]

$$\left[F-F_{\tilde{y}'}(\tilde{y}'-\varphi')\right]_{\tilde{x}=\tilde{x}_1}=0 \quad ,(10)$$

устанавливающих связь между угловым коэффициентом $\tilde{y}'(\tilde{x})$ – уравнение стойки станины (9) и $\varphi'(\tilde{x})$ – уравнение касательной к образующей поперечине станины при $\psi=\beta$, то есть в точке их сопряжения.

Для функционала вида (3) соответствующее условие кривой образующей станины

$$\varphi(\tilde{x})=\tilde{y}_0+\tilde{k}\,\tilde{x}\,, \quad (11)$$

действительно

$$F_{\tilde{y}'}=\frac{(L-\bar{y})\tilde{y}'}{\sqrt{1+(\bar{y}')^2}}\,. \quad (12)$$

Поэтому необходимое и достаточное условие трансверсальности в точке $B(\tilde{x}_1,\tilde{y}_1)$, запишем в виде

$$(L-\bar{y})-\bar{y}'\frac{(L-\bar{y})\bar{y}'}{\sqrt{1+(\bar{y}')^2}}(\tilde{y}'-\varphi')=C\,, \quad (13)$$

откуда имеем

$$\tilde{y}'=-\frac{1}{\varphi'(x)}=-\frac{1}{k}\,. \quad (14)$$

Вычислим постоянную интегрирования задачи C, для чего внесем в последнее равенство значение производной из (9), учитывая при этом, что граничная точка $B(\tilde{x}_1,\tilde{y}_1)$ лежит на искомой кривой и касательной к поперечине станины, то есть имеет место гладкое сопряжение.

Из данных рассуждений следует

$$C=\frac{\tilde{x}_1}{Arsh(\frac{1}{\tilde{k}})}=C_0\,. \quad (15)$$

Таким образом, образующая стойки станины рабочей клети стана окончательно принимает форму

$$\bar{y}=L-C_0\,ch(\frac{\tilde{x}}{C_0})\,, \quad (16)$$

обеспечивающую рациональное расположение ее в конструкции рабочей клети [1].

Описанная методика определения расположения стойки станины, ее уравнение, как правило, не является самой простой, но в данном случае весьма эффективна.

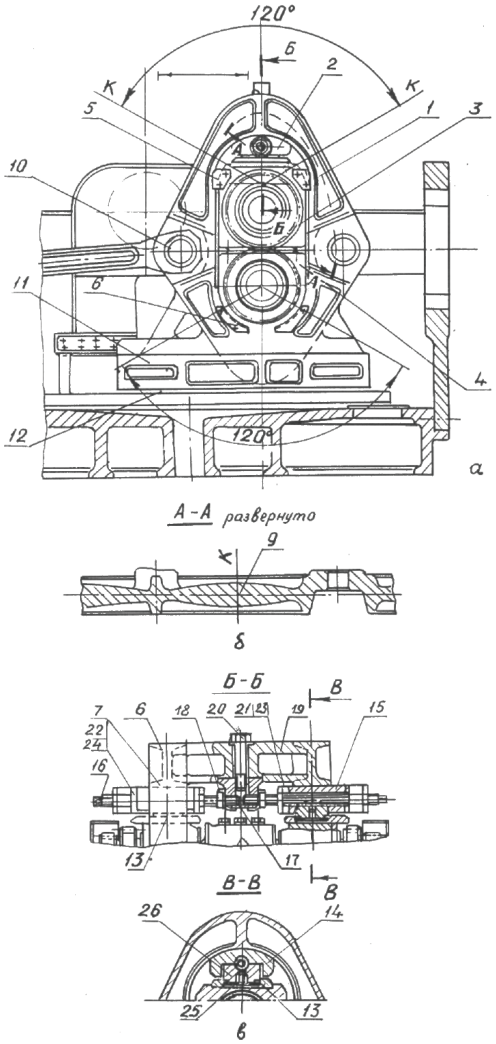


Рис. 2. Рациональная рабочая клеть стана ХПТ

Основные результаты теоретического и экспериментального исследований рациональной станины, в которой сочетаются высокая прочность и минимальная масса, были положены за основу при проектиро-

вании новой рабочей клети стана ХПТ [2].

Рабочая клеть стана ХПТ (рис. 2) состоит из овалообразной станины 1, в окне которой смонтированы нажимное устройство 2, рабочие валки, установленные на подшипниках в подушках 3 и 4. Подушки верхнего и нижнего валков фиксируются в окне станины верхними 5 и нижними 6 планками.

Станина 1 представляет собой пространственную конструкцию, содержащую две соединенные связями овалообразные рамы рациональной формы, каждая из которых образована 7 и наружной 8 оболочками, сопряженными вертикальной продольной перемычкой 9 переменной толщины, включая на секторных углах в 120° верхнюю и нижнюю поперечины, сочлененные между собой стойками по линии « K ». На уровне оси прокатки стойки станины имеют выборки в виде клинового паза с отверстиями 10 для присоединения шатунов приводного механизма и штоков уравновешивающего устройства. В нижней части станины расположена опора 11 для установки рабочей клети, выполненная в виде опорных и боковых направляющих по всей длине, вследствие чего повышается ремонтопригодность, устойчивость и плавность движения клети, уменьшается износ опорных направляющих, к которым крепятся текстолитовые наделки 12.

Направляющие опоры рабочей клети объединены с нижней связью станины в пространственную решетчатую систему - опоры и ребра связи соединены поперечными элементами жесткости. Благодаря такому выполнению конструкция рабочей клети стана ХПТ имеет пониженную массу и способна выдержать большие статические и динамические нагрузки. Верхняя связь боковых рам выполнена с учетом возможности ее использования при монтаже нажимного устройства в установку рабочей клети стана ХПТ.

Нажимное устройство валков [1, 5] содержит клиновой и винтовой механизмы. Клиновой механизм снабжен клиньями 13, перемещающимися по наклонным контактным поверхностям подушек 3, двумя парами компенсирующих вкладышей с цилиндрическими поверхностями, оси одних из которых 14, установленных на клиньях, параллельны продольной оси станины, а оси других 15, контактирующих со станиной, параллельны оси валка.

Самоустановка опор верхнего валка, кроме всего, обеспечивает равномерное нагружение подшипников верхних подушек и по мере износа их последние смещаются вдоль оси валка навстречу друг–другу под действием горизонтальных составляющих реакций со стороны клиньев, обеспечивая выбор появляющихся зазоров. При этом также уменьшается осевое смещение валков относительно друг друга и искажение профиля калибра.

При формировании схемы нагружения были приняты допущения о том, что линия действия равнодействующей сил контактного взаимодействия обрабатываемого изделия и калибра валка проходит через ось прокатки, так как обрабатываемое изделие представляет собой тело вращения.

Из результатов исследований [2–4] следует, что при холодной пильгерной прокатке контактное взаимодействие системы «валки-обрабатываемое изделие» формируется таким образом, что кроме вертикальных перемещений, определяемых податливостью системы «валки–подушки валков–узлы предохранительных устройств–рама клети», валки осуществляют и горизонтальные (вдоль собственной оси) перемещения, определяемые податливостью системы крепления подушек валков в окнах рамных конструкций клетей. Совершая перемещения, валки искажают мгновенное сечение очага деформации. Особенно существенны эти искажения при перемещениях подвижного очага деформации в предчистовой и калибровочных зонах, где окончательно формируются геометрические характеристики изделия. Представленный проект рациональной рабочей клети реализован на 6-и станах ХПТ 32 -3-8 (рис. 2) ряда отечественных заводов.

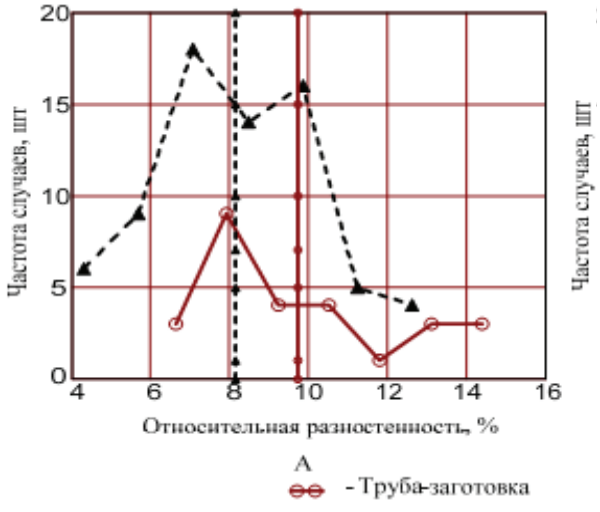
Внедрение промышленного образца рабочей клети стана ХПТ сопровождалось исследованиями его напряженного состояния и эффективности работы в целом. При этом проверялись основные теоретические положения, изложенные в работе.

На особенности функционирования рабочей клети в производственных условиях влияют факторы, которые трудно учесть при аналитическом исследовании из-за ряда допущений, неизбежных при рассмотрении сложных схем конструкции и вида нагружения стана, поэтому были выполнены экспериментальные исследования рабочей клети стана ХПТ-32 и оценена эффективность применения рациональной рабочей клети, ее достижения.

Отметим, что важной технологической характеристикой станов ХПТ является их способность исправлять исходную разностенность трубы – заготовки.

Для исследования влияния клети рациональной конструкции и повышенной жесткости на эту характеристику прокатан пакет труб из сплава Gr – 2 по маршруту 25х2,8–18х1,5 на стане ХПТ 32. Замеры поперечной разностенности производили вдоль каждой трубы до и после прокатки на стане.

Результаты анализа параметров поперечной разностенности в ходе прокатки труб из титана и сплавов на



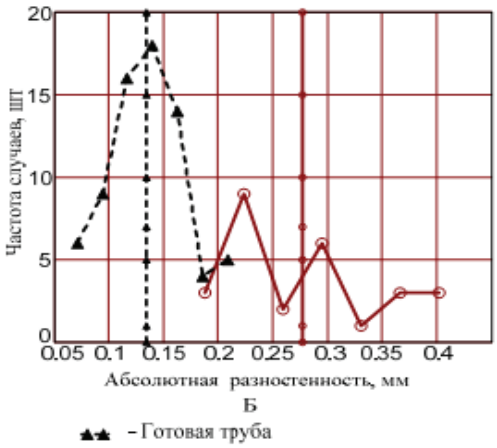


Рис. 3. Полигоны изменения частот поперечной разностенности в ходе прокатки труб из сплава Gr – 2 по маршруту 25х2,8–18х1,5 на стане ХПТ 32: А – относительная разностенность; Б – абсолютная разностенность

стане ХПТ 32, оснащенный клетью повышенной жесткости, сведены в полигоны изменения частот (рис. 3)

Как видно из полигонов изменения частот поперечной разностенности в ходе прокатки труб из сплава Gr – 2 значение абсолютной разностенности уменьшилось примерно на 58 % (с 0,312 до 0,131 мм). Уменьшился и разброс значений абсолютной разностенности труб, о чем свидетельствует уменьшение величины среднеквадратичного отклонения с 0,211 до 0,025 мм. На 2,8 % уменьшилась относительная разностенность с одновременным уменьшением среднеквадратичного отклонения с 6,3 до 2,1 %.

Как показывают многолетние наблюдения и результаты исследований, снижение абсолютной поперечной разностенности при прокатке труб из сплава Gr – 2 на стане ХПТ лежит ниже 50 % (в лучшем случае, а в большинстве 40–45 %).

В процессе экспериментальных исследований стана ХПТ-32 усилие прокатки, характер нагружения элементов станины рациональной формы, достигало примерно 510 кН при прямом ходе клети, и 374 кН при обратном (прокатка труб из стали 12Х18Н10Т по калибровке 38×4,3-20×1,6 при скорости прокатки 85 дв.х/мин). При движении клети вперед и назад в шатунах главного привода возникают усилия, величины которых равны 40,6 и 29,0 кН или 7,99–5,70 % от усилия прокатки, что хорошо согласуется с соответствующими теоретическими положениями.

Эксплуатация рациональной рабочей клети на станах ХПТ-32 при прокатке труб из нержавеющих сталей и их сплавов показывает высокую надежность и эффективность её работы. Так, достигнуты следующие показатели: увеличение производительности стана на 6,7 %; снижение массы рабочей клети на 14%; экономия электроэнергии на 9,23 %; повышение срока службы рабочей клети при прокатке труднодеформируемых сталей и сплавов фактически в 3,6 раза; повышение качества готовой продукции за счет увеличения жесткости рабочей клети в 3,82 раза (отклонение геометрических размеров прокатываемых труб по стенке (max) 5 %, по наружному диаметру (max) ±0,10 мм). Достигнуто уменьшение брака по наружной поверхности на 5 %, применением оптимального нажимного устройства и расширение сортамента за счет введения особотонкостенных труб, а также изменения существующих маршрутов прокатки с целью уменьшения цикличности обработки. Все показатели представлены на основании осмотра прокатываемой продукции марок сталей 12Х18Н10Т размеров 20×1,6 и Х18Н10Т – 14×2,0, в соответствии с нижними показателями ГОСТ 9941-81, где предельные отклонения геометрических размеров труб равны: по стенке ± 5-7 %, по наружному диаметру ± 0,10 мм.

Выводы

1. Предложена методика выбора геометрических параметров станины рациональной формы. Полученные зависимости использованы в расчетах при разработке конструкций станины.
2. Разработана рациональная конструкция рабочей клети стана ХПТ, позволившая: увеличить производительность стана на 6,7 %, обеспечить экономию энергозатрат на 9,3 %, снижение массы рабочей клети на 14 %, повышение срока службы рабочей клети при прокатке труднодеформируемых сталей и сплавов примерно в 4 раза. Эта конструкция внедрена на станах ХПТ-32.
3. Создано новое нажимное устройство с оптимальной структурой, реализация которого позволяет более эффективно вести технологический процесс, так как элементы устройства могут адаптироваться ко всем возможным неточностям изготовления и монтажа, а также к деформациям станины.
4. На основе исследований промышленных образцов рациональной рабочей клети стана ХПТ-32 установлено, что величины и характер изменения напряжений в различных сечениях станины согласуются с величинами и характером изменения напряжений, найденных теоретическим методом. Реализация в промышленных условиях рациональной конструкции рабочей клети стана ХПТ-32 обеспечила повышение качества готовой продукции в результате снижения продольных отклонений геометрических размеров прокатываемых труб по стенке в 1,3 раза, по наружному диаметру в 2 раза по сравнению с ГОСТом 9941-81. При этом достигнуто уменьшение брака «накат» до 5 %, расширение технологических возможностей стана (прокатка специального сортамента – особотонкостенных труб) и оптимизация существующих маршрутов прокатки.
5. Промышленная эксплуатация усовершенствованного варианта рациональной конструкции рабочей клети на заводе в течение 25 месяцев в режиме, характеризуемом, в основном, условиями прокатки труднодеформируемых сталей и сплавов, подтверждает ее высокую эффективность в работе.

Библиографический список

1. Машины и агрегаты трубного производства. Учебное пособие для вузов /А.П. Коликов, В.П. Романенко и др. – М.: МИСИС, 1998. – 536 с.
2. Станы холодной прокатки труб конструкции ВНИИМЕТМАШ / Н.А. Целиков, А.В. Чекулаев // Черные металлы. – 2010 . – № 5. - С. 28-31.
3. Станы холодной прокатки труб / М.И. Гриншпун, В.И. Соколовский. – М.: Машиностроение, 1967. – 238 с.

4. А.с. № 1148660 СССР, МКИ В 21 В 21/00. Рабочая клеть стана холодной прокатки труб/ А.С.Ткаченко, С.М. Крышин, В.Ф. Орещенко, Л.А. Сафонов, Ю.Л. Лукащук, В.Т. Вышинский и А.В. Цупкин (СССР) - №3674757/22-02. Заявл. 20.12.83, опубл. 07.04.85, Бюл. № 13.

5. Разработка новой конструкции нажимного устройства рабочей клети стана ХПТ с целью повышения качества катаных труб / Ю.Л. Калашников, С.М. Крышин, В.Ф. Орещенко и др. // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 1995. - № 1. - С. 61–63.

Поступила 29.07.2013

◆

УДК 621. 774.36

Наука

Кузнецов Д.Е.
ГП «НИТИ»

Анализ методов расчета ширины калибров станов ХПТ

Рассмотрены основные подходы к выбору калибровок станов холодной прокатки труб. На основании выполненного анализа и экспериментов, проведенных на промышленных станах, даны рекомендации по выбору ширины калибров станов ХПТ при производстве холоднокатаных труб из специальных сталей и сплавов, предназначенных для эксплуатации на ответственных энергетических объектах. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: *трубы, холодная прокатка, качество, точность размеров, калибровка валков*

The basic approaches to the selection of calibrations of cold-rolling tube. On the basis of the analysis and experiments conducted on industrial mills, advice on selecting the width of the gauge HPT mills in the production of cold-rolled tubes of special steels and alloys for use in responsible energy facilities.

Keywords: *pipe, cold rolled, quality, dimensional accuracy, calibration rolls*

Расчет ширины калибров станов холодной прокатки труб (ХПТ) представляет собой сложную задачу, несмотря на то, что известно большое количество формул, предназначенных для этой цели. Проблема состоит в том, что ширина (развал) калибров влияет на многие параметры процесса прокатки, например на равномерность обжатия по периметру трубы и сопутствующие этому явления, точность по диаметру и разностенность. При производстве холоднокатаных труб из специальных сталей и сплавов, отличающихся сравнительно низкой пластичностью, и повышенными требованиями к качеству, чрезмерный развал калибров может приводить к трещинообразованию и ухудшению микрорельефа внутренней поверхности труб [1].

Анализ известных формул для расчета ширины калибров станов ХПТ, выполненный в работе [2], показал, что известные решения не в полной мере отвечают современным требованиям. Во-первых, большинство из известных формул включают в себя эмпирические коэффициенты, которые применимы для исключительно конкретных условий. Во-вторых, технология холодной прокатки труб шагнула далеко вперед по сравнению с тем состоянием, когда известные [3] решения были предложены. В-третьих, непрерывно разрабатываются новые стали и сплавы специального назначения, производство холоднокатаных труб из которых отличается существенной спецификой.

В расчетах ширины калибров станов ХПТ обычно исходят из выдвинутого П.Т. Емельяненко положения, согласно которому ширина ручья в каком-либо сечении профиля калибра равна диаметру ручья в сечении, отстоящем от первого на расстоянии, соответствующему объему подачи металла, произведенной перед рабочим ходом клети. При этом наибольшее распространение на практике получила построенная на этом принципе формула Я.Е. Осады [2-5]

$$B_x = D_x + 2\,\frac{\sqrt{t_X + 2V_Y(tg\gamma_X - tg\alpha_X)} - t_X}{tg\gamma_X - tg\alpha_X}\cdot tg\gamma_X, \quad (1)$$

где B_x, D_x, t_x - ширина калибра, диаметр и толщина стенки трубы в контрольном сечении; V_Y - объем подачи; γ_X и α_X - углы конусности ручья калибра и оправки. Индекс «х» обозначает координату рассматриваемого сечения рабочего конуса.

Выполненные экспериментальные исследования показали [1], что с позиций обеспечения высокого качества внутренней поверхности труб, наибольшего внимания заслуживает участок рабочего конуса, где заканчивается обжатие стенки трубы и калибрующий участок. Именно на этих участках зарождаются микротрещины в прокатываемом металле, а также нередко ухудшается микрорельеф внутренней поверхности труб. Именно поэтому ширина калибра на этих участках должна быть, с одной стороны, минимальной. Но, с другой стороны, исключать опасность «закусывания» металла калибрами [5, с. 207].

Практика показала, что при прокатке труб из специальных сталей и сплавов нередко эффективным оказывается применение оправок с криволинейной образующей. В этих случаях на пред калибровочном и калибровочном участках угол наклона образующей оправки по отношению к оси прокатки близок к нулю. Т.е., $tg\alpha \to 0$. При таком условии выражение (1) принимает вид

© Кузнецов Д.Е., 2013 г.

$B_x = D_x + 2(\sqrt{t_X^2 + 2V_Y \cdot tg\gamma_X} - t_X)$. (2)

Учитывая, что tg γна этих участках рабочего конуса по величине также близок к нулю, представим формулу (2) в виде ряда Маклорена. Оставляя три члена ряда, получим

$$B_x = D_x + \frac{2V_Y}{t_X} \cdot tg\gamma_X - \frac{2}{t_X}\left(\frac{V_Y}{t_X} \cdot tg\gamma_X\right)^2 .$$

Третий член в правой части этого выражения существенно меньше первых двух, поскольку $tg^2\gamma$ при малых углах γ стремится к нулю. Тогда в первом приближении запишем

$$B_x = D_x + \frac{2V_Y}{t_X} \cdot tg\gamma_X . \qquad (3)$$

Удельный объем подачи V_Y определяется [5, с. 206] формулой $V_Y = \frac{R_3 + r_3}{R_X + r_X} \cdot mt_3$, где R_3 и r_3 - наружный и внутренний радиусы заготовки; R_x и r_x - соответственно те же радиусы рабочего конуса в рассматриваемом сечении; t_3 - толщина стенки заготовки; m – величина подачи. Подставив значение V_Y в (3), окончательно получим удобную для анализа формулу

$$B_X = D_X + 2m\frac{R_3 + r_3}{R_X + r_X} \cdot \frac{t_3}{t_X} \cdot tg\gamma_X . \qquad (4)$$

Широко распространенным в производственной практике является также другой случай, когда в пред калибрующем и калибрующем участках рабочего конуса наклоны образующей калибров и оправки примерно равны: tg γ ≈ tgα. При этом α ≠ 0. Т.е., на этих участках стенка трубы почти не обжимается, но диаметр трубы уменьшается. Подставляя это условие в формулу (1), получаем неопределенность типа $\frac{0}{0}$. Раскрывая ее по правилу Лопиталя, получаем ту же формулу (3): $B_X = D_X + 2V_Y t_X^{-1} \cdot tg\gamma_X$. Приводя выражение (4) к безразмерному виду, запишем

$$\frac{B_X}{D_X} = 1 + \frac{m}{R_X} \cdot \frac{R_3 + r_3}{R_X + r_X} \cdot \frac{t_3}{t_X} \cdot tg\gamma_X ;$$

$$\frac{B_X}{D_X} = 1 + \frac{m}{r_X + t_X} \cdot \frac{(2r_3 + t_3)t_3}{(2r_X + t_X)t_X} \cdot tg\gamma ; \qquad (5)$$

$$\frac{B_X}{D_X} = 1 + m \cdot \frac{2R_3 t_3 - t_3^2}{2R_X^2 t_X - R_X t_X^2} \cdot tg\gamma .$$

Анализ этих зависимостей позволяет сделать следующие выводы.

Прежде всего, вполне логичным и бесспорным является вывод о том, что относительная величина развала калибров B_X/D_X должна возрастать по мере увеличения подачи m и угла конусности калибров γ_X.

Поскольку произведение $(R^3 + r^3)\, t^3$ для конкретного сортамента труб есть величина постоянная, то при прочих равных других условиях отношение B_X/D_X находится в обратной зависимости от величин R_X и t_X. Т.е., чем больше R_X и t_X отличаются от R_3 и t_3, тем относительная величина развала калибров в сечении «х» должна быть большей. Иначе говоря, чем сильнее обжатие трубы по диаметру и толщине стенки, тем развал калибров на названных выше участках рабочего конуса должен быть большим независимо от подачи при прокатке и конусности ручья калибров. Причем влияние величины обжатия трубы по диаметру превалирует.

На нынешнем этапе развития промышленности наиболее остро проблема обеспечения высокого качества трубопрокатной продукции, в том числе и точности размеров труб, стоит при производстве холоднокатаных труб из специальных сталей и сплавов, применяемых в энергетических установках. В развитие идей и технологических решений, рассмотренных, в частности в работе [6], было изучено влияние калибровок станов ХТП и непосредственно изложенных выше подходов к расчету ширины калибров на точность размеров труб названного назначения. В дополнение к материалам исследований, ранее опубликованных в нашей статье [1], установлено следующее.

Повсеместно принятое мнение о том, что образованию дефектов внутренней поверхности труб способствует повышение степени безоправочной деформации (редуцирования) заготовки при холодной прокатке, применительно к производству труб из специальных сталей и сплавов не является бесспорным. В этой связи, а также с учетом необходимости обеспечения высокой точности размеров труб совсем не обязательным является при расчете калибров валков станов ХТП соблюдение постоянства соотношения обжатия по диаметру к обжатию толщины стенки трубы в очаге деформации. Однако крайне необходимо учитывать приведенные выше зависимости и сделанные на основе их анализа выводы относительно принципов выбора величины развала калибров.

Библиографический список

1. Кузнецов Д.Е. Повышение точности размеров и качества поверхности холоднокатаных труб // Сталь. – 2005. - № 10. - С. 81-85.

2. Фролов Я.В., Дехтярев В.С. Развитие методов расчета калибровки станов ХПТ // Металлур. и горноруд. пром-сть. – 2009. - № 2. - С. 52-54.

3. Фролов В.Ф., Данченко В.Н., Фролов Я.В. Холодная пильгерная прокатка труб. – Днепропетровск: Пороги, 2005. - 256 с.

4. Орро П.И., Осада Я.Е. Производство стальных тонкостенных бесшовных труб. – М.: Металлургиздат, 1951. - 416 с.

5. Кофф З.А., Соловейчик П.М., Алешин В.В., Гриншпун М.И. Холодная прокатка труб. – Свердловск: Металлургиздат, 1962. - 431 с.

6. Кузнецов Е.Д. Развитие теории и практики производства прецизионных стальных труб / В сб. «Развитие теории процессов производства труб». Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – С. 232-259.

Поступила 25.06.2013

◆

УДК 669.715.018

Калинин В.Т. /д.т.н./
НМетАУ
Борисенко А.Ю. /к.т.н./
ИЧМ НАНУ

Наука

Калиновская А.Е., Калинина Н.Е. /д.т.н./, Вилищук З.В.
ДНУ им. Олеся Гончара

Повышение качества и свойств многокомпонентных сплавов модифицированием тонкодисперсными композициями

Приведено влияние нанодисперсных тугоплавких модификаторов на свойства алюминиевых и жаропрочных никелевых сплавов. Разработана технология модифицирования многокомпонентных сплавов порошковыми нанокомпозициями. Достигнуто повышение механических свойств исследуемых сплавов. Предложено теоретическое обоснование наномодифицирования, изучены структурные особенности модифицированных сплавов. Ил. 3. Табл. 3. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: *алюминиевый сплав, никелевый сплав, модификатор, нанодисперсная композиция, механические свойства, структура*

Shows the influence of nanosized refractory modifiers on properties of aluminum and heat-resistant nickel alloys. The technology of multi-component alloys modification of the nanocomposite powder. Achieved by improving the mechanical properties of the alloys. A theoretical justification nanomodifitsirovaniya, studied the structural features of the modified alloys.

Keywords: *aluminum alloy, nickel alloy, a modifier nanodispersnymi composition, mechanical properties*

Постановка задачи

Разработка изделий ответственного назначения для металлургии и машиностроения ставит задачи повышения механических свойств, жаропрочности, жаростойкости, коррозионной стойкости и эксплуатационных свойств конструкционных материалов.

Деформируемые алюминиевые сплавы применяют для изготовления деталей сложной конфигурации, имеющих высокие показатели механических свойств в термически обработанном состоянии, высокую коррозийную стойкость и малый удельный вес, что обусловливает их перспективность для современного машиностроения.

Однако недостаточная технологичность при литье и механической обработке сдерживает широкое применение алюминиевых сплавов как конструкционных материалов. Низкая технологичность объясняется повышенным газосодержанием и наличием хрупких и труднорастворимых фаз $FeAl_3$, Mg_2Si, $MgZn_2$, выделяющихся в виде крупных скоплений и часто образующих сплошную сетку в структуре, которые служат причиной трещинообразования при литье слитков и фасонных отливок [1].

Возрастающие требования к надежности и ресурсу работы деталей авиа- и турбостроения предопределяют разработку качественно новых материалов и технологий. Наиболее широко применяются жаропрочные и жаростойкие многокомпонентные никелевые сплавы с высоким уровнем структурной термостабильности [2]. Однако непрерывно усложняющие условия работы агрегатов требуют повышения механических и эксплуатационных характеристик. Одним из способов измельчения структурных составляющих сплавов на макро- и микроуровне является модифицирование многокомпонентных сплавов тонкодисперсными композициями [3].

Целью работы является разработка технологии модифицирования алюминиевых и никелевых сплавов тонкодисперсными композициями для повышения качества и свойств отливок и деформируемых заготовок. В данной работе применено модифицирование алюминиевых сплавов АМг6, 01570 и жаростойкого никелевого сплава ЖС3ДК-ВИ.

Результаты исследования и их анализ

В [4, 5] показана возможность применения дисперсных и тонкодисперсных тугоплавких модификаторов в литейных алюминиевых и никелевых сплавах. В данной работе применяли модифицирование алюминиевых сплавов тонкодисперсными композициями на основе карбида кремния SiC и никелевых сплавов – тонкодисперсным карбонитридом титана Ti(CN) с размером частиц 50-100 нм. Химический состав исследуемых сплавов приведен в табл. 1, 2.

Важным фактором, который характеризует способность модифицирующего элемента влиять на зарождение и рост кристаллов, является критерий растворимости в металлической матрице. Активный модификатор должен располагаться по границам зерен сплава, а не входить в их состав. При этом модификатор не должен образовывать собственные кластеры, а располагаться между кластерами расплава.

Исходя из перечисленных критериев, наилучшими модификаторами для алюминиевых и никелевых сплавов, имеющих гранецентрированную кубическую решетку (г.ц.к.), являются тугоплавкие композиции на основе β-SiC и Ti(CN) также с г.ц.к. решеткой. При этом расхождение атомных радиусов металличе-

© Калинин В.Т., Калиновская А.Е., Калинина Н.Е., Вилищук З.В., Борисенко А.Ю., 2013 г.

Таблица 1. Химический состав алюминиевых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %, масс.									
	Al	Mg	Mn	Cu	Si	Zn	Be	Zr	Sc	Fe
АМг6	основа	5,80-6,80	0,50-0,80	0,10	0,4	0,2	0,0002-0,0050	–	–	0,4
01570	основа	5,80-6,80	0,15-0,35	0,05-0,15	0,4	0,2	< 0,001	0,05-0,15	0,20-0,45	0,4

Таблица 2. Химический состав жаропрочного никелевого сплава ЖС3ДК-ВИ

Марка сплава	Содержание элементов, % масс.									
	Al	Ti	Cr	Mo	W	Co	Fe	Mn	Si	Ni
ЖС3ДК-ВИ	4,0-4,8	2,5-3,2	11,0-12,5	3,8-4,5	3,8-4,5	8,0-10,0	≤2,0	≤0,4	≤0,4	Основа

ской матрицы и модификатора минимально.

Тонкодисперсные модификаторы получали методом плазмохимического синтеза с варьированием температурно-временного режима и состава газоплазменного потока. Определяли удельную поверхность полученных тугоплавких соединений. Особенности размерно-кристаллографических параметров изучали методами электронной микроскопии и дифракционного анализа. Для предотвращения окисления разработана методика плакирования порошков с целью их длительного хранения [4].

Эффект получения тонкодисперсных соединений на основе титана и кремния методом плазмохимического синтеза обусловлен высокими скоростями объемной конденсации газоплазменного потока. Это приводит к нестабильному состоянию частиц: уменьшению параметров кристаллической решетки по сравнению с массивными соединениями, изменения параметров от центра к поверхности частиц, вследствие максимального сжатия поверхностного слоя.

Дисперсность частиц определяет свойства системы: модификатор-расплав и количественно характеризуется линейными размерами и удельной поверхностью частиц. Удельная поверхность частиц $S_{уд}$ выражается уравнением

$$S_{уд} = S_{1-2}/\gamma V,$$

где S_{1-2} – поверхность между фазами 1 и 2 (межфазная поверхность модификатор-среда); γ – плотность тонкодисперсного соединения; V – объем тонкодисперсной фазы.

По величине удельной поверхности тонкодисперсные системы занимают особое положение среди дисперсных систем. Если удельная поверхность в молекулярных системах, например, в истинных растворах, отсутствует, так как молекулы не обладают поверхностью в обычном представлении, то удельная поверхность грубодисперсных систем очень мала. Лишь гетерогенные тонкодисперсные системы с размером частиц 10-100 нм имеют сильно развитую удельную поверхность. Благодаря большой удельной поверхности тонкодисперсных систем, для них огромное значение имеют адсорбция и поверхностные явления, в то время как поведение грубодисперсных и молекулярных систем определяется в основном объемными свойствами.

Роль тонкодисперсных добавок сводится к созданию в расплаве дополнительных искусственных центров кристаллизации. Для этого они должны быть соразмерны с критическими зародышами и обеспечивать достаточное их количество для получения в отливке мелкодисперсной структуры.

Анализ микродифракционных картин кристаллов β-SiC позволил установить, что по своей кристаллической структуре они относятся к кубической сингонии с размером при а = 4,36 Å. Сопоставление изображений частиц β-SiC с их микродифракционными картинами показало, что основной габитусной плоскостью является базисная плоскость (0001), а огранка осуществляется плоскостями семейства {1010}. При контакте с атмосферой на поверхности частиц формируются окислы, подобные цветам побежалости на поверхности массивных твердых тел. На начальной стадии окисел не является стехиометрическим и не обладает характерной для него кристаллической решеткой, образуя «псевдоаморфную» оболочку. В табл. 3 приведены кристаллогеометрические параметры исследованных тонкодисперсных модификаторов.

Разработан технологический процесс модифицирования алюминиевых сплавов АМг6, 01570 и никелевого сплава ЖС3ДК-ВИ. Для удобства введения модификаторов в расплав в работе использован способ таблетирования порошков SiC и Ti(CN). Для алюминиевых сплавов на пресс-автомате ударного действия изготовили прессованные таблетки из смеси порошков SiC фракцией 50-100 нм и порошков алюминия фракцией до 100 мкм [5]. Для модифицирования никелевого сплава таблетки получали из порошков Ti(CN) фракции 50-100 нм.

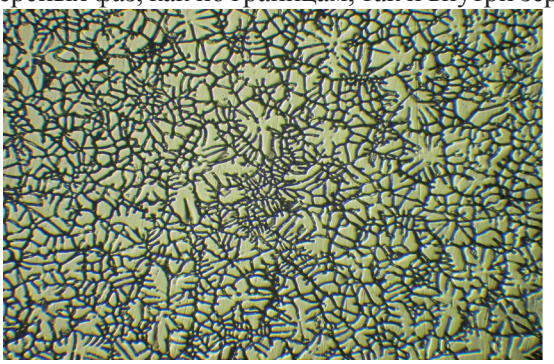
Талица 3. Характеристики кристаллических решеток тонкодисперсных модификаторов

Формула соединение		Элементарная ячейка	Период решетки, нм	
			A	C
SiC	α	гексагональная и ромбоэдрическая	0,308	1,004
	β	Кубическая	0,436	–
TiC		Кубическая	0,432	–
TiN		Кубическая	0,422	–
Ti(CN)		Кубическая	0,426	–

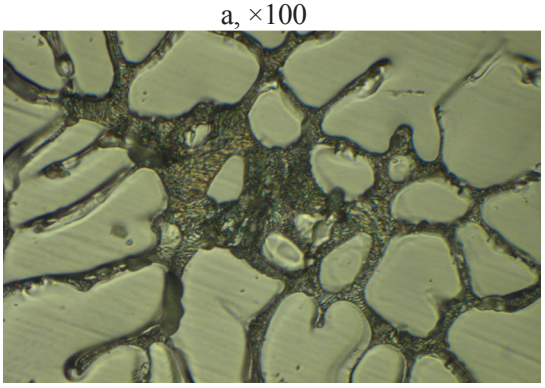
Плавку алюминиевых сплавов проводили в промышленной электропечи САТ-0,16. Содержание газов в сплавах определяли с помощью технологических проб. Результаты оценки проб показали, что модифицирование алюминиевых сплавов АМг6 и 01570 обеспечивает снижение газосодержания с 3 до 1 балла пористости по ДСТУ 2839-94.

Микроструктура сплава АМг6 в исходном состоянии представлена дендритами алюминиевого α-твердого раствора, наблюдаются грубые зоны срастания дендритных ветвей с участками эвтектик (рис. 1а, б). В модифицированных образцах дендритная

ликвация менее выражена. Наблюдаются включения дисперсных фаз, как по границам, так и внутри зерен.



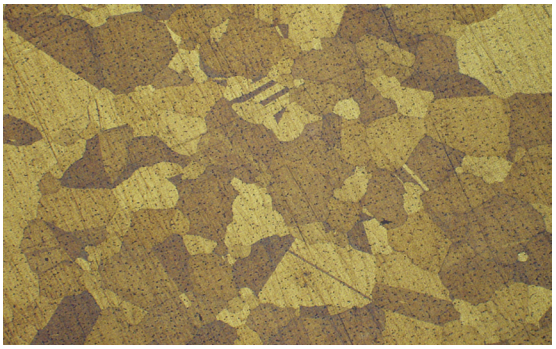
а, ×100



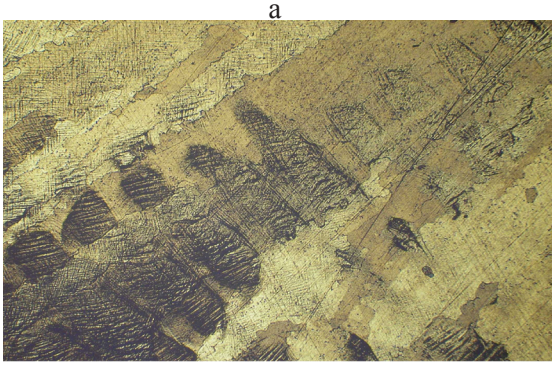
б, ×1000

Рис. 1. Микроструктура сплава АМг6

Макроструктура немодифицированного никелевого сплава ЖС3ДК-ВИ крайне неоднородна по сечению образца, имеет ярко выраженное грубое строение (рис. 2а). В результате модифицирования получена сравнительно однородная структура, достигнуто измельчение зерна в 5-8 раз (рис. 2б).



а



б

Рис. 2. Макроструктура никелевого сплава ЖС3ДК-ВИ, х 50: а – в исходном состоянии, б – после модифицирования

На рис. 3 приведены результаты механических испытаний алюминиевых сплавов до и после модифицирования тонкодисперсными композициями. Достигнуто значительное повышение прочностных и пластических характеристик: $\sigma_В$ – на 7,3 %; $\sigma_Т$ – на 4,9 %; δ – на 12,4 %.

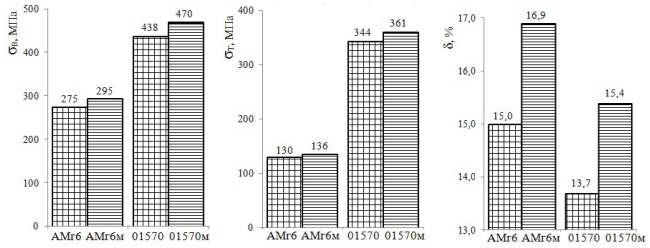


Рис. 3. Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов до и после модифицирования (м – модифицированный сплав)

На рис. 4 приведены показатели механических свойств никелевого сплава ЖС3ДК-ВИ до и после модифицирования. Достигнуто значительное повышение прочностных и пластических свойств: $\sigma_В$ – на 9,3 %; $\sigma_Т$ – на 12,9 %; δ – на 21,2 %.

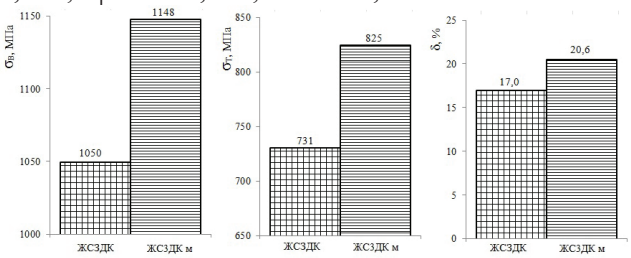


Рис. 4. Механические свойства жаропрочного никелевого сплава ЖС3ДК-ВИ до и после модифицирования (м – модифицированный сплав)

Выводы

Обоснован выбор типа модификатора, способ его таблетирования. Для алюминиевых сплавов рекомендован тонкодисперсный карбид кремния β-SiC, для никелевых сплавов – тонкодисперсный карбонитрид титана Ti(CN) фракцией 50-100 нм.

Проведены экспериментальные плавки алюминиевых сплавов АМг6, 01570 и никелевого сплава ЖС3ДК-ВИ с обработкой тонкодисперсными модификаторами. В модифицированных сплавах получено значительное измельчение дендритной и зеренной структуры. В результате модифицирования достигнуто повышение механических свойств:

- Для алюминиевых сплавов, $\sigma_В$ – на 7,3 %; $\sigma_Т$ – на 4,9 %; δ – на 12,4 %.
- Для никелевых сплавов, $\sigma_В$ – на 9,3 %; $\sigma_Т$ – на 12,9 %; δ – на 21,2 %.

Библиографический список

1. К вопросу об усвояемости тугоплавких соединений жидкими алюминиевыми сплавами / К.В. Михаленков, Д.Ф. Чернега, В.Г. Могилатенко // Процессы литья. – 1996. - № 1. – С. 3-10.

2. Авіаційно-космічні матеріали та технології / В.О. Богуслаєв, О.Я. Качан, Н.Е. Калініна та ін. – Запоріжжя: Мотор Січ, 2009. – 385 с.

3. Наноматериалы и нанотехнологии: получение, строение, применение. Монография / Н.Е. Калинина, В.Т. Калинин, З.В. Вилищук, А.В. и др. - Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2012. – 192 с.

4. Пат. РФ 2069702, МКИ 6 С21 С1/00. Модификатор / Калинин В.Т., Шатов В.В., Комляков В.И. – № 93030977; заявл. 01.03.93; опубл. 27.11.96, Бюл. № 33.

5. Пат. України на корисну модель № 71677, МПК С22С1/00 Таблетований модифікатор для обробки алюмінієвих сплавів / Н.Є. Калініна, З.В. Віліщук, О.А. Кавац, О.В. Калінін. - № u 201115055; заявл. 19.12.20011; опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14.

Поступила 13.03.2013

◆

УДК 621.774.38:620.187

Наука

Большаков Вл.И. /д.т.н./, Дергач Т.А. /к.т.н./
ГВУЗ «ПГАСА»

Панченко С.А., Балев А.Е.
ЧАО «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН»

Управление процессами структурообразования при изготовлении горячепрессованных труб из ферритно-аустенитных сталей

Установлены закономерности процессов структурообразования при изготовлении в ЧАО «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» горячепрессованных труб из коррозионностойких ферритноаустенитных сталей и разработаны научно обоснованные технологические мероприятия, обеспечивающие совершенствование структуры и повышение коррозионной стойкости и эксплуатационной надежности труб. Ил. 10. Табл. 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: *коррозионностойкие ферритно-аустенитные стали, горячепрессованные трубы, микроструктура, интерметаллидная σ - фаза, коррозионная стойкость*

Common factors of structure formation in relation to production of hot extruded tubes of corrosion-resistant ferritic-austenitic steel grades by CENTRAVIS PRO-DUCTION UKRAINE PJSC were established as well as science-based technological measures ensuring improvement of structure, corrosion resistance and operation re-liability of tubes were developed.

Keywords: *corrosion-resistant ferritic-austenitic steel grades, hot-extruded tubes, microstructure, intermetallic s-phase, corrosion resistance*

Введение

За последние десятилетия в различных отраслях промышленности и в строительстве существенно расширилось применение металлопродукции из коррозионностойких хромоникелевых и хромоникельмолибденовых ферритно-аустенитных (дуплексных и супердуплексных) сталей, легированных азотом [1-5], которые были разработаны как эффективные заменители более дорогостоящих аустенитных сталей.

ЧАО «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» («СПЮ»), Никополь, является единственным предприятием в Украине и СНГ, выпускающим трубы из указанных сталей (табл. 1) для внутреннего рынка и на экспорт.

В связи с несомненными достоинствами ферритно-аустенитных сталей: экономичностью, высокой коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред, высокой прочностью, хорошей технологичностью и свариваемостью, а также низким коэффициентом теплового расширения, – объемы их производства и области потребления непрерывно увеличиваются.

Для обеспечения высокой надежности и конкурентоспособности труб из ферритно-аустенитных сталей на мировом рынке на заводе совместно с учеными-материаловедами постоянно проводятся работы по совершенствованию структуры и качественных характеристик указанных труб с целью удовлетворения растущих требований промышленности.

Процесс изготовления труб из коррозионностойких феррито-аустенитных сталей включает технологические операции, оказывающие существенное как положительное, так и отрицательное, влияние на их структуру и комплекс свойств.

Целью работы явилось повышение коррозионной стойкости и конкурентоспособности горячепрессованных труб из феррито-аустенитных сталей на основе изучения процессов структурообразования и управления структурой при их изготовлении.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследование трубной заготовки

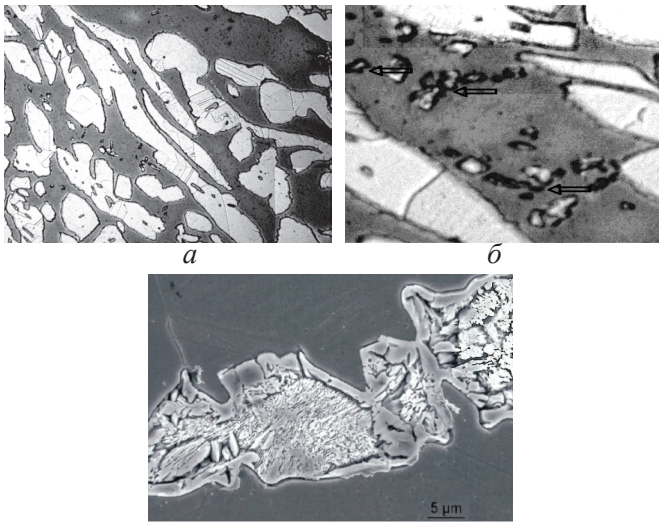
Исследования более 100 партий трубных заготовок ∅ 180-270 мм из различных ферритно-аустенитных (дуплексных и супердуплексных) сталей разных плавок, включающие анализ химического состава, микроструктуры и стойкости к питтинговой коррозии, показали следующее.

Трубные заготовки, как правило, характеризуются неоднородной структурой с чередующимися участками деформированных ферритной и аустенитной фаз (рис. 1*а*) и наличием неблагоприятных интерметаллидных фаз (рис. 1*б-г*).

© Большаков Вл.И., Дергач Т.А., Панченко С.А., Балев А.Е., 2013 г.

Таблица 1. Химический состав наиболее распространенных марок дуплексных сталей, используемых для производства труб в ЧАО «СПЮ»

Марка стали	Содержание химических элементов, %									
	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni	Другие
S32304	0,03	1,0	2,5	0,04	0,03	0,05-0,20	21,5-24,5	0,05-0,60	3,0-5,5	Cu до 0,60
S32205	0,03	1,0	2,0	0,03	0,02	0,14-0,20	22,0-23,0	3,0-3,5	4,5-6,5	-
S32550	0,04	1,0	1,5	0,04	0,03	0,10-0,25	24,0-27,0	2,9-3,9	4,5-6,5	Cu до 2,50
S32750	0,03	0,8	1,2	0,035	0,02	0,24-0,32	24,0-26,0	3,0-5,0	6,0-8,0	Cu до 0,50
S32760	0,03	1,00	1,0	0,03	0,01	0,20-0,30	24,0-26,0	3,0-4,0	6,0-8,0	Cu, W до 1,0



а *б* *в*

Рис. 1. Микроструктура трубной заготовки из стали 02Х22Н5АМ3 (*а*, × 400) с выделениями интерметаллидной фазы в феррите (*б*,×1000, *в*,×12000)

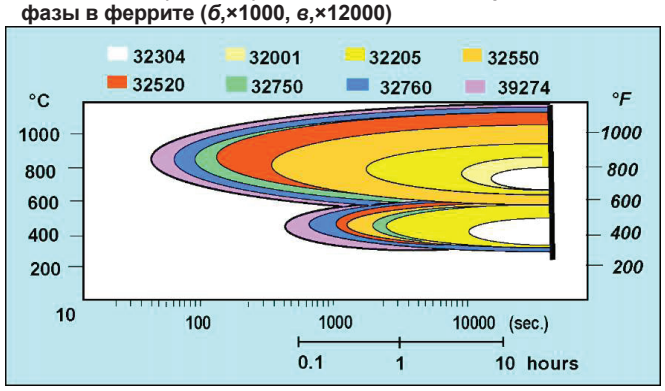


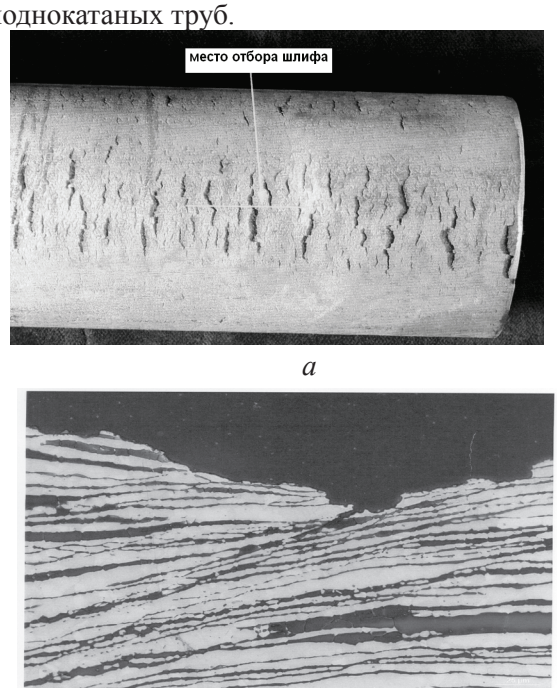
Рис. 2. Типичные изотермические диаграммы выделения интерметаллидных фаз в феррито-аустенитных сталях [5]: верхняя часть диаграммы соответствует выделению σ-фазы

Известно, что выделение интерметаллидных фаз: σ (Fe-Cr-Mo), π ($Fe_7Mo_{13}N_4$), а также карбидов M_7C_3 и $M_{23}C_6$, и нитридов Cr_2N и CrN происходит при нагреве феррито-аустенитных сталей при температурах выше 300 °С (рис. 2) [4], что приводит к их охрупчиванию. Наиболее неблагоприятной является интерметаллидная s-фаза, выделяющаяся по эвтектоидной реакции: α (δ) → σ + $γ_2$ ($γ_2$ – вторичный аустенит) или непосредственно из феррита в диапазоне температур 600-1000 °С с интенсификацией процесса при 800-950 °С (в зависимости от степени легирования стали), рис. 2 [5], табл. 1.

Поскольку σ -фаза имеет повышенное содержание хрома и молибдена, ее выделение способствует обеднению прилегающих к ней участков феррита указанными элементами и снижает стойкость стали к локальным видам коррозии: питтинговой (ПК), межкристаллитной (МКК) и коррозионному растрескиванию (КР).

Кроме того, как показал статистический анализ, содержание ферритообразующих (в основном Cr, Mo, Si) и аустенитообразующих (Ni, N, Mn) элементов в трубных заготовках разных плавок может существенно колебаться в пределах марочного состава и находиться как на верхнем, так и на нижнем пределах величин, оговоренных стандартами, что оказывает влияние на соотношение объемов ферритной и аустенитной фаз в структуре стали. Неблагоприятное соотношение феррито- и аустенитообразующих элементов может способствовать нарушению необходимого баланса ферритной и аустенитной фаз (в пределах 40-60 % каждой).

Структурная неоднородность трубной заготовки отрицательно сказывается на ее технологической пластичности, деформируемости в горячем состоянии и качестве поверхности горячепрессованных труб (рис. 3) и может оказывать наследственное неблагоприятное влияние на качество поверхности, структуру и коррозионную стойкость также готовых холоднокатаных труб.



а

б

Рис. 3. Поперечные трещины на поверхности горячепрессованной трубы из стали 02Х22Н5АМ3, изготовленной из трубной заготовки с пониженным содержанием феррита (*а*, М 1:2) и микроструктура в зоне трещины (*б*, × 400)

На основании проведенных исследований уточнены требования к химическому составу и структуре

трубной заготовки из ферритно-аустенитных сталей, что способствовало улучшению ее деформируемости при прессовании, повышению однородности структуры, а также улучшению качества поверхности и свойств горячепрессованных, а также холоднокатаных труб из нее.

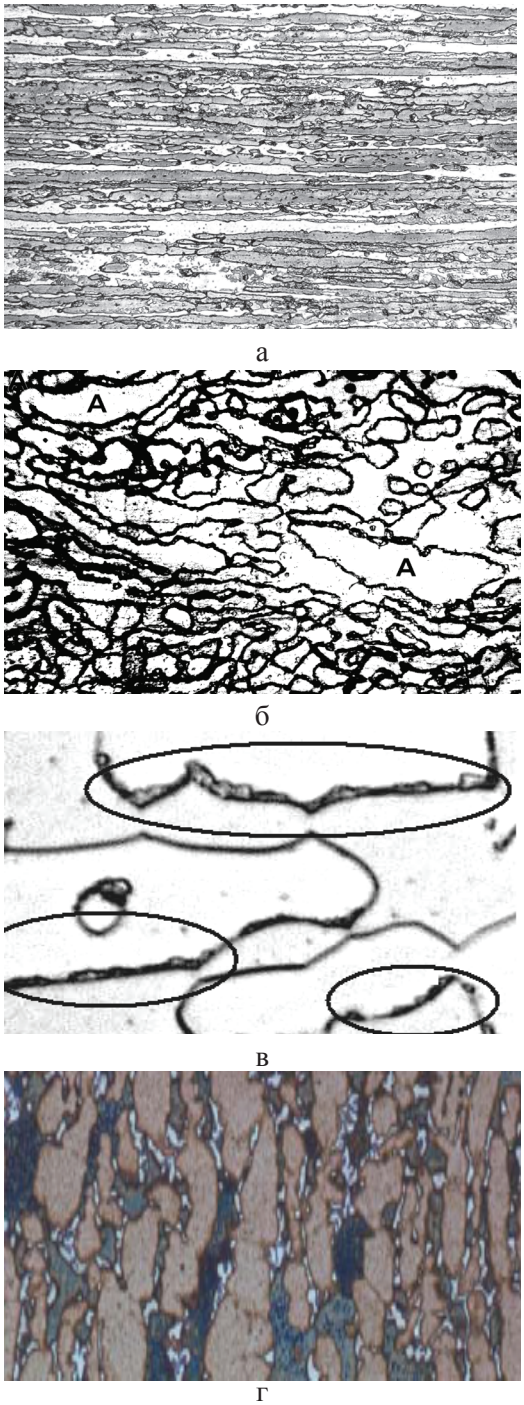


Рис. 4. Микроструктура горячепрессованных труб из стали 02Х22Н5АМ3: а, в – продольные шлифы, б, г – поперечные шлифы, А – аустенит; в, г – выделение σ-фазы: в – темного цвета (травление в щавелевой кислоте), г – белого цвета (травление в реактиве Бераха); а, б – ×400, в, г – × 800

Исследование горячепрессованных труб

Высокотемпературное горячее прессование трубной заготовки на горизонтальном гидравлическом прессе с большой (до 95 %) степенью разовой деформации и ускоренным охлаждением горячепрессованных труб в воде способствует существенному преобразованию структуры стали: повышению ее однородности, увеличению степени вытянутости фаз в направлении деформации (рис. 4*а*), измельчению ферритных и аустенитных зерен. Однако оно не обеспечивает высокую степень однородности структуры (рис. 4*б*), и отсутствие в ней интерметаллидных фаз (рис. 4*в, г, д*).

Следует также отметить, что в связи с двухфазной структурой ферритно-аустенитных сталей ограничивается возможность роста их зерен, поэтому трубы из них характеризуются мелкозернистой структурой, что может оказывать неблагоприятное влияние на их стойкость к питтинговой коррозии, поскольку границы зерен часто являются местами зарождения питтингов.

В соответствии с изложенным, структура горячепрессованных труб ферритно-аустенитных сталей не всегда гарантирует требуемый потребителями высокий комплекс их коррозионных и эксплуатационных свойств, в частности, стойкость к питтинговой коррозии (ПК) при испытании при повышенных температурах в 6%-ном растворе $FeCl_3$ по стандарту ASTM G-48, стойкость к коррозионному растрескиванию (КР) при испытании в кипящем при 155 °С 45%-ном растворе $MgCl_2$ и к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением (СКРН) при испытании в хлоридной сероводородсодержащей среде по методике NACE TM 0177. Поэтому товарные горячепрессованные трубы с повышенными требованиями по коррозионной стойкости необходимо подвергать термической обработке.

Исследования показали, что устранить наиболее неблагоприятную интерметаллидную σ-фазу можно высокотемпературной гомогенизирующей термической обработкой с ускоренным охлаждением (закалкой) труб. Однако, высокотемпературный нагрев ферритно-аустенитных сталей способствует увеличению, в том числе до недопустимых пределов (более 60 %), объема ферритной фазы в их структуре (рис. 5), что отрицательно влияет на эксплуатационные свойства труб.

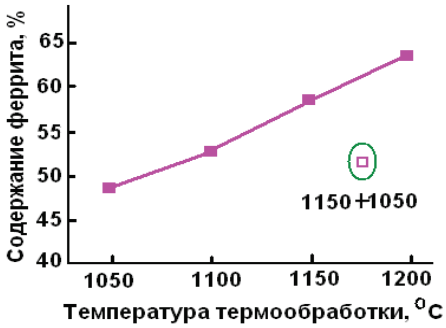


Рис. 5. Влияние режима термической обработки на содержание феррита в структуре горячепрессованных труб из стали 02Х22Н5АМ3.

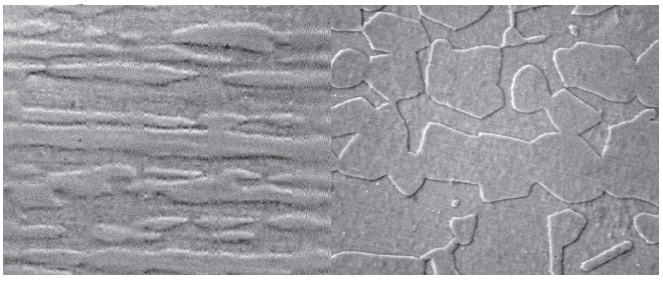
Установлено, что термическая обработка горячепрессованных труб по действующей технологии (закалка от температур 1050-1070 °С) способствует

дальнейшему повышению степени однородности структуры стали и частичной коагуляции фаз, рис. 6*а*. Однако, при этом не всегда достигается полное растворение интерметаллидной σ-фазы, особенно при повышенном ее содержании в стали, и требуемая коррозионная стойкость труб.

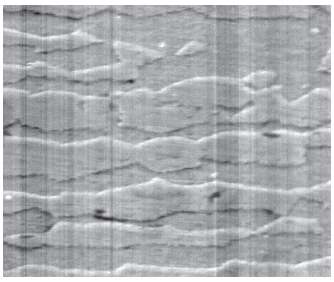
Систематическими исследованиями процессов структурообразования при термической обработке образцов горячепрессованных труб установлены следующие закономерности. Повышение температуры нагрева под закалку и времени выдержки при нагреве способствуют:

- гомогенизации химического состава стали, увеличению степени коагуляции ферритной и аустенитной фаз (рис. 6*б*) некоторому изменению их химического состава, умеренному росту ферритных и аустенитных зерен: при увеличении температуры закалки с 1050 до 1200 °С их средний диаметр увеличился в ~1,7 раза (рис. 7) и увеличению полноты превращения σ-фазы;

- увеличению (до ~78 %) поверхности специальных низкоэнергетических границ зерен Σ3 ($\Sigma 3^n$) в теории решеток совпадающих узлов (РСУ) в аустенитной составляющей стали, обладающих повышенной коррозионной стойкостью, и соответственно уменьшению поверхности термодинамически менее стойких активных высокоэнергетических границ зе-



а) 1050 °С *б*) 1200 °С



в) 1200 + 1050 °С

Рис. 6. Влияние режима закалки на микроструктуру горячепрессованных труб из стали 02Х22Н5АМ3, × 1000, РЭМ

Ранее было показано [6], что укрупнение зерен и увеличение поверхности специальных границ Σ3

Таблица 2. Влияние режима термической обработки на стойкость к ПК при испытании по методу А, ASTM G-48, образцов труб из стали 02Х22Н5АМ3

Режим термообработки	Удельная потеря массы образцов, × 10^{-3}, г/см^2, при температуре, °С			Примечание
	30	40	45	
Закалка от 1050	0,08-0,12 (ср. 0,10)	0,63-9,4 (ср. 4,8)	-	питтинги при 40 °С
Закалка (1150+1050 °С)	0-0,012 (ср. 0,010)	0,02-0,03 (ср. 0,027)	0-0,034 (ср.0,028)	питтинги отсутствуют
Требования НД	скорость коррозии ≤0,10×10^{-3}г/см^2, отсутствие питтингов			

способствует значительному повышению коррозионной стойкости труб из аустенитных Cr-Ni сталей, что в большей степени проявляется при их испытании и эксплуатации в особо агрессивных средах.

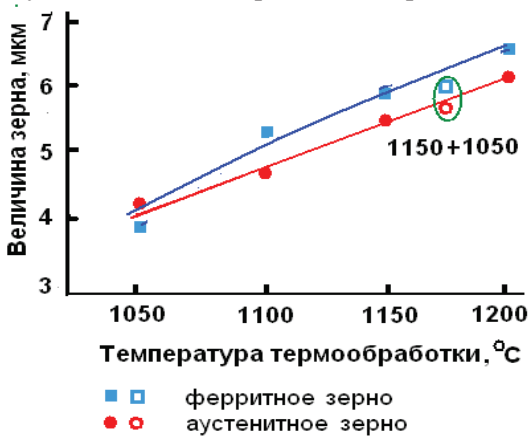


Рис. 7. Влияние режима термической обработки на величину ферритных и аустенитных зерен в трубах из стали 02Х22Н5АМ3

Однако, увеличение до недопустимых пределов (более 60 %) содержания феррита в стали может привести к снижению стойкости труб к ПК и КР.

Установлено, что последующая (после высокотемпературной) закалка образцов труб (от температур 1050-1090 °С в зависимости от степени легирования стали) способствует восстановлению оптимального баланса ферритной и аустенитной фаз (примерно по 50 % каждой) в структуре стали (рис. 5) и коагуляции фаз (рис. 6*в*) при сохранении повышенного содержания специальных низкоэнергетических границ зерен Σ3 в аустените (рис. 8).

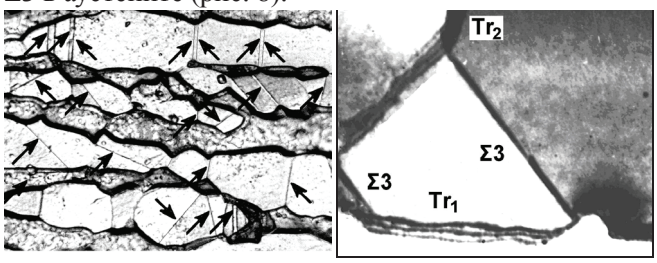


Рис. 8. Микроструктура горячепрессованной трубы после двойной закалки, × 500 (*а*); специальные границы Σ3 в аустените, × 5 000 (*б*)

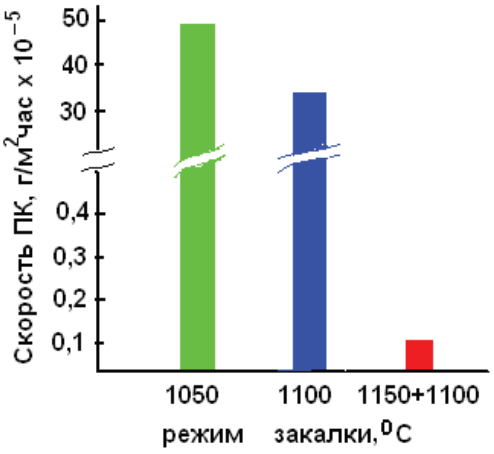


Рис. 9. Влияние режима термической обработки на условную скорость ПК образцов горячепрессованных труб из стали 02Х22Н5АМ3

Такая комплексная термообработка по разработанному режиму двойной закалки [7] способствовала:

- значительному повышению стойкости образцов труб к ПК при испытании в 6%-ном растворе $FeCl_3$ по методу А, ASTM G-48, – повышению температурного порога питтингостойкости (для горячепрессованных труб из стали 02Х22Н5АМ3 с 30 до 45 °С) и снижению более, чем на 2 порядка величины, условной скорости питтинговой коррозии (табл. 2, рис. 8, 9);

- улучшению коррозионных характеристик при электрохимических исследованиях в хлоридной сероводородсодержащей среде (насыщенном H_2S растворе 5% NaCl + 0,5% CH_3COOH) метода NACE TM 0177 – уменьшению в 4,5 раза тока вторичной пассивности стали на анодных поляризационных кривых (АПК) с $i_{пас} = 2{,}7\times10^{-4}$ А/см^2 (кр. 1) до $i_{пас.} = 6\times10^{-5}$ А/см^2 (кр. 2), рис. 10;

- повышению стойкости к КР при испытании в кипящем при 155 °С 45%-ном растворе $MgCl_2$ по ASTM G-36;

- повышению стойкости к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением (СКРН) при испытании по методике NACE TM0177 – увеличению критического напряжения растрескивания (σкр) с 0,85-0,9σт до 1,1σт, т.е. до 1,3 раза.

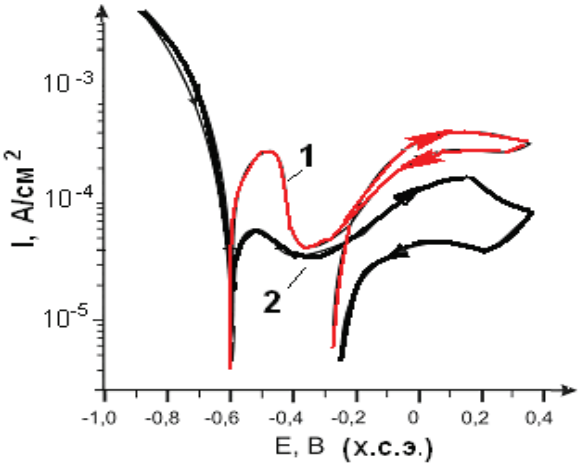


Рис. 10. АПК прямого и обратного хода в насыщенном H_2S растворе 5%NaCl+0,5%CH_3COOH образцов горячепрессованных труб из стали 02Х22Н5АМ3: кр. 1 – закалка от 1050 °С, $i_{пас} = 2{,}7\times10^{-4}$ А/см^2, гистерезис; кр. 2 – закалка от (1150+1050) °С, $i_{пас.} = 6\times10^{-5}$ А/см^2, гистерезис отсутствует

Предложенная технология, направленная на увеличение в структуре стали поверхности специальных низкоэнергетических границ зерен, построена на принципах зернограничного конструирования (ЗГК, grain boundary engineering), которое находит все большее распространение в различных отраслях промышленности [8].

Углубленные исследования, направленные на совершенствование структуры и повышение качественных характеристик труб из ферритно-аустенитных (дуплексных и супердуплексных) сталей в настоящее время продолжаются.

Повышение качества выпускаемых «СПЮ» труб из ферритно-аустенитных сталей, способствует повышению их конкурентоспособности, расширению областей применения и увеличению объемов производства.

Выводы

1. Установлены основные закономерности процессов структурообразования при изготовлении и термической обработке горячепрессованных труб из коррозионностойких ферритно-аустенитных сталей.

2. Разработаны научно обоснованные режимы термической обработки труб, обеспечивающие совершенствование их структуры и повышение комплекса коррозионных и эксплуатационных свойств.

Библиографический список

1. Jacques S., Peultier J, Gagnepain J. C. and Souligнac P. Corrosion resistance of duplex stainless steels in thermal desalination plants, Corrosion Nace conf. – 2008.

2. Korkhaus J. Application of corrosion-resistant steels in chemical industry // Mater. of the Conf. «Stainless Steel World 99». – 1999. – P. 27-41.

3. Alvarez-Armas. Brief History and Some Recent Alloys. Recent Patents on Mechanical Engineering. I. Duplex Stainless Steels. – 2008. - № 1. - P. 51-57.

4. Audoard J.P., Verneau M., Groski J. Corrosion Performance And Filed Experience With Super Duplex And Super Austenitic Stainless Steels In FGD Systems // 12th International Corrosion Congress, Houston, USA, – 1993. – P. 131-138.

5. J. Charles, P. Chemelle. The history of duplex developments, nowadays DSS properties and duplex market future trends. 8th Duplex stainless Steels conference, 13-15 October 2010, Beaune, France. P. 3-9.

6. Дергач Т.А. Влияние термической обработки на структуру и стойкость к межкристаллитной коррозии труб из аустенитных сталей. Автореферат дис. канд. техн. наук. - Днепропетровск, 2004. - 21 с.

7. Пат. на корисну модель № 68801 Україна, МПК7 С 21 D 9 9/08. Спосіб термічного оброблення труб з корозійностійких феритно-аустенітних сталей / Дергач Т.О., Сєвєріна Л.С., Сухомлин Г.Д., Круцан Г.М., Панченко С.А. та ін.; власник ДП «НДТІ ім. Я.Ю. Осади». - № u 2011 11595; заявл. 30.09.2004; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7.

8. M. Shimada, H. Kokawa, Z.J. Wang, Y.S. Sato, I. Karibe. Optimization of grain boundary character distribution for intergranular corrosion resistant 304 stainless steel by twin induced grain boundary engineering. // Acta Materialia 50. – 2002. – P. 2331–2341.

Поступила 24.04.2013

◆

УДК 669.14.018.295

Наука

Узлов О.В. /к.т.н./, Дрожевская А.В.
ГВУЗ «ПГАСиА»

Формирование структурного состояния высокопрочных сталей для инновационного железнодорожного подвижного состава

В статье рассмотрены особенности формирования структурного состояния и комплекса свойств стали типа Ст3сп модифицированной Al+Ti+N. Приведен высокий комплекс механических и эксплуатационных свойств данной стали со структурой игольчатого феррита. Показана возможность применения данной стали для производства инновационного подвижного состава. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: *бейнитное превращение, игольчатый феррит, структура, инновационный подвижной состав*

The article describes the features of formation of the structural condition of the complex properties of steel and the type of modified St3sp Al + Ti + N. Is a complex of high mechanical and performance properties of the steel structure of acicular ferrite . The possibility of using this steel for the production of innovative vehicles.

Keywords: *bainitic transformation , acicular ferrite , structure , innovative rolling stock*

Нестабильная ситуация на внешних рынках металлопродукции заставляет украинских металлургов искать эффективные ниши для своей продукции внутри страны. В это же время в украинском машиностроении (вагоностроении) остро востребован высокопрочный прокат для грузового железнодорожного подвижного состава. Такой прокат с одной стороны должен отвечать жестким требованиям РЖД по механическим и эксплуатационным свойствам и, одновременно, обладать низкой ценой по сравнению с аналогами. Это позволит украинским вагоностроителям не только выпускать инновационный подвижной состав, но и конкурировать с российскими производителями за счет более низкой себестоимости производства грузовых вагонов. С учетом этих положений были выполнены работы [1-3] по созданию высокопрочного листового, сортового и фасонного проката с использованием низкоуглеродистых сталей (типа Ст3пс), микролегированных карбонитридом титана и нитридом алюминия с получением высоких значений прочностных и вязких характеристик (таблица).

Таблица. Свойства сталей для вагоностроения

Марки Стали	$\sigma_т$, Н/мм^2	δ_5, %	KCU, Дж/см^2			
			+20 °С	-20 °С	-40 °С	-70 °С
Применяемая сегодня 09Г2Д	295	21,0	98,0	-	29,0	-
10ХСНД	390	18,0	-	-	34,0	29,0
Новая термически упрочненная на базе Ст3сп	550-600	21,0	-	-	-	75,0-85,0

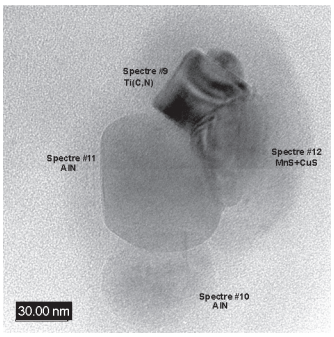
Выполненными к настоящему времени работами показано, что получение бейнитной структуры в стали позволяет существенно повысить прочностные и вязкие характеристики стали без значительного снижения пластических характеристик, присущего мартенситной структуре [4]. Введение в жидкую сталь ферросплавов содержащих алюминий, титан и азот приводит к формированию в структуре комплексных соединений как представлено на рис. 1.

Наличие подобных частиц в структуре стали при последующих переделах в твердом состоянии приводит к формированию сравнительно мелкого аустенитного зерна (6-8 балл по ГОСТ 5639-82). В случае реализации распада переохлажденного аустенита по бейнитному механизму при охлаждении стали с частицами Ti(C,N) и AlN происходит формирование структуры «интрагранулярного» игольчатого феррита, характеризующегося высокой степенью разориентировки бейнитных реек, в результате чего распространение в ней магистральной трещины в практически любом направлении будет затруднено (рис. 2). Этим и объясняется повышение ударной вязкости сталей со структурой «интрагранулярного» игольчатого феррита по сравнению с аналогичными сталями со структурой бейнита или отпущенного мартенсита.

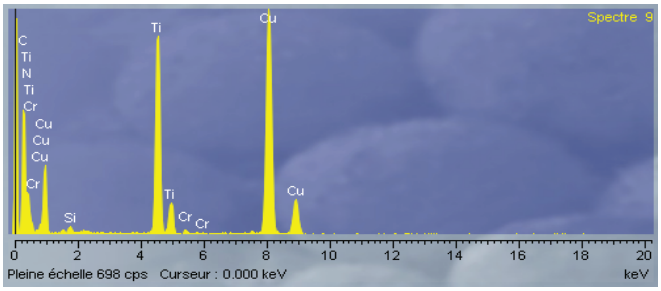
Были проведены испытания на усталостную прочность – очень важную характеристику для металла вагонов, работающего в условиях знакопеременных нагрузок (рис. 3). Показано, что новая микролегированная сталь в термически упрочненном состоянии существенно превышает по своим характеристикам усталостной прочности используемый в настоящее время металлопрокат для вагоностроения.

Проведение широкого комплекса механических испытаний микролегированных сталей со структурой игольчатого феррита необходимо было для оценки влияния структуры игольчатого феррита и частиц нитридов и карбонитридов на характеристики свойств сталей. Механические испытания проводились по стандартным методикам в соответствии с действующими ДСТУ и ГОСТ. Выбор для оценки ударной вязкости образцов с U-образным надрезом (тип I по ГОСТ 9454-78) связан с тем, что в требованиях ГОСТ 19281-89 и ГОСТ 27772-88 к ударной вязкости для температур испытания ниже минус 40 °С приводятся требуемые уровни ударной вязкости только для образцов с U-образным надрезом, а также тем, что в

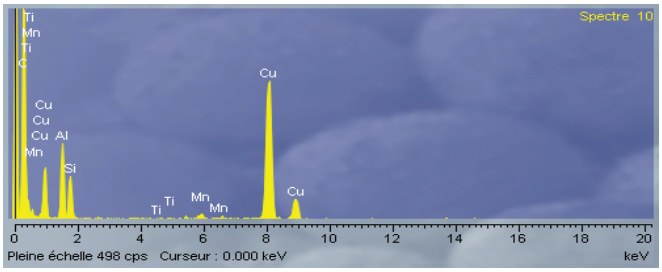
© Узлов О.В., Дрожевская А.В., 2013 г.



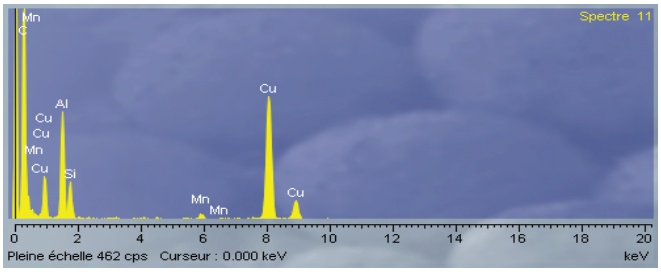
а



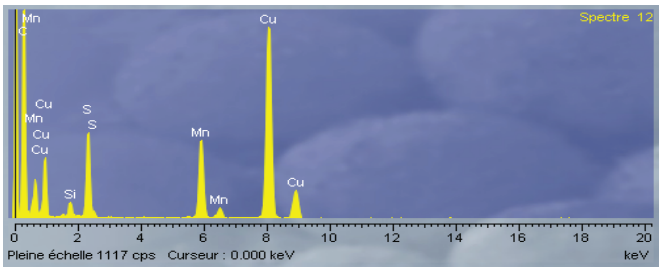
б



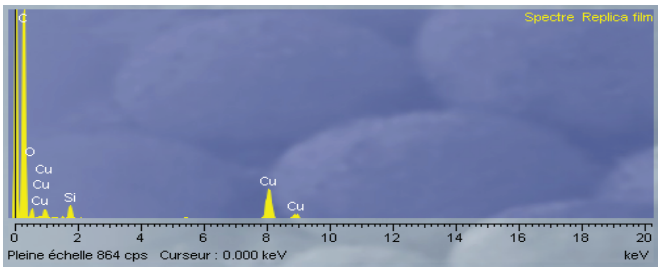
в



г



д



е

Рис. 1.: а) - конгломерат частиц, наблюдаемый в исследованной конструкционной стали, микролегированной нитридообразующими элементами (плавка № 166908, горячекатаное состояние), экстракционная реплика, просвечивающий электронный микроскоп, х300000; б) - EDX спектр частицы карбонитрида титана Ti(C,N); в), г) - EDX спектр частицы нитрида алюминия AlN; д) - EDX спектр частицы сульфида MnS+CuS; е) - EDX спектр углеродной реплики



Рис. 2. Структура «интрагранулярного» игольчатого феррита в конструкционной стали микролегированной нитридообразующими элементами после термической обработки, х 800

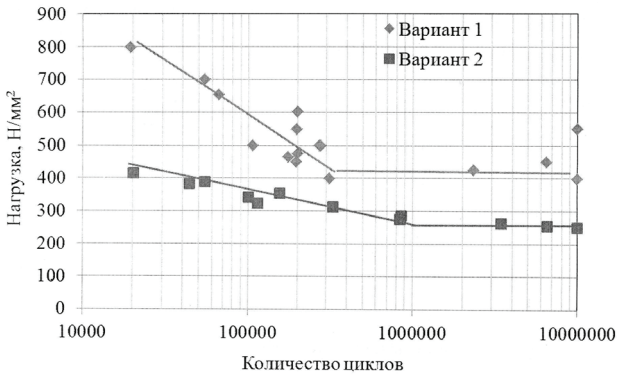


Рис. 3. Кривые усталости фасонного проката для: вариант 1 – новая микролегированная сталь на базе Ст3сп со структурой игольчатого феррита; вариант 2 – традиционно применяемая в вагоностроении сталь с феррито-перлитной структурой

литературе имеется более широкая база данных по значениям ударной вязкости сталей при пониженных температурах (до минус 80 °С) именно для образцов с U-образным надрезом [5].

На основании вышеприведенных данных можно заключить, что термическое упрочнение малоуглеродистых и низколегированных сталей с комплексным карбонитридным упрочнением, формируя преимущественно бейнитные структуры с повышенной степенью разориентировки реек, обеспечивает возможность получения высокопрочного фасонного проката с уровнем предела текучести до 630 Н/мм^2, гарантией ударной вязкости вплоть до температуры минус 80 °С KCU^{-80}≥75 Дж/см^2 и высокими показателями сопротивления усталостному разрушению (σ_{-1}= 400 Н/мм^2), а также необходимый уровень других эксплуатационных характеристик.

Предварительные исследования свариваемости термоупрочненной стали, выполненные Институтом электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, показали, что

она не склонна к изменению свойств под воздействием ожога, хорошо сопротивляется образованию холодных трещин при ограниченном содержании диффузионного водорода в наплавленном металле, способна обеспечить требуемую ударную вязкость в диапазоне скоростей охлаждения $5 \le W_{6/5} \le 15$ °С/с и может быть принята в качестве базовой при разработке высокопрочного проката для грузовых вагонов нового поколения.

Выводы

1. Исследована сталь со структурой игольчатого феррита обладающая высоким комплексом механических и эксплуатационных свойств.
2. По мнению ОАО «РЖД» наиболее важным путем повышения эффективности грузовых железнодорожных перевозок является снижение коэффициента тары вагона (отношение веса вагона к весу перевозимого груза). Таким образом, разработанный металлопрокат класса прочности 550-600 со структурой игольчатого феррита позволяет существенно снизить коэффициент тары для инновационных грузовых вагонов.

Библиографический список

1. Большаков В.И., Узлов О.В., Зотов Д.С. Возможность использования альтернативных систем легирования высокопрочного проката строительного и транспортного назначения. Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. научн. тр. вып. 47. - Днепропетровск: ПГАСА, 2008. - С. 151-160.
2. Большаков В.И., Узлов О.В., Зотов Д.С., Коваленко А.О. Исследование влияния частиц Ti(C_x, N_{1-x}) на свойства строительных сталей // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 2011. - № 5 (270). - С. 40-42.
3. Kovtun N., Bolshakov V., Uzlov O., Puchikov A., Zotov D., Scheller P.R., Hagemann R. // Proceedings «ISDM-2012», Germany, 2012, p. 29-34.
4. Большаков В.И., Стародубов К.Ф., Тылкин М.А. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности. - М.: Металлургия, 1977. - С. 93-98.
5. Матросов Ю.И., Литвиненко Д.А., Головаченко С.А. Сталь для магистральных трубопроводов. - М.: Металлургия, 1989. - 287 с.

Поступила 30.07.2013

◆

Уважаемые читатели!
У Вас есть возможность оформить подписку изданий
ООО «Укрметаллургинформ «НТА» на 2014 г.:

Индекс: 74311
- журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на русском языке;

Индекс: 49501
- журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на русском языке, CD-ROM;

через каталог «Изданий Украины», каталог России «Газеты. Журналы»
и через редакцию журнала.

Редакция:
ул. Дзержинского, 23, г. Днепропетровск, Украина, 49027,
к/т 056-744-81-66; т/ф 0562-46-12-95.

УДК 622.271.33

Наука

Шустов О.О.
ДВНЗ «НГУ»

Дослідження організації роботи земснарядів при розкритті глибоких суттєво обводнених родовищ корисних копалин

На прикладі Ново-Дмитрівського родовища розглянута організація розкриття глибоких обводнених кар'єрів за допомогою земснарядів. Обґрунтовані раціональні параметри проведення розрізної траншеї та ніші для розвороту при врізанні у нову західку. Розрахована економічна ефективність застосування земснарядів з метою осушення кар'єру від підземних вод. Іл. 4. Табл. 1. Бібліогр.: 5 назв.

Ключові слова: *земснаряд, організація розкриття, параметри розрізної траншеї, осушення кар'єру*

The organization opened deep flooded pits on example of the Novo-Dmitrovsky deposit of brown coal is considered. The parameters of split trench and a niche for reversal in the sidebar to dredge a new slope are substantiated. The economic efficiency of dredges for drainage pits on groundwater is calculated.

Keywords: *dredge, the organization opened, the parameters of split, drainage pit*

Вступ

Гідромеханізація достатньо широко застосовується в гірничодобувній промисловості при проведенні розкривних робіт на залізорудних, марганцеворудних і вугільних кар'єрах, у виробництві будівельних матеріалів та гідротехнічному будівництві. Проведений аналіз проектів відпрацювання залізорудних і марганцеворудних родовищ показує, що загальний об'єм порід розкриву, який можливо розробляти засобами гідромеханізації, досягає 6 млрд. м^3, а річні об'єми гідророзкривних робіт можуть бути значно збільшені і доведені до 100 млн. м^3/рік. Такий спосіб виробництва гірничих робіт є потоковим з високим рівнем комплексної механізації технологічного процесу. При цьому гірничу масу розроблюють, транспортують та складують послідовно у одному напрямку за допомогою води.

Аналіз виробничого досвіду застосування земснарядів

Суттєве обводнення гірських порід сприяє застосуванню для їх розробки засобів гідромеханізації. Перевагами гідромеханізованого способу перед іншими є низька собівартість робіт, висока виробка на одного працівника, менша трудоємність, простота експлуатації, можливість одночасного осушення кар'єрного поля від підземних вод. Він набув ефективного застосування при відпрацюванні техногенних розсипових родовищ дорогоцінних металів, марганцевої руди, а також для розкриття обводнених пластів бурого вугілля.

В даний час найбільш багаті розсипні родовища золота, як правило, вже відпрацьовані. І тому все частіше залучаються в експлуатацію техногенні розсипи, що містять значну кількість дорогоцінного металу дрібних фракцій. Для Далекого Сходу істотний інтерес також представляють поховані глибокозалягаючі розсипи, які раніше частково розроблялися в обмежених обсягах через недостатню їх вивченість й розвіданість а також через складні гірничо-технічні умови. Розробка таких родовищ традиційними способами (дражним і відкритим роздільним) є нерентабельною і вимагає пошуку нових технологічних рішень. У першу чергу, це стосується питань вдосконалення технологій виймання продуктивної гірничої маси, їх якісної підготовки до подальших процесів збагачення й транспортування.

Досвід застосування земснарядів у свій час був розглянутий на прикладі Мар'ївського кар'єру Нікопольського марганцеворудного родовища, відпрацювання якого підземним способом було досить ускладнене за рахунок його значного обводнення. При будівництві кар'єру розкривні роботи на верхньому уступі проводились екскаваторами СЕ-3 з вивезенням суглинків автотранспортом на зовнішні відвали, а надрудних глин – плавучими земснарядами. «Спецбудпроектом» була розроблена схема осушення частини розрізної траншеї з поверхні ежекторними іглофільтрами. Але відсутність досвіду з налаштування їх роботи перешкоджала очікуваному водопониженню й осушуванню виробок розкриття. При цьому відпрацювання нижнього уступу земснарядами призвело до дренування котлованом підземних вод древньоалювіального горизонту. В результаті зниження рівня ґрунтових вод навколо котловану сформувалась незалежна депресійна воронка. Подальше зниження рівня води в траншеї визвало додаткове пониження алювіальних вод на прилеглих до котловану ділянках

Слід відмітити, що при наявності значного водоприпливу застосування засобів гідромеханізації є невід'ємною частиною розкриття родовища. Так,

© Шустов О.О., 2013 г.

в 60-х рр. XX століття при добуванні залізних руд з вмістом заліза 55–61,7 % на кар'єрах Курської магнітної аномалії (КМА) широко застосовувався гідравлічний спосіб розробки пісків, глин і суглинків. Багаті залізні руди були рівномірно розповсюджені по площі на великих ділянках. Залягали вони горизонтально на виходах залізистих кварцитів під осадовими породами розкриву. Підземні води розташовані як в скельних породах докембрію, так і в осадовій товщі, мали напір до 50–60 м. Проектами освоєння Михайлівського і Лебединського родовищ було передбачено застосування гідромеханізації для виймання поверхневих і піщаних порід загальною потужністю біля 30 м. Надалі, сумісно з проектною схемою розмиву порід розкриву гідромоніторами й відкачкою пульпи землесосами, при будівництві кар'єрів застосовувались земснаряди для відпрацювання підводної частини уступів.

Однак, потужні земснаряди можуть застосовуватись не тільки при відпрацюванні розкривної частини кар'єрів, а й при розкритті глибоких суттєво обводнених буровугільних родовищ з подальшим добуванням різнотипових корисних копалин. Для розпушення корисної копалини використовується фрезерний робочий орган. Після розпушення гірнича маса подається у всмоктувальний патрубок і далі транспортується на поверхню напірним трубопроводом.

Таким чином, для боротьби з потужними водоприпливами до виробок розкриття доцільно розглянути можливість застосування у якості добувних і осушувальних агрегатів земснарядів, які працюють за принципом всмоктування гідросуміші. Земснаряди мають більш просту конструкцію, відносно невелику вагу й потребують при рівній продуктивності значно менших матеріальних і трудових витрат на їх монтаж і експлуатацію. Вони в менших об'ємах забруднюють водойми, можуть працювати автономно від збагачувальної установки, що дозволяє більш ефективно вирішувати екологічні проблеми.

Актуальність теми

Поряд з позитивними наслідками дренажних робіт на буровугільних розрізах Дніпровського басейну, де відпрацьовували один-три шари загальною потужністю до 10 м, умови залягання трьох пластів такої сировини у сольових штоках сягають 70–130 м і за технологією розкриття суттєво різняться. На осушення родовища витрачаються значні кошти, а дренуючі виробки розміщуються у робочій зоні кар'єра, що заважає нормальній експлуатації гірничотранспортного устаткування. Відкачка підземних вод суттєво здорожчує рівень техніко-економічних показників розрізу у цілому. Тому для таких умов розроблена нова схема не тільки з відкачкою підземних вод, а й з поєднанням її з розробкою гірничої маси земснарядами [1]. При цьому обводнені породи малостійкі й потребують додаткового обґрунтування умов для безпечної їх розробки, що надійно й економічно забезпечується застосуванням земснарядів, що суміщують у процесі експлуатації виймання гірських порід і водовідлив.

Дослідження умов залягання бурого вугілля, сучасний стан відкритих гірничих робіт і аналіз науково-дослідницької літератури з проблем розробки вугільних родовищ дозволили виявити ряд невирішених питань, які ускладнюють раціональне використання схем розкриття мульдоподібних обводнених покладів на великих глибинах. Організація робіт по розкриттю обводненої частини глибоких родовищ у світовій практиці невідома. Тому у якості **об'єкту дослідження** будуть технологічні процеси зневоднення гірського масиву мульдоподібних вугільних шарів і пов'язані з ними технологія і організація розкривних робіт.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні організації роботи земснарядів при розкритті обводнених горизонтів глибоких родовищ корисних копалин (техногенних розсипових, марганцеворудних, буровугільних).

Основна частина

Організацію роботи земснарядів розглянемо на прикладі Ново-Дмитрівського буровугільного родовища. Оскільки розробка малопотужних пластів бурого вугілля з високим коефіцієнтом розкриву на підприємствах «Олександріявугілля» припинена, однією з перспективних сировинних баз України є унікальні мульдоподібні родовища, що представляють абсолютно новий генетичний тип не маючих світових аналогів. Найбільш крупне з них – комплексне Ново-Дмитрівське, яке розташоване в Північно-Західному Донбасі з промисловими запасами біля 450 млн. т. В умовах суттєво обводненого родовища застосування земснарядів є невід'ємною частиною організації гірничотранспортних робіт. Слід відмітити, що встановлені за даними гідродинамічного моделювання водопритоки залежать від глибини розробки і змінюються від 220 до 612 тис. м^3/добу. Аналіз водоприпливів показав, що обводнену частину Ново-Дмитрівського родовища можливо розкрити єдиним способом – за допомогою земснарядів, які одночасно з добуванням бурого вугілля будуть забезпечувати відкачку напірних підземних вод. Осушену ж верхню частину горизонтів запропоновано відпрацьовувати потужними драглайнами у комплексі з бункерами-перевантажувачами і стрічковими конвеєрами шляхом поділу уступів висотою 60 м на три підуступи 30, 15 і 15 м, відповідно [2].

При встановлених водоприпливах найбільш доцільним виймально-транспортним обладнанням прийняті два земснаряди типу 500-60 МН з продуктивність по твердому 500 м^3/год, а також рекомендовано застосування попереднього дренажного водовідливу (рис. 1).

На рис. 1 видно, що з глибиною розробки водоприпливи збільшуються і для безпечної роботи екскаваторів на верхніх горизонтах необхідно якомога швидше відкачати підземні води. Оскільки глибина розробки земснаряда за його характеристикою не перевищує 15 м, то в умовах Ново-Дмитрівського родовища 2 верхні підуступи ефективно відпрацьовувати драглайнами з верхнім і нижнім черпанням, а нижній при досягненні рівня підземних вод земсна-

рядами. При глибині родовища 380 м на кожні 60 м встановлюються перекачуючі станції з послідовним з'єднанням трубопроводів.

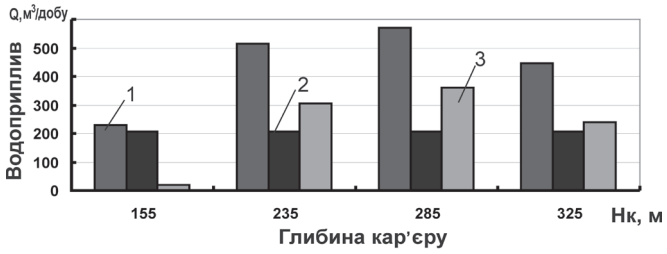


Рис. 1. Динаміка водоприпливів у виробки розкриття при відпрацюванні глибоких горизонтів: 1 – загальний водоприплив; 2 – відкачка води земснарядами; 3 – відкачка дренажним водовідливом

Одним із важливих питань, які слід розглянути при дослідженні організації роботи земснаряду, буде його переміщення в межах відпрацьовуємої частини підводного уступу. Саме від цього процесу залежить мобільність відпрацювання обводненої гірничої маси. На земснарядах, призначених для ведення гірничих робіт, переміщення у вибою найчастіше застосовується методом папілювання [3]. При цьому способі робоче переміщення ґрунтозабірного пристрою здійснюють за допомогою одного з двох робочих тросів по дузі окружності, центром якої є одна з паль, що заглиблена у дно виробки.

При дослідженні організації гірничотранспортних робіт встановлено, що величини водоприпливів дозволяють експлуатувати земснаряди без подачі оборотної води. Ширина проходу траншеї згідно його технічної характеристики складає 35 м. Кути укосів робочого і неробочого борту відповідно становлять 40 і 25° (рис. 2). Обрушення навісей здійснюється вмонтованими в конструкцію земснаряда малогабаритними гідромоніторами, які утворюють розмиви на висоту відпрацьовуємого шару, що складає 1,5–2 м.

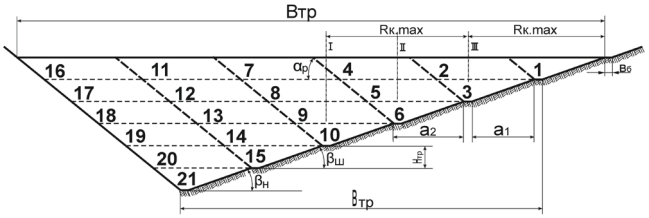


Рис. 2. Схема відпрацювання шарів бурого вугілля земснарядами на Ново-Дмитрівському родовищі: 1-21 – етапи поглиблення траншеї; $B_{тр}$ – ширина розрізної траншеї по поверхні, м; $R_{к.max}$ – максимальний радіус копання земснаряда, м; $\alpha_р$, $\beta_н$ – кути укосу робочого і неробочого бортів відповідно, град; $\beta_ш$ – кут нахилу відпрацьовуємого шару; $в_{тр}$ – ширина розрізної траншеї понизу; $H_{тр}$ – висота шару; $в_б$ – ширина берми безпеки

На рис. 2 представлений один із варіантів поглиблення розрізної траншеї за допомогою земснарядів, з якого видно по черговість відпрацювання шарів бурого вугілля. Порядок поглиблення значною мірою залежить від потужності водо припливів, а отже і швидкості наповнення виробок розкриття. При цьому глибина траншеї першої черги складає 5 м (таблиця). Погоризонтні об'єми виймання гірничої маси змінюються від 2,12 до 4,24 млн. м^3. Для транспортування гірничої маси на поверхню застосовуються металеві, полімерні та гумовотканинні пульпопроводи. Найбільш доцільним варіантом при добуванні м'яких корисних копалин буде їх комбінація в залежності від властивостей ділянки трубопроводу. При великій довжині пульпопроводу необхідно застосовувати труби великого діаметру з метою зниження продуктивності виймального обладнання.

Таблиця. Параметри проведення розрізних траншей земснарядами

Найменування	Показники
Глибина траншеї першої черги, м	5
Ширина неробочої площадки, м	1,7
Ширина траншеї першої черги, м: по низу поверхнею	1,7 21,7
Ширина траншеї загальна, м: по низу поверхнею	15 142
Площа поперечного перерізу траншеї, м^2: першої черги загальна	58,5 2355
Об'єм траншеї по горизонтам, млн. м^3 III ($L_{гор}$ = 1800 м) IV ($L_{гор}$ = 1500 м) V ($L_{гор}$ = 1200 м) VI ($L_{гор}$ = 900 м)	 4,24 3,53 2,83 2,12
Місячна продуктивність земснаряду 500-60 МН, тис. м^3	227
Термін проведення траншеї двома земснарядами 500-60 МН, міс.	7,6; 6,35; 5,1; 3,8
Темп поглиблення виробок розкриття, м/рік	43,4; 34,8; 25,7; 16,3

Важливо відмітити, що спосіб відробки обводнених м'яких корисних копалин за допомогою земснарядів застосовується без проведення в'їзної траншеї на горизонті, що розкривається. Проводити їх будуть драглайни в попередньо осушених ділянках родовища (рис. 3). Розпушена фрезою земснаряда гірнича маса разом з водою утворюють пульпу, що подається на поверхню і транспортується до однієї із спеціально відведених прилеглих балок [3]. Оскільки мінералізація підземних вод значно зростає з глибиною розробки, то в умовах Ново-Дмитрівського буровугільного родовища заздалегідь передбачено злив прісної та солоної води у відповідні водойми. Захист виробок розкриття від стічних вод здійснюється шляхом водовідвідної канави драглайном по контуру траншеї.

Наведені параметри розрізної траншеї дозволяють відпрацювати горизонт довжиною 1800 м за 7,6 міс., що свідчить про ефективність застосування двох потужних земснарядів.

На рис. 3 видно, що після відпрацювання виймальної західки, земснаряд повертається на кут до 180° для врізання у нову. При цьому габарити земснаряду дозволяють безперешкодно здійснити поворот на вказаний кут, оскільки ширина траншеї значно перевищує параметри виймальної машини. Ширина ніші для розвороту розраховується за формулою

$$l_н = l_{з.с.} + 2l_л + l_п + 2в_б, \quad (1)$$

де $l_{з.с.}$ – довжина корпусу земснаряда, м; $l_л$ – довжина ланки пульповода, м; $l_п$ – довжина понтона, м; $в_б$ – ширина берми безпеки.

Ширина ніші відповідно складе

$$в_н = в_{з.с.} + 2l_л + l_п + 2в_б, \quad (2)$$

де $в_{з.с.}$ – ширина корпусу земснаряда, м.

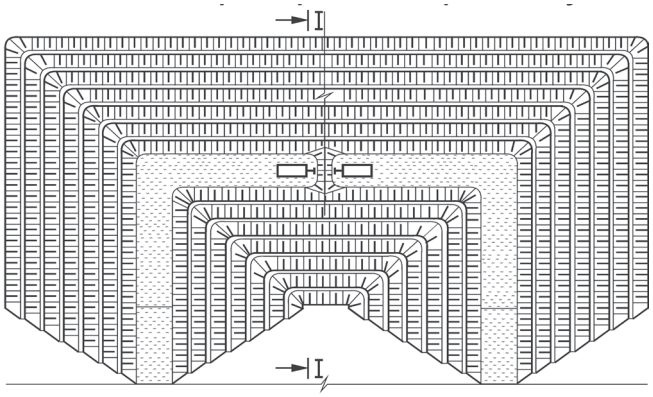


Рис. 3. План розкриття горизонту земснарядами 500-60 МН

Так, для вибраного типу земснаряду 500-60 МН параметри ніші становлять 58×28 м (рис. 4).

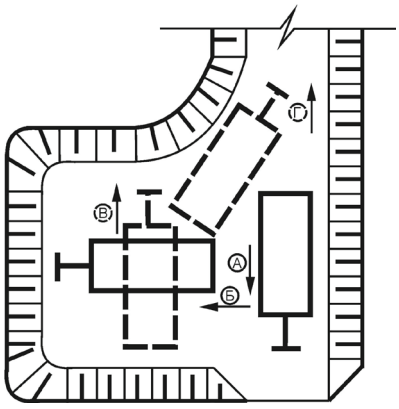


Рис. 4. Схема повороту земснаряда при відпрацюванні обводненого шару

На рис. 4 видно, до при досягненні торця виймальної західки, земснаряд з положення А повертається на кут 90°, після чого за допомогою піднімання відповідних паль розвертається ще на 90°. Таким чином відбувається його врізання у нову західку та відпрацювання чергового шару на всю довжину фронту гірничих робіт. Переміщення земснаряду після відробки підуступа організовується по схемі папілювання у нерухомих напрямних [4]. Шляхом піднімання однієї із паль земснаряд обертається навколо своєї осі, після чого виконується опускання палі в дно траншеї та їх закріплення. При цьому вода відкачується до необхідної потужності, а саме 5 м, після чого відбувається врізання фрези земснаряда у нову західку. Таким чином поступово відпрацьовуються шари корисної копалини по човниковій схемі. Переукладання папільонажних тросів виконується без припинення роботи земснаряда або при вимушеній зупинці. Нарощування напірного трубопроводу здійснюється по мірі відпрацювання відповідних підуступів. Після припинення процесу всмоктування гірничої маси та зменшенні тиску в трубопроводі, труби очищаються від гірничої маси, а наявність води регулюється перекриваючими клапанами. Спеціально заготовлені труби необхідної довжини нарощуються на раніш експлуатуємі за допомогою стикування патрубків.

Робота земснаряду і обслуговуючого флоту залежить від багатьох факторів, в тому числі від природно-виробничих умов, наявності й кваліфікації персоналу, рівня організації праці, вимог охорони природи, а у вирішальній мірі – від продуктивності земснаряду та рівня витрат на його експлуатацію. Як правило, утримання земснарядів потребує значних витрат. Тому розрахунок витрат на їх експлуатацію є одним із ключових елементів роботи й визначення ефективності різних видів земснарядів.

Для розрахунку собівартості видобутку 1 м^3 гірничої маси необхідно врахувати калькуляцію прямих експлуатаційних витрат. При цьому загальна складова витрат $З$ грн./рік буде мати вид

$$\sum З = (З_{з.п.} + А + З_{п.е.} + З_{с.м.} + З_р)N_р, \quad (3)$$

де $З_{з.п.}$ – витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу з нарахуваннями, грн./рік; $А$ – амортизаційні відрахування на експлуатацію земснаряда, грн./рік; $З_{п.е.}$ – витрати на паливо та електроенергію, грн./рік; $З_{с.м.}$ – витрати на сировину та матеріали, грн./рік; $З_р$ – витрати на ремонт земснаряда, грн./рік; $N_р$ – число робочих днів на протязі року, од; $N_р = 254$.

Витрати на заробітну плату встановлювались згідно посадових окладів з урахуванням всіх видів доплат. Оскільки чисельність працюючих складається із 8 чоловік, то їх сумарна заробітна плата складе 27500 грн./міс., або 330000 грн./рік. Амортизація на експлуатацію земснаряду розраховувалась згідно ціни за 1 т гірничого обладнання, що складає 10000$ або 80000 грн. [5]. Враховуючи відсоток річної амортизації вираз набуде вигляду

$$А = Ц_{з.с.} \cdot 0{,}14, \quad (4)$$

де $Ц_{з.с.}$ – номінальна вартість земснаряда, млн. грн.

$$Ц_{з.с.} = m_{з.с.} \cdot Ц_т, \quad (5)$$

де $m_{з.с.}$ – маса земснаряда, $m_{з.с}$ = 510 т; $Ц_т$ – ціна однієї тони обладнання, $Ц_т$ = 80000 грн.

Витрати на електроенергію розраховувались наступним чином

$$З_{п.е.} = К_в \cdot N \cdot Ц_{квт} \cdot N_р, \quad (6)$$

де $К_в$ – коефіцієнт використання земснаряду у часі, $К_в$ = 0,6; N – встановлена потужність двигунів, N = 3450 кВт; $Ц_{квт}$ – вартість 1 кіловатгодини електроенергії, $Ц_{квт}$ = 0,48 коп./кВт·год.

Слід відзначити, що витрати на сировину і матеріали розраховуються у відсотковому співвідношенні від витрат на електроенергію і складають

$$З_{с.м} = З_{п.е.} \cdot 10\% \quad (7)$$

Вартість витрат на ремонтні роботи визначається на основі встановлених норм в натуральних показниках і дійсних цінах. При цьому загальні сумарні витрати на експлуатацію земснаряда протягом року становлять

$$\sum З = 0{,}23 + 3{,}97 + 6{,}06 + 0{,}6 + 0{,}89 = 11{,}75 \text{ млн. грн./рік.}$$

Оскільки продуктивність земснаряду по видобутку твердого компоненту складає 3,09 млн. м^3/рік, то

собівартість розробки 1 м³ гірничої маси має вид

$$C_{г.м} = \frac{\sum З}{Q_{з.с.}} = \frac{11,75}{3,09} = 3,8 \text{ грн./м}^3. \quad (8)$$

Висновки

Дослідження організації роботи земснарядів в умовах глибоких буровугільних кар'єрів доказали можливість їх використання у комплексі з гідромоніторами без подачі оборотної води. Особливістю врізання земснаряду у нову західку є поворот його корпусу на 180°, що підвищує ефективність його експлуатації. При досягненні дна кар'єру земснаряди залишаються для відпрацювання нижнього шару бурого вугілля, а також виконує процес осушення розрізної траншеї для безпечної роботи потужних драглайнів на верхніх горизонтах. Застосування земснарядів для відробки м'якої гірничої маси дозволяє не тільки поєднати процеси виймання і транспортування, а й досягти високих виробничих показників гірничих підприємств. Саме від роботи земснарядів у підводній частині розрізної траншеї залежить швидкість переміщення лінії депресії, що в свою чергу впливає на зменшення часу при розкритті продуктивних горизонтів.

Бібліографічний список

1. Пат. 100419 Україна МПК (2006.01) E 21 C 41/26 Спосіб розробки обводнених м'яких корисних копалин / А.Ю. Дриженко, Н.А. Нікіфорова, О.О. Шустов; заявл. 20.12.10; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.

2. Пат. 92548 Україна МПК (2006.01) E 21 C 41/26 Спосіб відкритої розробки родовищ м'яких порід: / А.Ю. Дриженко, В.І. Симоненко, О.О. Шустов, К.В. Литвиненко та ін.; заявл. 25.03.09; опубл. 10.11.10, Бюл. № 21.

3. Шкундин Б.М. Машины для гидромеханизации земляных работ. – М.: Стройиздат, 1982. – 184 с.

4. Бондаренко А.А. Горные машины для подводных горных работ: учеб. пособие. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – 90 с.

5. Нормы технологического проектирования угольных и сланцевых разрезов. – М.: Минуглепром СССР, 1986. – 126 с.

Поступила 04.07.2013

◆



УДК 625.1:625.1.03:622.6:539.3:539.4

Наука

Говоруха В.В. /к.т.н./
ИГТМ НАНУ

Динамические процессы взаимодействия большегрузных рельсовых транспортеров и путевой структуры наклонных подъемников автомобилей

Приведены результаты теоретических исследований динамических процессов взаимодействия большегрузных рельсовых транспортеров и путевой структуры наклонных подъемников автомобилей. Определены закономерности изменения показателей нагруженности, устойчивости и безопасности движения рельсовых транспортеров с большегрузными автосамосвалами по крутонаклонному рельсовому пути глубоких карьеров. Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 1 назв.

Ключевые слова: *наклонный подъемник автомобилей, рельсовый транспортер, путевая структура, глубокие карьеры, нагруженность, устойчивость и безопасность движения*

Theoretical findings on dynamic processes of interdependencies between rails and skip in the inclined lifting system for the dump trucks are presented. Conformities to law are defined for varying indices of traffic stressed loading, stability and safety of rail lifting system for heavy-load dump trucks which moves on the incline rail way in the deep opencast mines.

Keywords: *incline lifting system for the dump trucks; rail lift; rail way structure; deep opencast mines; traffic stressed loading, stability and safety*

Постановка задачи и ее связь с научными и практическими проблемами

Одной из главных проблем мировой экономики является обеспечение ее сырьевыми ресурсами, в которых имеется существенная потребность. Эта проблема усложняется тем, что добыча полезных ископаемых будет производиться на глубоких горизонтах карьеров, рудников и шахт. В ближайшее время глубина карьеров достигнет 600–700 м, а добыча подземным способом 1500–2000 м. При открытой разработке кроме увеличения глубины карьеров будут увеличены углы откосов бортов с 36 до 60–70° [1].

Доля транспортирования горных пород в общей стоимости разработки месторождения составляет

© Говоруха В.В., 2013 г.

40–50 %, поэтому применение новых и совершенствование существующих транспортных систем и технологий является актуальной задачей как для глубоких карьеров Украины, так и для месторождений других стран.

При добыче на глубоких горизонтах карьеров применяется железнодорожный, конвейерный, автомобильный и комбинированный виды транспорта, которые имеют определенные области применения с учетом эффективных и малоэффективных общих показателей. При этом автомобильный транспорт имеет определенные преимущества перед конвейерным и др. видами транспорта, такие как возможность транспортирования крупногабаритных кусков горной массы, высокая маневренность, сохранение работоспособности транспортных потоков при замене и ремонтах части автомобилей и др.

По ряду технологических проблем невозможно опустить рельсовые пути железнодорожного транспорта и перегрузочные пункты на более глубокие горизонты (более 150 м). Поэтому уже увеличивается высота подъема автомобильного транспорта до 200–350 м на карьерах Кривбасса, достигших глубины 400 м и в будущем увеличится до 700 м и более.

Применение большегрузных автосамосвалов на глубоких горизонтах карьеров привело к определенным негативным результатам: повышение удельного расхода дизтоплива на тонну горной массы (106 г/т·км) в связи с увеличением дальности автоперевозок и времени рейса при углублении карьеров; существенное перераспределение энергетических затрат на дорогое дизтопливо вместо менее дорогой электрической энергии (конвейерный транспорт); увеличение мощности дизельных двигателей привело к росту загрязнения атмосферы карьеров; создание постоянных автодорог большой ширины приводит к увеличению капитальных затрат и неоправданной консервацией запасов руд. При подземной разработке глубоких горизонтов применение скиповых подъемников приведет к большому количеству перегрузок и значительному удорожанию добычи ископаемых.

В связи с изложенным появилась необходимость решения важных научных и практических задач поиска и применения новых эффективных и экономически безопасных технологий и технических средств для транспортировки горной массы из глубоких горизонтов. Поэтому перспективным является применение комбинированного транспорта с использованием автосамосвалов и наклонных подъемников автомобилей.

Анализ последних достижений и публикаций

Известен ряд трудов по созданию, развитию и эксплуатации различных видов карьерного транспорта, выполненных М.В. Васильевым, Б.Ф. Фадеевым, В.С. Хохряковым, В.В. Ржевским, В.С. Коноваловым, Т.В. Короткиным, Б.А. Евдокимовым, Ю.И. Мелентьевым, Ю.Л. Бадальянцем, В.И. Белобровым, Ф. Абрамовским, В.И. Самусей, С.Р. Ильиным, В.Г. Селяниным и др., в работах которых представлены технология и комплексная механизация открытых горных работ, где предпочтение отдавалось отдельным видам горного транспорта.

В известных работах не рассматривались проблемы создания и внедрения рельсовых наклонных подъемников автомобилей с использованием большегрузных автосамосвалов, многоосных рельсовых транспортеров, двухпутевых рельсовых направляющих и канатных подъемников. Не рассматривалась механика взаимодействия такой сложной транспортной системы для подъема большегрузных крупногабаритных автосамосвалов, не исследовались динамические процессы нагруженности, колебаний и устойчивости, а также не разрабатывались исходные технические требования для создания новых технологий и средств транспортирования горной массы.

Цель работы - определить основные показатели механики процессов движения наклонных подъемников автомобилей по путевой структуре, расположенной по борту карьера с углом наклона к горизонту 35–70° и более.

Изложение основного материала и результаты

ИГТМ НАНУ выполнен анализ применения различных видов транспорта на глубоких карьерах. Рекомендуется создание новых технических средств и прогрессивной технологии комбинированной транспортной системы, включающей специальные наклонные подъемники автомобилей, обеспечивающие спаренный циклический подъем и опускание груженных и разгруженных автосамосвалов между нижними горизонтами карьеров и поверхностью. Транспортная система эффективна, если полный транспортный цикл рейса автосамосвала с использованием рельсовых наклонных автомобильных подъемников будет меньше, чем время рейса автосамосвала от нижних горизонтов до места разгрузки и обратно.

На рис. 1 приведен график изменения величины сокращения времени транспортного цикла от глубины карьера.

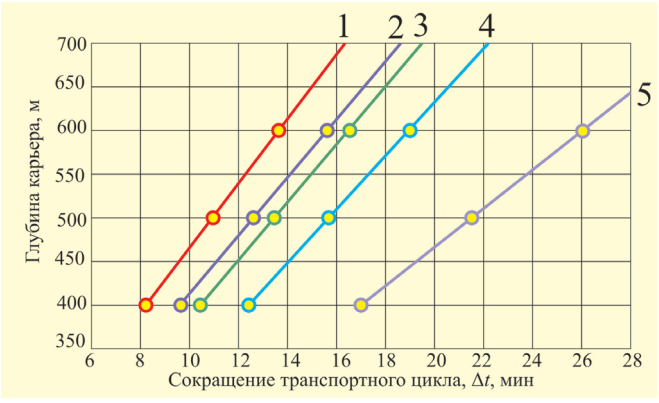


Рис 1. Зависимость сокращения времени транспортного цикла автосамосвала от глубины карьера, м/с: 1 – ϑ = 2; 2 – ϑ = 3; 3 – ϑ = 5; 4 – ϑ = 10; 5 – ϑ = 20

При планируемой скорости движения транспортеров подъемников автомобилей 2,0–20,0 м/с и высоте подъема 300–700 м происходит существенное сокращение времени рейса и количества дорогостоящих автосамосвалов, уменьшается удельный расход дизтоплива и выделение токсических газов, переме-

щается центр энергозатрат в сторону отечественной электроэнергетики, вместо дорогостоящего импортируемого дизтоплива, что обеспечивает значительные преимущества прогрессивной технологии с новой транспортной системой [1].

Исследование динамического процесса взаимодействия большегрузных рельсовых транспортеров и двухпутевой структуры наклонных подъемников автомобилей выполнялось в соответствии с кинематической схемой, показанной на рис. 2. При этом транспортная система включает большегрузные автосамосвалы (1); специальный рельсовый транспортер (2) с грузонесущей платформой и колесными ходовыми тележками; подъемная машина (3); система тяговых канатов (4); путевая рельсовая структура (5); галерея (6).

В исследованиях использованы основные составные части и узлы механической системы в виде твердых тел, соединенных между собой шарнирами, а также упруго-диссипативными или жесткими связями, расположенными в вертикальном, продольном или поперечном направлениях относительно оси движения транспортера.

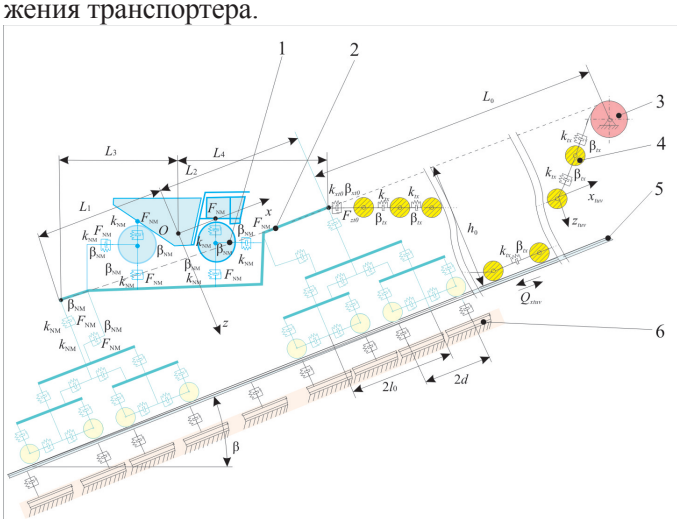


Рис. 2. Кинематическая схема наклонного подъемника с большегрузным автосамосвалом

Динамическая составляющая силы от действия тяговых устройств подъемной машины на канаты определены согласно выражения

$$Q = N_K e^{-\omega_1 t} \cdot \sin\frac{\omega_2 t}{2\pi}, \qquad (1)$$

где t - текущее время; ω_1, ω_2 - заданные частоты; N_K - амплитуда динамической составляющей натяжения тяговых канатов.

Для составления системы уравнений движения исследуемой комбинированной транспортной системы использовано уравнение Лагранжа второго рода, которое представлено в общем виде выражением

$$D_\nu + \Pi_\nu + \Phi_\nu = Q_\nu, \quad (\nu = 1, 2, ..., N), \qquad (2)$$

где D_ν, Π_ν, Φ_ν – дифференциальные операторы, соответствующие уравнениям Лагранжа второго рода

$$D_\nu = \frac{d}{dt}\cdot\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_\nu};\ \Pi_\nu = \frac{\partial \Pi}{\partial q_\nu};\ \Phi_\nu = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_\nu}, \qquad (3)$$

где T, Π, Φ – соответственно, кинетическая, потенциальная энергия и функция рассеяния системы; Q_ν, q_ν – обобщенные силы, не имеющие потенциала, и обобщенные координаты; N – число степеней свободы.

В общем виде дифференциальные операторы (2, 3) представлены в виде

$$D_\nu = f(m, I, q_\nu, \ddot{q}_\nu),\ \Pi_\nu = f_1(k, q_\nu, \Pi_h(q_\nu)),\ \Phi_\nu = f(\ , \dot{q}_\nu)$$
$$\Phi_\nu = f_2(\beta, \dot{q}_\nu) + f_3(F, \dot{q}_\nu), \qquad (4)$$

где m, I – инерционные характеристики (массы и моменты) твердых тел системы; k, β – коэффициенты жесткости упругих и вязкости диссипативных элементов транспортной системы, F – силы сухого трения в связях между твердыми телами; $\Pi_h(q_\nu)$ – составляющая потенциальной энергии, обусловленная изменением высоты центров тяжести твердых тел при перемещениях q_ν.

Обобщенные силы, приложенные к транспортной системе, обусловлены действием сил тяжести составных частей, сил и моментов от тяговых канатов, а также сил взаимодействия между колесом и рельсом, канатом и поддерживающими роликами в вертикальном, поперечном и продольном направлениях. Возмущения обусловлены действием сил в тяговых канатах, пространственными неровностями рельсовых нитей, зазорами между головками рельсов и гребнями колес и другими частями транспортной системы.

Для анализа динамических процессов взаимодействия большегрузных рельсовых транспортеров и путевой структуры наклонных автомобильных подъемников использованы автосамосвалы типа БелАз, Kamatsu или Katerpillar общей массой с грузом 220 т, рельсовый транспортер с грузом общей массой 422 т, скорость движения транспортера до 5 м/с при разгоне и замедлении с ускорением 0- ± 1,75 м/с^2, угол наклона трассы к горизонту – 40°.

В результате исследований установлено, что собственные колебания рельсового транспортера с автосамосвалом характеризуются в общем случае периодическими перемещениями тел (составных частей) относительно состояний, обусловленных стационарным его движением при постоянной скорости, или квазистационарными движениями при разгоне и торможении.

При равнопеременном и равномерном движении рельсового транспортера наблюдаются периодические продольные колебания грузонесущей платформы с автосамосвалом с частотой 2 Гц. Вследствие упруго-диссипативных свойств канатов и упругих демпферов они быстро затухают. Наибольшие перемещения транспортера соответствуют режиму ускоренного движения, которые уменьшаются при равномерном и замедленном движении. После прохождения переходного процесса устанавливаются также колебания бокового относа, боковой качки и виляния

Таблица. Максимальные значения (кН) нагруженности транспортной системы

Плоскость перпендикулярная рельсовому пути				Плоскость поперечная рельсовому пути			
Условное обозначение показателя	А	Б	В	Условное обозначение показателя	А	Б	В
QZ_{oinjm}	160	160	154	Q_{yinjm}	37,6	49,8	53,0
*SZ*2	274	276	258	Q_{yoinjm}	38,2	50,2	49,9
*SZ*3	519	480	459	SY1	41,8	42,1	40,0
*SZ*4	1046	950	732	SY2	37,2	56,8	54,9
*SZ*5	1025	931	715	SY3	17,6	56,9	54,5
SZO	101	103	93	SY4	19,8	30,5	29,8
FZ	72	72	62	SY5	35,9	43,3	28,7
				FY0	6,73	7,87	9,29
				FY	4,16	7,39	9,77

Примечание: А–а = +1,5 м/с²; Б–а = 0, $\vartheta = 5$ м/с; В–а = 0, $\vartheta = 5$ м/с

транспортера. Их частоты соответствуют 0,167 Гц при боковом относе, 2,0 Гц при подпрыгивании, 1,3 Гц при галопировании и вилянии, 1,2 Гц – при боковой качке транспортера и галопировании автосамосвала.

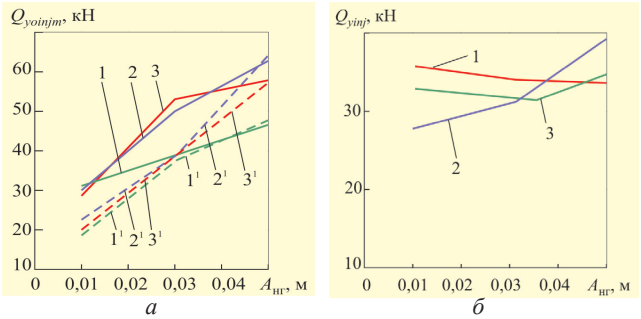
Анализ полученных результатов показывает, что движение рельсового транспортера с автосамосвалом может быть устойчивым и неустойчивым. Устойчивость транспортной системы определяется основными параметрами и характеристиками всей транспортной системы и составных ее частей, включая состояние рельсового пути и величины пространственных неровностей, относительные параметрами транспортера и рельсового пути.

Определены условия устойчивого движения исследуемой транспортной системы. При этом наибольший уровень нагруженности колес и рельсового пути в направлении, перпендикулярном к плоскости рельсового пути соответствует 147 и 148 кН для режима разгона и установившегося движения транспортера с автосамосвалом и 141 кН для режима движения с замедлением до остановки. Аналогичные результаты получены для нагруженности рельсов (QZ_{oinjm}) рессор центрального подвешивания (SZ2), опорных элементов сопряжения несущей платформы с соединительными рамами тележек (SZ3), колес автосамосвала (SZ4), рессор автосамосвала (SZ5), узла крепления каната и клети (SZ0), элементов каната (FZ). Максимальные значения перечисленных величин в режимах разгона (а = +1,75 м/с²) движения с постоянной скоростью (а = 0; $\vartheta = 5$ м/с) и замедленного движения (а = –1,75 м/с) приведены в таблице.

В таблице приведены также результаты исследования нагруженности системы в поперечной плоскости рельсового пути, где даны максимальные значения показателей для колес (Q_{yinjm}), рельсовых нитей (Q_{yoinjm}), колесных пар (Q_{yinj}), элементов сопряжения осей колесных пар с буксами (SY1), упругих элементов центрального подвешивания (SY2), опорных элементов сопряжения несущей платформы с соединительными рамами тележек (SY3), колес и рессор автосамосвала (SY4) и (SY5), узла крепления каната и клети (FSY0), элементов каната (FY) в режимах разгона (а = +1,75 м/с²), режима с постоянной скоростью (а = 0, $\vartheta = 5$ м/с) и замедленного движения (а = –1,75 м/с²).

Получено, что хорошая устойчивость движения транспортной системы с рациональными параметрами обеспечивается по условиям вкатывания колес на рельсы ($k_{BK\min} = 2{,}79$) и условий сдвига рельсошпальной решетки $k_{СД\max} = 0{,}13$, что значительно больше нормативных допустимых значений $k_{BK} \geq 1{,}5$, а $k_{СД} \leq 0{,}4$.

Некоторые результаты исследования нагруженности основного варианта транспортной системы в продольном, поперечном, перпендикулярном направлениях относительно плоскости пути при наличии поперечных неровностей рельсовых нитей приведены на рис. 3, 4. Из этих графиков видно, что изменение глубины горизонтальных неровностей оказывают значительное влияние на показатели нагруженности в продольном и поперечном направлениях.



а *б*

Рис. 3. Зависимости значений поперечных сил между колесами и рельсом (а) и между рельсом и основанием (б) от глубины поперечных неровностей; 1 (1′); 2 (2′); 3 (3′) ускорение, равномерное движение и торможение, соответственно

При больших глубинах поперечных неровностей возникает значительное увеличение риска потери устойчивости системы. Если при небольших глубинах неровностей ($A'_{нг} = 0{,}01$ м и $l'_{нг} = 10{,}0$ м) коэффициенты безопасности равны $k_{BK} = 4{,}52$–$5{,}0$, то при увеличении глубины неровностей ($A'_{нг} = 0{,}05$ м), $k_{BK} = 2{,}41$–$2{,}87$. Показатели приближаются к предельным значениям $k_{BK} \geq 1{,}5$.

На нагруженность между колесами автосамосвала и грузовой платформой в продольном и перпендикулярном направлениях плоскости рельсового пути (рис. 3*а, б*) влияние величины поперечных неровностей не существенно. Однако интенсивность увеличения нагрузок в поперечной плоскости пути может привести к потере устойчивости автосамосвала.

В процессе исследований динамических процессов движения транспортной системы установлена зона устойчивости, которая формируется влиянием активных сил взаимодействия автосамосвала, транспортера и рельсового пути при различных конструктивных параметрах составных частей подъемника. Через эту зону устойчивости должны проходить все векторы силовой нагруженности всех частей транспортной системы, а инерционные и частотные харак-

теристики колебаний должны находиться в пределах допустимых значений.

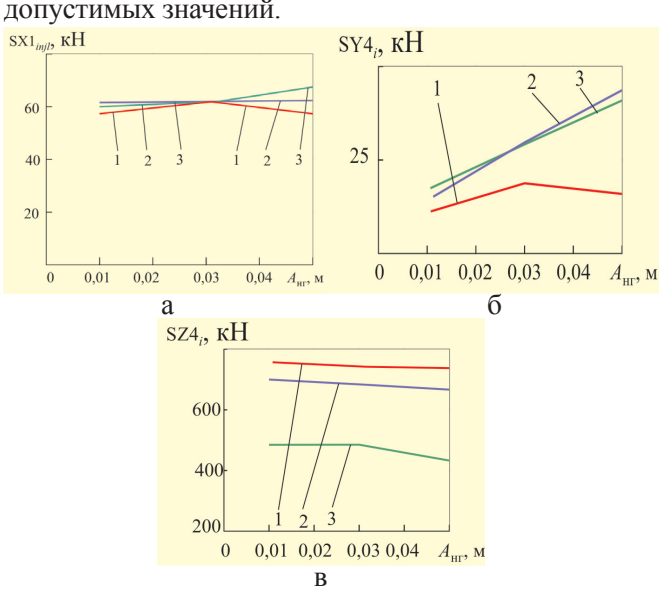


Рис. 4. Зависимости значений продольных (а) поперечных (б) и перпендикулярных (в) к плоскости пути сил между колесами автосамосвала и грузонесущей платформой; 1, 2, 3 – ускоренное, равномерное движение и торможение, соответственно

Выводы

1. При добыче полезных ископаемых на глубоких горизонтах карьеров и рудников с использованием автосамосвалов рационально применение транспортной системы наклонных подъемников автомобилей.

2. Из условий нагруженности рельсового пути и узлов сопряжения частей транспортной системы наибольшее влияние на показатели работы наклонных подъемников автомобилей оказывают глубина и длина поперечных неровностей рельсовых нитей.

3. Наиболее устойчивой в рабочих режимах движения является транспортная система карьерных наклонных подъемников автомобилей, в которой все векторы активных нагрузок проходят через зону (ядро) устойчивости, свойственной для рациональных конструктивных параметров, а инерционные и частотные характеристики колебаний находятся в пределах допустимых значений.

Библиографический список

1. Области применения на глубоких карьерах комбинированной рельсовой транспортной системы наклонных автомобильных подъемников / А.Ф. Булат, М.С. Четверик, В.В. Говоруха // Зб. наук. пр. за результатами роботи II Міжнар. науково-технічної конф.; 21–22 грудня 2012 р. – Кривий Ріг, 2012. – С. 95–97.

Поступила 26.06.2013

◆

УДК 622. 233:551.49

Наука

Судаков А.К. /к.т.н./
ГВУЗ «НГУ»

Результаты исследования физико-механических свойств криогенно-гравийного композита

Представлены результаты производственных испытаний технологии оборудования гидрогеологической скважины криогенно–гравийным фильтром. Определена экономическая эффективность испытанной технологии. Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: *производственные испытания, гидрогеологическая скважина, криогенная технология, криогенно–гравийный фильтр, минераловяжущий материал*

The results of productive tests of technology of hydrogeological well equipping of cryogenic-gravel filter are presented. Economic efficiency of the tested technology is certain.

Keywords: *productive tests, hydrogeological well, cryogenic technology, cryogenic - gravel filter, mineral - astringent material*

Актуальность и состояние проблемы

Блочными гравийными фильтрами оборудуются при раскрытии напорные водоносные горизонты глубоких скважин с небольшим конечным диаметром. Основная идея создания фильтров этой конструкции заключается в том, чтобы не проводить операций по подбору фильтров и обсыпки, а устанавливать их в готовом виде. Гравийные фильтры блочного типа могут быть двух видов: монолитные и пустотелые. Для связи гравийных частиц в блоки применяются разные вяжущие вещества: клей резиновый, силикатный, БФ-2, БФ-4, бакелитовый лак марки А, битум, цемент, эпоксидная смола и другие вещества [1]. Однако, фильтры блочного типа работают неудовлетворительно [2].

1. Введение вяжущих веществ в гравий при их отверждении приводит к образованию тупиковых пор.

2. Скважины, оборудованные фильтрами блочного типа, по сравнению со скважинами, оборудован-

© Судаков А.К., 2013 г.

ными фильтрами с рыхлой гравийной обсыпкой, менее производительные и менее стойкие к процессам химической агрессии и механического кольматажа.

3. Фильтры блочного типа при возобновлении производительности скважин после их ремонта резко снижают механическую прочность блоков, что приводит к их разрушению с образованием зияющих пустот.

4. Значительные повреждения при перевозках и транспортировке по стволу скважин. В некоторых организациях бой фильтров достигал 40-60 %. При установке фильтров в зимнее время наблюдались повреждения блоков вследствие замерзания и расширения воды в порах.

Все это значительно снижает целесообразность использования фильтров блочной конструкции для оборудования водоприемной части буровой скважины.

К новым технологическим процессам изготовления гравийных фильтров на дневной поверхности могут быть отнесены методы, основанные на использовании эффекта двухфазного инверсного перехода агрегатного состояния минераловяжущего вещества.

В основу работы положена идея создания технологии изготовления элемента гравийного фильтра блочной конструкции, с соединением гравийного материала в монолит минераловяжущим веществом на водной основе по криогенной технологии, с последующей установкой фильтра в скважине и переходом гравийного материала из монолитного состояния в рыхлое в связи с приобретением минераловяжущим веществом, под воздействием положительных температур пластовых вод, реологических свойств воды [3].

Целью статьи является рассмотрение технологии изготовления криогенно-гравийного композита (КГК) фильтра с применением эффекта двухфазного инверсного перехода агрегатного состояния минераловяжущего вещества. Поэтому основным было исследование механических свойств, реологических характеристик образцов КГК из которого изготовлен криогенно-гравийный фильтр (КГФ).

Исследования проводились в два этапа.

1. На первом этапе определялась механические свойства образцов КГК, в состав которых входили вода и гравий. При этом влажность КГК составляла 100 %. Композит каждой фракции испытывался в насыпном и уплотнённом виде. Цель первого этапа исследований - определение зависимости прочностных характеристик КГК от времени замораживания, фракции гравия и его плотности.

2. На втором этапе определялась механические свойства образцов КГК, в состав которых входил гравий и в качестве вяжущего водный раствор желатина. Цель второго этапа исследований - определение прочностных характеристик КГК от времени растепления в различных средах и массовой концентрации желатина в нем.

При испытании образцов КГК придерживались ГОСТа 211530-75.

На первом этапе исследований каждый образец КГК замораживался в течение 1, 2 и 3 суток при температуре -20 °С и грансоставах, в мм: 0,5-0,75; 1,0-2,0; 2,0-3,0; 3,0-5,0. В каждой серии образцы КГК исследовались не менее пяти раз. На рис. 1 представлены усредненные результаты исследований прочности образцов КГК. Исследования проводились при 100 % влажности образцов и плотности не уплотненных образцов КГК - 1790 кг/м^3, уплотненных - 1825 кг/м^3.

Как видно рис. 1, замораживание образцов КГК в морозильной камере при температуре -20 °С осуществлялась до трех суток. Более интенсивное увеличение прочности образцов наблюдалось при замораживании их в течение первых суток. В зависимости от грансостава образцов предел прочности на одноосное сжатие по окончание первых суток находится в пределах от 7,5 до 13 МПа. При увеличении времени термической обработки образцов до трех суток предел прочности на одноосное сжатие незначительно увеличивается, и находится в переделах от 10 до 17,6 МПа. Причем, как в первом, так и во втором случае наибольшую прочность имеют образцы с меньшим грансоставом. Это объясняется тем, что образцы, которые сложены из меньших частиц, имеют большую общую поверхность. Эта поверхность и воспринимает действие нагрузки. А поскольку эта поверхность больше, чем у образцов с крупными частицами, то и прочность их больше.

При исследовании неуплотнённых образцов предел прочности, независимо от грансостава гравия в образцах, был практически одинаков. Исключением являются образцы с грансоставом от 3 до 5 мм. Это можно объяснить увеличенным поровым пространством.

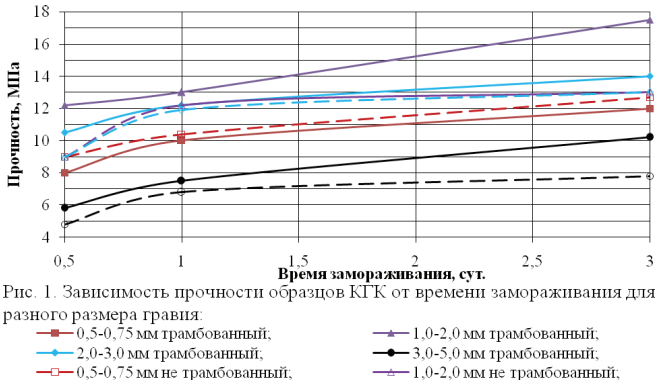


Рис. 1. Зависимость прочности образцов КГК от времени замораживания для разного размера гравия:

Согласно разрабатываемой технологии и специфики изготовления блочных фильтров было принято: дальнейшие исследования проводить с гравием крупностью от 0,5 до 2,5 мм; при формовании КГК не уплотнять.

В соответствии с технологией применения КГФ блоки гравийного композита должны в омоноличенном состоянии находиться на поверхности только при сборке фильтра, которая длится до 30 мин, а затем в водной среде при его транспортировке по стволу скважины. Поэтому исследованиями второго этапа планировалось установление зависимости прочностных характеристик КГК от времени растепления в различных средах и массовых концентрациях желатина.

Данный вид исследований проводился на образцах, в состав которых вошли следующие компоненты: вода, гравий, желатин. Сначала готовился 1-5 % водный раствор желатина, который перемешивался с гравийным материалом. Конечная влажность КГК составила 5 и 10 %. Крупность частиц гравия была выбрана 0,5-0,75 мм. В виду незначительного прироста прочностных свойств по истечению трех суток (рис. 1) образцы замораживались в течение 24 ч.

В ходе проведения исследований был установлен предел прочности на одноосное сжатие от времени нахождения в воздушной среде и концентрации вяжущего. Предел прочности образцов КГК при выдержки в воздушной среде при температуре 20 °С изменяется равномерно, независимо от концентрации желатина в композите. При этом происходил интенсивный теплообмен между КГК и окружающей средой. Вследствие повышения температуры композита происходило его таяние с изменением прочностных характеристик. Этот процесс тем интенсивнее происходил, чем больше перепад температур между композитом и окружающей средой. В результате тепловой обработки в течение 20 минут прочность образцов снизилась на порядок и составила, в зависимости от концентрации желатина, от 0,2 до 0,6 МПа.

Так как образцы с 5 и 10 % влажностью в разломе более монолитную текстуру имели в нижней части, то в ходе исследований было высказано предположение о влиянии на прочностные свойства КГК влажности. Для проверки предположения была приготовлена партия образцов КГК с 5, 10 и 100 % влажностью и массовой концентрацией желатина 2 и 5 %. Как и в предыдущем случае, образцы КГК замораживались 24 ч. Результаты исследования их механических свойств представлены на рис. 2.

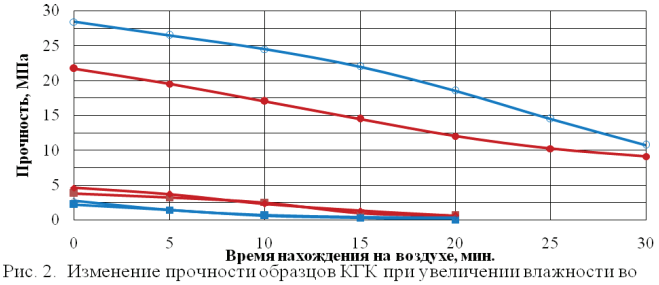


Рис. 2. Изменение прочности образцов КГК при увеличении влажности во времени

На рис. 2 видно, что повышение влажности КГК до 100 % приводит к значительному увеличению прочностных характеристик образцов. Прирост прочностных свойств в начальный период времени составил в 5 раз для 2 % и в 9 раз для 5 %. После тепловой обработке в течение 15 мин разница в прочностных характеристиках исследуемых образцов составила 15-25 раз.

Кроме того, увеличение влажности позволило существенно повысить «срок жизни» образцов КГК. Так, после 30 мин тепловой обработки в воздушной среде предел прочности составил 9,1 МПа у 2 % и 10,7 МПа у 5 % образцов.

Важнейшей задачей второго этапа являлось установление закономерности изменения прочностных свойств КГК от массовой концентрации желатина в КГК, окружающей среды и ее температуры, и времени воздействия на КГК.

Как и при проведении предшествующих исследований, замораживание КГК осуществлялось при температуре -20 °С на протяжении 1, 2 и 3 суток при массовых концентрациях желатина в водном растворе 2, 5, 10 и 15 %.

Растепление образцов КГК в воздушной среде осуществлялось на протяжении 30 мин при комнатной температуре, которая на момент исследований составляла 20-22 °С. Этим моделировали время, которое затрачивается на сборку КГФ в условиях буровой.

В процессе исследований было установлено, что с увеличением гранулометрического состава КГК от 0,5-0,75 до 1,0-2,5, а также времени выдержки образцов в воздушной среде по сравнению с начальным происходит снижение прочностных характеристик образцов КГК. В первом случае, в начальный период времени это снижение происходит в 2-3 раза. Во втором в 2-10 раз и более. Причем более существенное снижение прочностных характеристик присуще образцам замораживаемых в морозильной камере более 1 суток. Так предел прочности на одноосное сжатие у 2 % образцов КГК снизился в 10 раз, у 5 % в 4 раза, у 10 % в 4 раза и у 15 % - 8 раз.

Растепление образцов КГК в водной среде так же осуществлялось на протяжении 30 мин, но при температурах приближенных к скважинным условиям. Из практики ведения буровых работ, оборудования, эксплуатации и ремонта гидрогеологических скважин на территории Украины известно, что температура пластовых вод в зависимости от региона и сезона колеблется от +5 до +24 °С. С точки зрения удобства поддержания постоянных температур нами было принято, что растепление образцов КГК при определении предела прочности на одноосное сжатие будет проводиться при температурах +5 и +17 °С.

Определение предела прочности образцов КГК осуществлялось через равные промежутки времени. Результаты определения заносились в журнал наблюдений. Было установлено, что с увеличением массовой концентрации желатина в водном растворе до 15 % происходит повышение прочностных характеристик образцов КГК в 1,5-2,0 раза и в момент разрушения составляло 1,0-1,5 МПа. Повышение температуры воды до +17 °С приводит к их снижению на 20 % в начальный период и на порядок после 30 мин выдержки. Увеличение времени заморозки до 3 суток существенного прироста прочностных характеристик не дает. А в большинстве случаев, в конечном счете, приводит к отрицательному результату.

Кроме того, проф. А.А. Кожевниковым высказывалось предположение о влиянии грансостава исходного сырья – желатина, на прочностные характеристики образцов КГК. В качестве базы сравнения были взяты результаты образцов с 2 и 5 % массовой

концентрацией желатина при 100 % их влажности. Результаты приведены на рис. 3.

Как видно на рис. 3, разница в полученных значениях не превышает 10 %. Усложняется процесс перемешивания желатина с водной средой. Это объясняется увеличением удельной поверхности сырья. Время растворения желатина несколько снизилось.

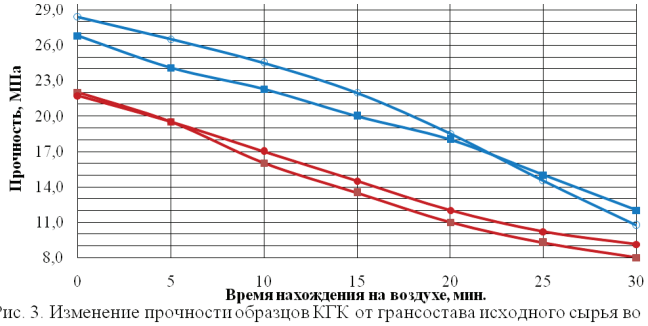


Рис. 3. Изменение прочности образцов КГК от грансостава исходного сырья во времени:

Выводы

По результатам исследования физико-механических свойств КГК можно сказать, что:

- более интенсивное увеличение прочности образцов наблюдается при замораживании их в течение первых суток;

- при увеличении времени термической обработки образцов до трех суток предел прочности на одноосное сжатие незначительно увеличивается;

- наибольшую прочность имеют образцы грансостава 0,5-0,75 мм;

- уплотнение образцов при замораживании приводит к незначительному повышению предела прочности;

- увеличение влажности до 100 % в десятки раз повышают прочностные свойства КГК, а, следовательно, это приводит к существенному увеличению их «срока жизни»;

- с увеличением массовой концентрации желатина в образцах КГК при их ратеплении в водной среде происходит повышение прочностных характеристик образцов КГК в 1,5-2,0 раза. А повышение температуры воды до 17 °С приводит к их снижению на 20 % в начальный период и на порядок после 30 мин. Выдержки.

Исходя из выше сказанного, можно рекомендовать:

- процесс замораживания экспериментальных образцов КГЭ фильтра необходимо осуществлять на протяжении 24 ч;

- экспериментальные образцы КГЭ фильтра должны иметь 100 % влажность и крупность гравия 0,5-0,75 мм.

Библиографический список

1. Гаврилко В.М. Фильтры водозаборных, водопонизительных и гидрогеологическиз скважин. – М.: Госстройиздат, 1961. - 384 с.

2. Кожевников А.А., Судаков А.К. О выборе технологии оборудования продуктивных горизонтов буровых скважин гравийными фильтрами. Горный информационно-аналитический бюллетень: Вып. 8. – М.: Горная книга, 2011. - С. 356-361.

3. Пат. 18663 U. UA, МКИ Е21 В43/08. Гравійний фільтр / Кожевников А.О., Судаков А.К. (UA). - Друк. 15.11.2006; Бюл. № 11.

Поступила 10.07.2013

◆

УДК 658.562: 622.7.002

Наука

Темченко А.А. /к.т.н./
ГВУЗ «Криворожский НУ»

Исследование факторов, влияющих на конкурентоспособность горно-обогатительных предприятий

Предложен показатель рейтинговой конкурентной позиции горно-обогатительных предприятий для обоснования их конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках железорудного сырья с учетом качественных, количественных и затратных характеристик конечной продукции. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: *конкурентоспособность, конкурентная позиция, железорудное сырьё, факторы, горно-обогатительные предприятия*

The index of ore-dressing enterprises' rating competitive position has been suggested as the substantiation of their competitiveness in domestic and foreign iron ore raw materials markets taking into account qualitative, quantitative and cost-based characteristics of final products.

Keywords: *competitiveness, competitive position, iron ore, factors, ore mining and dressing enterprises*

Проблема и её связь с научными и практическими заданиями

Одной из стратегических задач развития экономики на современном этапе является повышение кон-

© Темченко А.А., 2013 г.

курентоспособности предприятий на рынках товаров и услуг.

Вопрос повышения конкурентных преимуществ особенно актуален для горно-обогатительных предприятий Украины, современное состояние которых характеризуется отставанием развития минерально-сырьевой базы, отсутствием значительных капитальных вложений в отрасль, существенным ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений полезных ископаемых, выражающемся в ухудшении качества руд, снижении содержания полезного компонента в исходном сырье при приближении глубины горных работ в карьерах к проектным отметкам. На многих горнодобывающих предприятиях наблюдаются тенденции исчерпания подготовленных запасов ископаемых при значительном отставании выполнения вскрышных работ, применяются несовершенные технологии добычи и переработки минерального сырья при значительном моральном и физическом износе основного и вспомогательного оборудования. Это приводит к существенному увеличению эксплуатационных расходов на добычу и переработку полезных ископаемых, что с учетом снижения рентабельности производства требует определения экономической целесообразности дальнейшей разработки месторождений открытым способом. В таких условиях увеличение объемов добычи и переработки минерального сырья возможно лишь за счет освоения новых месторождений и привлечения в комплексную разработку открыто-подземным способом забалансовых руд, отвалов и хвостов, повторной разработки целиков, что практически невозможно осуществить без привлечения значительного объема инвестиций в горно-металлургический комплекс.

Поэтому, в рыночных условиях хозяйствования для эффективной работы в условиях неопределенности горно-обогатительные предприятия вынуждены вкладывать значительные средства именно в модернизацию производства. И при довольно ограниченных собственных финансовых возможностях, применять инновационную технику и ресурсосберегающие технологии для снижения, в первую очередь, совокупных расходов энергетических ресурсов и повышения конкурентных преимуществ при реализации конечной продукции на внешних рынках железорудного сырья.

Анализ исследований и публикаций

Основы теории конкурентоспособности и подходы к ее оцениванию заложено в роботах по маркетингу и стратегическому менеджменту. Это связано с тем, что исследования опираются на изучение рынка и является основой для определения стратегии развития. Работы И. Ансоффа в сфере стратегического менеджмента [1], Е. Голубкова в сфере маркетинга [2] и других ученых являются теоретической и методологической основой оценки конкурентоспособности предприятия. Отдельно можно выделить исследование М. Портера – большинство из них посвящено вопросам стратегического менеджмента и изучению непосредственно категории-конкурентоспособности [3].

Фундаментальные разработки вышеуказанных ученых были развиты и дополнены другими учеными с учетом специфики каждого из объектов. Так, Яшин И. определяет конкурентоспособность как способность предприятия адаптироваться к изменениям внешней среды и обеспечивать при этом определенный уровень конкурентных преимуществ [4], а Фатхутдинов Р. рассматривает конкурентоспособность предприятия как относительную характеристику, которая выражает отличие развития данной фирмы от развития конкурентных фирм по степени удовлетворения своими товарами потребности людей и эффективностью производственной деятельности [5]. Общей чертой всех определений есть то, что все исследователи делают акцент на том, что конкурентоспособность отображается в разных преимуществах предприятия на рынке и средствах их достижения. Отличие состоит в степени детализации конкретных преимуществ и средств [6].

Особенностью теории конкурентоспособности есть то, что она сформировалась не в классических работах, а в прикладных разработках, посвященных конкретной проблеме на различных предприятиях, имеющие, часто уникальные особенности, которые необходимо учитывать, что характерно для горно-обогатительных предприятий, специализирующихся на добыче железной руды и производстве сырья для черной металлургии: концентрата, окатышей, агломерата. Эффективность деятельности таких предприятий определяется эффективностью определённого передела. При этом производственные процессы на каждом переделе являются энергоемкими, а показатели работы предприятия напрямую зависят от государственной политики в области регулирования цен на энергоресурсы.

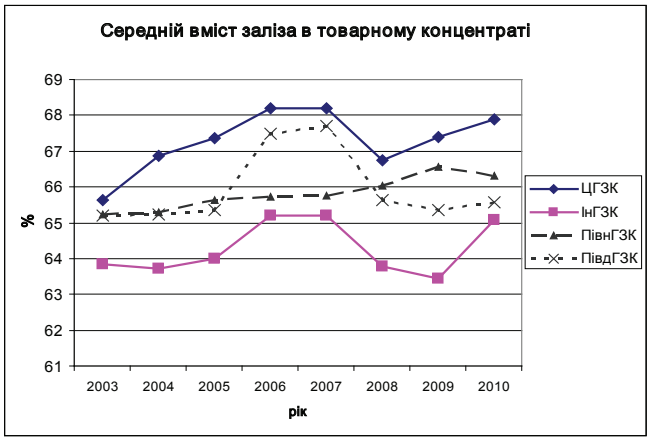


Рис. 1. Динамика среднего содержания железа в товарном концентрате горно-обогатительных предприятий Украины

Постановка задачи

Исходя из вышеизложенного, необходимо проанализировать особенности отечественных горно-обогатительных предприятий по переработке железных руд и определить факторы, влияющие на их рыночную конкурентную позицию с учётом ограниченных технологических и финансовых возможностей.

Изложение материала и результаты

Следует отметить, что динамика изменения качества железорудной продукции имеет неустойчивый характер (рис. 1). Это предопределяется спецификой залежей руды и технологическими особенностями горного производства, например, получение определенного объема концентрата с содержанием железа до 69 % за счет магнитно-флотационной доводки в ПАО «ИнГОК».

Нестабильная ситуация украинского рынка железорудного сырья обусловлена влиянием на стоимость продукции ряда негативных факторов, в частности повышение уровня внутренних цен на энергоносители в условиях отсутствия единой государственной мотивации внедрения энергосберегающих технологий; увеличение расходов на транспортировку продукции в связи с ростом железнодорожных тарифов; необходимость привлечения в добывающую отрасль значительных инвестиций с продолжительным периодом окупаемости с целью расширения производства руды, восстановление основных фондов. Этим и обусловлено определенное несоответствие между объемом реализации железосодержащей продукции и доходом от ее реализации (рис. 2).



Рис. 2. Динамика доходов горно-обогатительных предприятий Украины от реализации железорудной продукции

Характерной особенностью добычи сырой руды, которая оказывает существенное влияние на себестоимость, а, значит, и на цену железорудной продукции, есть то, что в отличие от других отраслей промышленности, где производственные циклы постоянно повторяются, ей присущи опережающие горно-подготовительные работы, то есть систематическое создание новых производственных мощностей вместо выбывающих. А поскольку основными характеристиками современного состояния украинского железорудного производства является ухудшение горно-геологических условий, ежегодное понижение уровня горных работ, то все эти факторы обусловливают постоянную потребность горно-обогатительных предприятий в дополнительных расходах на увеличение объемов вскрышных работ, водоотлив, проветривание, транспортировку горной массы при низком уровне развития производственной инфраструктуры и значительном износе основных фондов.

Если сравнивать экономическую ситуацию в Украине и на российском рынке железорудного сырья, то необходимо отметить, что цены на энергоносители в Украине значительно выше, чем в России. Например, тарифы на электроэнергию в Украине выше на 50-75 % , цена на дизтопливо – на 20-30 %, цена на газ – в 2,5 раза. Также в России используются преференции по железнодорожным тарифам для отечественного производителя. Всё это влияет на себестоимость, и соответственно, на цену российской железорудной продукции, которая на мировом рынке выглядит более привлекательно. При этом содержание железа в товарном концентрате российского производства составляет от 66 до 69,5 % – что является также довольно привлекательным для потребителей характеристиками, а в металлизованных окатышах превышает 84,5 %. Поэтому эффективность деятельности предприятий на рынке железорудного сырья напрямую зависит от общего развития инфраструктуры государства.

На конкурентоспособность предприятий, добывающих минеральное сырье, влияют следующие факторы: величина прибыли, получаемой от реализации продукции, которая зависит от качественных и стоимостных характеристик сырья, а также стоимости других производственных ресурсов - рабочей силы, основного капитала, потребляемых топлива и энергии; динамика цен в результате колебаний спроса и предложения; расходы на транспортировку сырья; формы коммерческих и других связей между производителями и потребителями [7].

Факторы, влияющие на конкурентоспособность предприятия, М. Портер [3] предлагает делить на основные и развитые. Основные факторы – это естественные ресурсы, климатические условия, географическое положение, неквалифицированная рабочая сила. Развитые факторы – современная инфраструктура обмена информацией, высококвалифицированные кадры и исследовательские отделы университетов, которые занимаются сложными, высокотехнологическими дисциплинами. Распределение факторов выражается через степень их специализации. Согласно этому все факторы делятся на общие и специализированные. Кроме того, на конкурентоспособность влияют как эндогенные (внутренние), так и экзогенные (внешние) факторы.

Совокупность вышеприведенных факторов определяет формальные и неформальные «правила игры» на рынке, определяет ту среду, в которой функционируют горно-обогатительные предприятия. Именно под влиянием совокупности этих факторов формируется определенный уровень деятельности предприятия по выпуску и реализации конечной продукции, которая за ценовыми и неценовыми характеристиками является более привлекательной для потребителей, чем продукция конкурентов. Для эффективного управления предприятием и постоянной поддержки его достаточной конкурентоспособности необходимо постоянно оценивать эти факторы. Поскольку продукция железорудных горно-обогатительных пред-

приятий является сырьем для производства металлопродукции и не является продукцией широкого потребления, то уместно разделить все параметры качества по характеру влияния на качество. По этому критерию все параметры качества железорудной продукции можно разделить на те, что повышают качество продукции, и те, что ее снижают (таблица).

Таким образом, оценку ценностного предложения совокупности характеристик железорудного горно-обогатительного предприятия и его продукции на рынке ($ЦП_{предпр+прод}$) представим в виде следующего показателя

$$ЦП_{предпр+прод} = \sum_{i=1}^{n}\left[Fe_i * \sum_{j=1}^{m} \delta_{ij}\gamma_{ij} \right] * K_{ФинСт} * I_{эк_устойч} \text{ , (1)}$$

где n – количество видов продукции, которые реализует горно-обогатительное предприятие; Fe_i – среднее содержание железа в железорудной продукции i-го вида; m – количество характеристик, которые отображают ограничение в использовании железорудной продукции i-го вида в металлургическом производстве; γ_{ij} – экспертная балльная оценка j-ой характеристики, которая отображает ограничение в использовании железорудной продукции i-го вида в металлургическом производстве; δ_{ij} – удельный вес j-ой характеристики, которая отображает ограничение в использовании железорудной продукции i-го вида в металлургическом производстве; $K_{ФинСт}$ – коэффициент финансовой устойчивости горно-обогатительного предприятия; $I_{эк_устойч}$ – индекс экономической устойчивости интегрированной компании, в состав которой входит горно-обогатительное предприятие; $\alpha, \beta, \lambda, \mu$ – удельный вес характеристик предприятия и его продукции, которые являются значащими для потребителя, $\alpha + \beta + \lambda + \mu = 1$.

С целью повышения качества оценки рекомендуется определять удельные коэффициенты каждой составляющей ценностного предложения. Совокупность количественных оценок вышеприведенных характеристик и объем реализации продукции можно представить в виде интегрального показателя, который отображает уровень конкурентоспособности предприятия. Целесообразно данный показатель назвать «рыночная конкурентная позиция предприятия», поскольку он комплексно отображает результат деятельности горно-обогатительного предприятия (в частности его позицию среди конкурентов), то есть, каким образом данное предприятие и его продукция воспринимаются потребителями на рынке железорудного сырья.

Для горно-обогатительных предприятий по добыче и переработке железных руд значения показателя рыночной конкурентной позиции ($РКП_{предпр}$) можно рассчитать по формуле

$$РКПпредпр = \sum_{i=1}^{n}\left[Q_{i_реализ} * \alpha Fe_i * \beta \sum_{j=1}^{m} \delta_{ij}\gamma_{ij} \right] * \lambda * K_{ФинСт} * \mu * I_{эк} * \lambda * K_{ФинСт} * \mu * I_{эк_устойч} \text{ , (2)}$$

где n – количество видов продукции, которые реализует горно-обогатительное предприятие; $Q_{i_реализ}$ – объем реализованной железорудной продукции i-го вида (тыс. т); Fe_i – среднее содержание железа в железорудной продукции i-го вида; m – количество характеристик, которые отображают ограничения в использовании железорудной продукции i-го вида в металлургическом производстве; γ_{ij} – экспертная балльная оценка j-ой характеристики, которая отображает ограничение в использовании железорудной продукции i-го вида в металлургическом производстве; δ_{ij} – удельный вес j-ой характеристики, которая отображает ограничение в использовании железорудной продукции i-го вида в металлургическом производстве; $K_{ФинСт}$ – коэффициент финансовой устойчивости горно-обогатительного предприятия; $I_{эк.\ устойч}$ – индекс экономической устойчивости интегрированной компании, в состав которой входит горно-обогатительное предприятие; $\alpha, \beta, \lambda, \mu$ – удельный вес характеристик предприятия и его продукции, которые являются определяющими для потребителя, $\alpha + \beta + \lambda + \mu = 1$.

В качестве единиц измерения данного показателя мы предлагаем использовать взвешенные тыс. т с учётом того, что при расчете объёмов реализованной продукции они умножаются на балльные оценки и коэффициенты.

Таблица. Базовые значения параметров качества железорудной продукции

Параметры качества		Аглоруда	Концентрат	Окатыши	Агломерат	Металлизированные окатыши (гранулированный чугун)
Содержание Fe (факт)		54-68 %	63-70 %	59-67 %	59-63 %	97-98 %
Содержание Fe (база)		54 %	63,7 %	60 %	56 %	97 %
Вредные примеси	S	<0,07 %	<0,07 %	<0,07 %	<0,07 %	-
	P	<0,022 %	<0,022 %	<0,022 %	<0,022 %	-
	Si	<2 %	<2 %	<2 %	<2 %	-
Влага		-	<10 %	-	-	-
Прочность		-	-	180 кг/обк.	-	220 кг/обк.
Мелочь		<9 %	-	<9 %	<9 %	-

Выводы и направление дальнейших исследований

Анализ и учет факторов формирования конкурентоспособности позволяет предусмотреть рыночные последствия от тех или других действий, дает возможность корректировать стратегию рыночного взаимодействия и успешно конкурировать на рынке. Фактор риска, присутствующий в рыночной борьбе, требует постоянного контроля и разработки образов

снижения угрозы наступления негативных событий, которые приводят к потери рыночной доли в результате агрессивных действий конкурентов.

Исследование деятельности горно-обогатительных предприятий Украины показало, что на обеспечение конкурентоспособности железосодержащей продукции влияют риски, минимизация которых позволит повысить рыночную привлекательность продукции, а при расчетах комплексного рейтингового показателя конкурентоспособности предприятия выявлена необходимость учитывать неопределенность рыночного выбора для каждой из свойств продукции, поскольку само многообразие свойств продукции горно-обогатительного предприятия и их соответствие наилучшему представителю (эталону) формирует рыночную привлекательность продукции и ее конкурентоспособность.

Таким образом, предложенный показатель рейтинговой конкурентной позиции может быть использован не только для обоснования конкурентоспособности отдельных горно-обогатительных предприятий на внутреннем рынке, но и адаптированный для оценки их конкурентных преимуществ с учетом качественных (прежде всего, содержание полезного компонента - железа в концентрате, агломерате или окатышах при допустимому уровне вредных примесей, в частности, серы и фосфора в них), количественных (объем производства конечной продукции) и затратных (себестоимость производства 1 т конечной продукции) характеристик продукции отечественных предприятий в рыночной борьбе на внешних рынках путем формирования конкурентоспособной цены железорудного сырья.

Библиографический список

1. Ансофф И. Стратегическое управление. – М.: Экономика, 2003. – 360 с.
2. Голубков Е.П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика. – М.: Финпресс, 1998. – 416 с.
3. Портер М. Конкурентное преимущество: Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость. – М.: Альпина, 2004. – 715 с.
4. Яшин И.Н. Конкурентоспособность промышленных предприятий. Методология, управление, оценка. – М.: Прогресс, 2004. – 328 с.
5. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 312 с.
6. Факторы, влияющие на конкурентоспособность предприятия / М.В. Шеремет, В.Н. Соколенко. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2005. – 254 с.
7. Конкурентоспроможність підприємства: Навчальний посібник / І.З. Должанський, Т.О. Загорна. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 384 с.

Поступила 31.07.2013

◆

Требования к статьям, направляемым в редакцию

Уважаемые авторы! Для ускорения подготовки очередных номеров журнала редакция обращается с просьбой ко всем авторам передавать статьи в электронном виде на носителях в виде CD-R или CD-RW матриц, либо на флешке. Возможна также передача материалов в редакцию по электронной почте. Отправка в редакцию статей в электронном виде не исключает необходимости предоставления сопроводительного письма от организации и подписанного авторами одного экземпляра статьи.

В редакцию следует предоставлять статью, отпечатанную четкими черными буквами на **белой бумаге** формата **А4** (210х297 мм) в двух экземплярах, объемом не более 6-8 стр. При компьютерном наборе статей желательна распечатка на лазерном или струйном принтере в нормальном (не экономичном) режиме (для первого экземпляра). Количество иллюстраций (рисунков) должно быть не более **4-х** (как исключение - до 6). Статья должна начинаться с указания *индекса УДК*. К статье необходимо приложить **аннотацию на русском и английском языках объемом до 0,5 страницы, перечень ключевых слов, сопроводительное письмо от организации, сведения об авторах** (указать фамилию, имя и отчество, ученое звание, степень, занимаемая должность, место работы, номер служебного телефона и адрес электронной почты каждого автора (при наличии) и указать, **кому** из авторов поручено вести переписку). Перед отправкой в редакцию статья должна быть **тщательно вычитана и подписана всеми авторами**. **Статьи в рукописном виде, а также содержащие многочисленные исправления в тексте, не принимаются.**

· ***Компьютерный набор*** статей следует осуществлять в текстовом редакторе **MS Word (формат файлов *.doc или *.rtf)**, без переносов, шрифтом Times New Roman. Размер символов - 14 пт. Допускается включение в текст статьи рисунков, выполненных средствами **MS Office**, при этом элементы одного рисунка следует группировать. Вставка в текст сканированных и других изображений (например, с цифровой фотокамеры) не рекомендуется. Такие изображения желательно предоставлять в виде отдельных файлов (предпочтительны форматы ***.tif** или ***.jpg** с разрешением 300 dpi, ч/б фото).

Формулы из MathCad и т.п. программ в тексте не допускаются. *Убедительная просьба к авторам не разбивать текст статьи на колонки, как это сделано в журнале, т.к. это только усложняет их обработку!*

· ***Таблицы*** следует пронумеровать и дать им заголовки. Единицы физических величин должны быть указаны в соответствии с Международной системой единиц (СИ). При компьютерном наборе рекомендуемый размер символов в таблицах 8…9 пт (для очень емких таблиц - до 6 пт). Наличие в тексте таблиц, границы которых выходят за поля страницы нежелательно.

· ***В библиографическом списке*** необходимо привести фамилии и инициалы авторов, точное название книги и сборника, сведения о повторности издания, место издания, издательство (или издающую организацию), год издания и общее число страниц. В тексте статьи при ссылке на книгу желательно указать конкретную страницу, материал которой был использован. Для статей из журналов и сборников следует указать фамилии и инициалы первых трех авторов, название статьи, название издания (чьи труды, если это сборник), год выхода, номер и страницы, на которых напечатана статья. Иностранные источники описываются на языке оригинала.

Редакция оставляет за собой право отправлять статьи авторам на доработку в следующих случаях:

- статья небрежно оформлена и не соответствует требованиям редакции без подписей авторов (см. выше);
- статья требует доработки в соответствии с замечаниями редактора раздела;
- к статье не прилагается разрешение на публикацию от организации, в которой работают авторы.

Требования и пожелания к рекламным и т.п. материалам, публикация которых оплачивается, а также «экстренные» публикации согласовываются непосредственно в редакции с ответственным секретарем журнала

Редакция журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность»
Тел. (0562) 46-12-95, отв. секретарь (056) 744-81-66. E-mail: metinfo@metinform.dp.ua; mgp@metaljournal.com.ua.

УДК 620.197 Производство

Воробьева В.И., Чигиринец Е.Э. /д.т.н./, Черепкина Р.И., Сыдор В.И.
НТУУ «Киевский политехнический институт»

Исследование защитной эффективности ингибированной бумаги для защиты металлопродукции на период транспортировки и хранения

Целью работы стали разработка и исследование противокоррозионной эффективности ингибированной бумаги на основе летучего ингибитора коррозии. Показано, что полученный упаковочный материал эффективно защищает металл от атмосферной коррозии в ускоренных лабораторных испытаниях при периодической конденсации влаги. Натурные испытания в условиях промышленной атмосферы подтвердили высокий уровень ингибирующего действия. Проведено прогнозирование «срока службы» упаковочного материала на основе исследования динамики потери ингибитора из противокоррозионной бумаги и снижения ее физико-химических свойств в процессе старения. Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: *атмосферная коррозия, ингибированная бумага, ускоренные испытания, натурные испытания, физико-химические свойства*

The purpose of the study was to develop and effectively inhibit corrosion of paper on the basis of a volatile corrosion inhibitor . It is shown that the resulting packaging material effectively protects the metal against atmospheric corrosion accelerated laboratory test in periodic condensation. Full-scale tests under industrial environment confirmed the high level of inhibitory effect. Conducted forecasting " life " packaging material based on a study of the dynamics of loss of corrosion inhibitor paper and reducing its physical and chemical properties in the aging process .

Keywords: *atmospheric corrosion , inhibited paper, accelerated testing , field testing , physical and chemical properties*

Введение

Новые методы защиты металлопродукции на период транспортировки и хранения основаны на применении летучих ингибиторов атмосферной коррозии (ЛИАК), которые в отличие от традиционных способов защиты, обладают существенными преимуществами, а именно технологичностью. Метод защиты металлопродукции с применением ЛИАК практически сводится к простой упаковке изделий в специальные ингибиторсодержащие материалы, благодаря чему изделия поступают к потребителю без коррозионных повреждений. В качестве носителей ингибитора может применяться картон, ткань, а также пористые неорганические и органические адсорбенты.

Наибольшее распространение в промышленности нашел метод с использованием бумаги, содержащей ЛИАК, и получившей название «ингибированная бумага». Противокоррозионную бумагу применяют только в сочетании с влагонепроницаемыми барьерными упаковочными материалами (например, полимерной пленкой, чехлами, парафинированной или битумированной бумагой) для предотвращения испарения ингибитора.

При этом, основным недостатком такого типа упаковки является возможные нарушения целостности упаковочного барьерного материала за счет механического повреждения во время эксплуатации. Это, в свою очередь, может привести к частичной утечке ингибитора из замкнутого пространства и развитию коррозионных повреждений металлических изделий. Поэтому важной характеристикой, предъявляемой к летучим ингибиторам, является способность сформированной пленки, сохранять со временем свои защитные свойства при отсутствии ЛИАК в коррозионной среде, т.е. проявлять эффект последействия.

Авторами разработан эффективный и экологически безопасный летучий ингибитор атмосферной коррозии стали на основе органических соединений продуктов переработки растительного сырья (ЛВГ–1, ЛВГ–2). Исследованиями [1, 2] было установлено, что пленка, формируемая на поверхности металла, выдержанного в паровой фазе ингибитора ЛВГ–2, обеспечивает достаточно высокую степень противокоррозионной защиты стали в условиях периодической конденсации влаги в течение 21 сут. (≈99,5 %). Поэтому, целесообразным явилась разработка упаковочного материала, а именно ингибированной бумаги, на основе летучего ингибитора коррозии ЛВГ-2. Противокоррозионная бумага является специальным видом продукции, в которой не только ингибирующие свойства состава ЛИАК, но и срок службы самой бумаги-основы определяют эффективность защиты упакованных в нее изделий. При прогнозировании срока службы противокоррозионной бумаги наибольшее значение имеет изучение изменений таких ее эксплуатационных свойств как содержание ингибитора в противокоррозионной бумаге (как защитного материала) и потери ее механической прочности при воздействии различных температур. Известно, что

© Воробьева В.И., Чигиринец Е.Э., Черепкина Р.И., Сыдор В.И., 2013 г.

механические свойства ингибированной бумаги, получаемой в результате обработки бумаги-основы растворами ингибиторов, могут ухудшаться [3]. Очевидно, что и механические свойства упаковочной бумаги при ее старении будут определяться типом используемого в процессе ее изготовления летучего ингибитора коррозии. В свою очередь прогнозирование «срока службы» ингибированной бумаги является важным параметром, определяющим сроки и условия хранения металлоизделий в тех или иных условиях.

Поэтому целью настоящих исследований явилась оценка противокоррозионной эффективности ингибированной летучим ингибитором ЛВГ-2 бумаги, а также прогнозирование «срока службы» данного упаковочного материала на основе исследования динамики потери ингибитора из противокоррозионной бумаги и снижения механической прочности в процессе ее старения.

Методика исследования

Ингибированную бумагу получали путем пропитки крафт-бумаги из хвойной небелёной целлюлозы составом летучего ингибитора коррозии ЛВГ -2. Подготовку металлических образцов для испытаний осуществляли по общепринятым методам [4]. Металлические образцы Ст3 (размером 50х20х1 мм), предварительно обезжиренные ацетоном, а затем этиловым спиртом, выдержанные в течение 24 ч в эксикаторе и упаковывали в ингибированную бумагу. Упакованные образцы помещали в полиэтиленовый чехол и 3 сут. выдерживали на воздухе с целью формирования защитной пленки в соответствии с требованиями ГОСТ 9.509-89 по упаковке материалов [5].

Ускоренные коррозионные испытания производили в герметичном эксикаторе, на дне которого находилась дистиллированная вода. Для ускорения коррозионных процессов упакованные металлические образцы в герметичном эксикаторе размещали в термокамере, в которой поддерживали режим периодической конденсации влаги (1 цикл в течение 8 ч при температуре 40 °С и 16 ч при температуре 25 °С). В процессе испытаний проводили осмотр образцов для установления времени появления первого коррозионного очага. Общая продолжительность испытаний 60 циклов. Состояние образцов в процессе и по завершении испытаний оценивали по ГОСТ 9.308-85. Коррозионные очаги на торцах пластинок и на расстоянии 1 мм от краев не учитывались. Изменение массы образцов оценивали гравиметрическим методом. Продукты коррозии снимали путем травления в ингибированном 1 % растворе соляной кислоты. Оценку эффективности противокоррозионной защиты производили визуально, а также по отрицательному массовому показателю скорости коррозии K_{m-} и степени защиты Z [6].

При прогнозировании срока службы ингибированной бумаги наибольшее значение имеет изучение таких ее эксплуатационных свойств как содержание ингибитора в упаковочном материале (как защитного материала). Излишне большой запас механической прочности приводит к удорожанию бумаги основы, так как требует дополнительного расхода дефицитной высококачественной целлюлозы. В связи с этим в качестве критериев изменения свойств ингибированной бумаги приняты потеря массы ингибитора и потеря механической прочности при ускоренном старении.

Определение потери ингибитора производили следующим образом. Образцы бумаги нарезали на кусочки размером около 5х5 мм, помещали в керамические бюксы, взвешивали с точностью до 0,0002 г. Бюксы помещали в камеру с принудительной циркуляцией, в которой осуществлялось их медленное вращение. Температуру в камере поддерживали постоянной от 50 до 140 °С. Через определенные промежутки времени бюксы вынимали из камеры, охлаждали в эксикаторе с хлористым кальцием и взвешивали на аналитических весах.

Ускоренное старение проводили в соответствии ГОСТ 29331-89 (ИСО 5630-4-86). Определение потери механической прочности (разрушающего усилия в продольном направлении и удлинения при растяжении) проводили после термостатирования образцов при температуре 80 и 120 °С в течение определенного времени в соответствии с ГОСТ 13525.1-79. Образцы бумаги после термостатирования помещали в эксикатор, содержащий прокаленный хлористый кальций, для предотвращения поглощения влаги бумагой. Непосредственно перед испытанием на разрывной машине образцы извлекались из эксикатора. При этом за начальную точку принимали разрушающее усилие образцов, определенное через 3 часа выдерживания в термостате (согласно ДСТУ 2191-93 эти образцы являются абсолютно сухими).

Результаты исследований

Ускоренные испытания показали высокую степень ингибирующей эффективности лабораторных образцов ингибированной бумаги на основе разработанного ЛИАК ЛВГ–2 в условиях периодической конденсации влаги. Так, степень защиты стальных образцов составила около 99 % (длительность испытаний 60 сут.) (табл. 1).

Таблица 1. Ускоренные испытания образцов Ст3, упакованных в ингибированную бумагу, в условиях периодической конденсации влаги в течение 60 сут.

Тип ингибитора	K_m^-, г/м^2·ч	Z, %
ЛВГ – 2	0,0012	99,5
МБГИ (Г-2М)	0,0634	74,4
Без ингибитора	0,2481	-

*Примечание. При консервации металлических образцов в качестве барьерного материала использовалась полиэтиленовая пленка

В табл. 2 приведены результаты коррозионных испытаний стальных образцов, упакованных в ингибированную бумагу, через 3, 5, 10, 20, 30, 40, 60 циклов. Поверхность стальных образцов, упакованных в ингибированную бумагу, за 30 сут. испытаний лишь незначительно потеряла блеск. Первые следы коррозионного поражения образцов зафиксированы при промежуточном осмотре на 32 сут. эксперимента.

Известно, что в соответствии с п.п. 3.1, 3.7.3 ГОСТ 9.509-89 один цикл испытаний соответствует трем месяцам хранения в условиях 2 по ГОСТ 15150-69 (эксплуатация под навесом или в помещениях, где отсутствует прямое воздействие солнечного излучения и атмосферных осадков). Поэтому можно ожидать, что первые коррозионные очаги в естественных условиях будут появляться лишь после 8 лет (3х32 = 96 мес.).

В случае использования бумаги МБГИ (Г-2М) значительные коррозионные поражения образцов фиксировали уже при промежуточном осмотре на 9-е сут. эксперимента. В то время как, образцы, упакованные в бумагу, не содержащую ЛИАК, в условиях эксперимента интенсивно корродировали после 2 сут.

Таким образом, в серии жестких ускоренных испытаний было показано, что разработанная ингибированная бумага ЛВГ–2 превосходит по антикоррозионным свойствам в отношении черных металлов защитный материал марки МБГИ (Г-2М).

Таблица 2. Степень коррозионного поражения поверхности (%) Ст3, упакованной в ингибированную бумагу, в условиях периодической конденсации влаги (продолжительность эксперимента 60 сут.)

Тип ингибированной бумаги (марка)	Время испытаний, сутки							
	3	5	10	20	30	40	50	60
ЛВГ – 2	0	0	0	0	0	3	5	7
МБГИ (Г-2М)	0	0	4	10	15	18	20	22
Без ингибитора (контрольный образец)	3	5	17	25	30	35	45	50

Натурные испытания являются обязательным этапом при разработке средств парофазной защиты металлов. Поэтому была проведена оценка противокоррозионной эффективности ингибированной бумаги в натурных условиях с разной агрессивностью атмосферы.

Результаты натурных коррозионных испытаний на открытом воздухе в условиях городской атмосферы (Днепропетровск) свидетельствуют, что ингибированная бумага обеспечивает эффективную защиту стали в течение полутора лет. По истечении 18 мес. экспозиции в натурных условиях образцы не имели признаков коррозии. Незначительные коррозионные поражения появились только после 15 мес. эксперимента и к концу экспозиции их количество практически не изменилось. Образцы, упакованные в бумагу, не содержащую ЛИАК, в условиях эксперимента интенсивно корродировали после 1 мес. экспозиции.

Испытания в условиях открытой атмосферы металлургического комбината Мариуполя (ОАО «ММК им. Ильича») подтвердили способность нового материала к эффективной защите изделий из черных металлов. Оценка противокоррозионной эффективности была проведена в соответствии с ГОСТ (9.041-74) с учетом условий хранения и метода консервации (ГОСТ 9.014-78). Натурные коррозийные исследования проведены в течение 2,5 мес. в условиях открытой атмосферы на территории завода. Оценку противокоррозионной эффективности проводили по внешнему состоянию поверхности металлоизделий марки 1пс (профиль 60х60). Упаковывание металла было произведено вручную путем применения влагостойкого скотча (а не термозапайка), что привело разгерметизации всех экспериментальных упаковок. Однако, несмотря на отсутствие герметичности, разработанная ингибированная бумага на основе ЛИАК ЛВГ–2 обеспечила эффективную противокоррозионную защиту. Так, по истечении 2,5 мес. экспозиции в натурных условиях трубы, предварительно упакованные в бумагу с летучим ингибитором ЛВГ–2 и полиэтиленовый чехол, оставались практически без следов коррозионного поражения (рис. 1).



Рис. 1. Вид неупакованных и защищенных антикоррозионной упаковкой труб после 2,5 мес. экспозиции в натурных условиях

Таким образом, результаты натурных и лабораторных испытаний упаковочного материала на основе ЛИК ЛВГ–2 дают основания рекомендовать их для временной противокоррозионной защиты металлоизделий из черных металлов сроком от 2 мес. до нескольких лет в зависимости от условий хранения.

Поскольку во время эксплуатации противокоррозионной бумаги может произойти частичное нарушение барьерного упаковочного материала и, как следствие, снижение концентрации ингибитора в защищаемом объёме, целесообразным было исследование эффекта защитного последействия разработанного ингибитора.

Анализ полученных данных показал что пленка, сформированная из паровой фазы разработанного ингибитора, обеспечивает эффект последействия на уровне 90,2 и 94,5 % в условиях периодической конденсации влаги над водными растворами 3 % NaCl и 1 % Na_2SO_4 соответственно (по результатам гравиметрических исследований).

Высокое защитное последействие адсорбционных слоев, сформированных в парах этой композиции, подтверждено результатами натурных испытаний. Образцы, предварительно упакованные в ингибированную бумагу и выдержанные в течение 72 ч для формирования защитной пленки, после расконсервации оставались без следов коррозионного

поражения поверхности металла в течение 1,5 мес. в условиях городской атмосферы (Киев).

Таблица 3. Изменение механической прочности ингибированной бумаги ЛВГ-2 в зависимости от времени старения

Тип бумаги	Время старения, час	Разрушающее усилие, Н	Потеря прочности при разрушающем усилии, %	Удлинение при растяжении, %	Потеря прочности при растяжении, %
Без ингибитора бумага-основа	48	130	-	3,3	-
	60	128	-	3,1	-
	120	126	-	3,1	-
Ингибированная бумага	48	117	10	3,2	3,0
	60	109	14	3,0	3,2
	120	98	22	3,0	3,2

Поскольку во время эксплуатации упаковочного материала может происходить изменение его функциональных свойств целесообразным является исследование «срока службы» ингибированной бумаги, а именно исследование изменения ее физико–химических свойств при старении.

На рис. 2 представлены кривые, отображающие зависимость потери массы ингибитора ЛВГ–2 из противокоррозионной бумаги от времени испытания при температуре 80 и 100 °С. В результате проведенных исследований установлено, что ингибитор ЛВГ–2 при температуре 80 °С медленно удаляется из бумаги, а заметные его потери начинаются после 4-5 сут. При увеличении температуры до 100 °С, потеря массы происходит более интенсивно и составляет после 5 сут. искусственного старения около 25 % .

Зависимость потери механической прочности противокоррозионной бумаги от времени испытания при старении представлена в табл. 3.

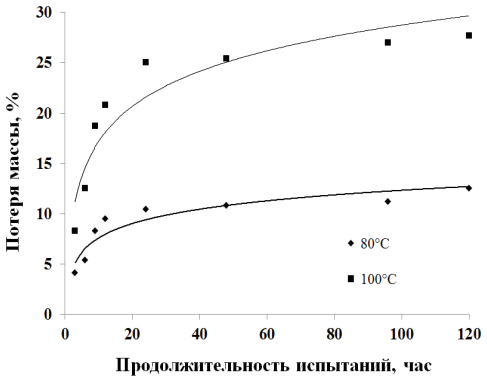


Рис. 2. Зависимость потери массы ингибитора от времени испытания при термостатировании ингибированной бумаги

Анализ результатов свидетельствует, что используемый состав ЛИАК для изготовления ингибированной бумаги существенно не изменяет физико-механические свойства бумаги-основы, а, следовательно, не приводит к снижению прочностных свойств бумаги.

Так, значения разрушающего усилия и удлинения при растяжении практически не изменяются, потеря прочности после 120 ч. ускоренного старения составила для разрушающего усилия и удлинения при растяжении 22 и 3,2 %, соответственно. Потеря прочности для ингибированной бумаги МБГИ (Г-2М) после 120 ч ускоренного старения согласно литературным данным составляет для разрушающего усилия 32,4 %, а для показателя удлинения при растяжении – 5 % [7].

Проведенные испытания на ускоренное старение ингибированной бумаги свидетельствуют, что используемый летучий ингибитор ЛВГ–2 практически не снижает физико–механических свойств бумаги–основы, а во время старения упаковочного материала существенная потеря функциональных свойств не наблюдается.

Выводы

Ингибированная упаковочная бумага с ЛИАК ЛВГ–2, используемая с дополнительным барьерным материалом, обеспечивает высокие защитные свойства стали в условиях как городской, так и промышленной атмосферы.

Установлено высокое защитное последействие адсорбционных слоев, сформированных в парах композиционного ингибитора, предотвращающих в городской атмосфере появление коррозионных поражений стали в течение 1,5 мес.

Механические свойства ингибированной бумаги в результате обработки бумаги основы растворам ЛИАК ухудшаются незначительно. Потеря массы ингибитора при искусственном старении происходит крайне медленно.

Библиографический список

1. Чигиринець О.Е. Дослідження протикорозійної ефективності рослинних екстрактів / Наукові вісті «КПІ». – 2010. – № 6. – С. 152–156.

2. Чигиринец Е.Э., Воробьева В.И., Гальченко Г.Ю., Рослик И.Г. Исследование эффективности ингибиторов атмосферной коррозии // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2012. – № 2. – С. 76-80.

3. Антропов Л.И., Макушин Е.М, Панасенко В.Ф. Ингибиторы коррозии металлов. – К.: Техника, 1981. – 183 с.

4. ГОСТ 9.905–82 ЕСКЗ. Методы коррозионных испытаний. Общие требования. - М.: Госстандарт, 1983. - 6 с.

5. ГОСТ 9.509–89 ЕСКЗ. Средства временной противокоррозионной защиты. Методы определения противокоррозионной защиты. - М: Госстандарт, 1990. - 20 с.

6. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. – К.: Либідь. 1993. – 544 с.

7. Фляте Д. М. Свойства бумаги. Уч. для вузов. Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 648 с.

Поступила 17.07.2013

УДК 669.162.2:669.162.24 Наука

Большаков В.И. /д.т.н./, Иванча Н.Г., Муравьева И.Г. /д.т.н./, Вишняков В.И.
Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАНУ

Методика определения рациональных параметров формирования железорудных смешанных порций при загрузке шихтовых материалов в доменную печь

Выполнено расчетное определение содержания окатышей в пристеночной зоне доменной печи (ДП) при различном количестве окатышей в шихте и различных значениях массы головной части порции для систем с конвейерной и скиповой доставкой шихты на колошник. Установлены зависимости содержания окатышей в пристеночной зоне колошника от содержания окатышей в шихте и массы головной части железорудной порции. Сформулированы основные положения методики определения рациональных параметров формирования смешанных железорудных порций при загрузке шихтовых материалов в доменную печь. Ил. 10. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: *доменная печь, программа загрузки, агломерат, окатыши, система загрузки, формирование порций, конвейерная и скиповая доставка, головная часть порции, распределение, пристеночная зона*

Achieved settlement definition of the content of pellets in the edge zone of the blast furnace at a different number of pellets in the charge and the different values of the mass of the head portion of the conveyor systems and skip delivery charge for throat. The dependences of the content of pellets in the furnace top wall zone of the content of pellets in the charge and mass of the head of the iron portions. The basic methodology for determining the position of rational parameters of the formation of mixed iron portions loading charge material in the blast furnace. 10 illustrations. Bibliographic 2 titles.

Keywords: *blast furnace, the boot program, sinter, pellets, charging system, the formation of portions, conveyor and skip delivery, the head portion of the portions, distribution, parietal area*

Процесс формирования железорудных смешанных порций современной ДП, оснащенной БЗУ, сводится к реализации заданной структуры порции, которая определяет распределение масс компонентов по объему порции на конвейере или в скипах. Приведенные в настоящей работе результаты исследований обеспечивают решение задачи рационального распределения в объеме доменной печи основных железорудных компонентов шихты – агломерата и окатышей.

Как показал анализ предшествующих разработок, применяемые в практике технологические требования к формированию железорудных смешанных порций сформулированы в достаточно общем виде [1]:

- предварительное смешивание окатышей с агломератом перед подачей на колошник;
- предотвращение концентрации окатышей в периферийной и осевой зонах колошника;
- минимизация длины порции на конвейере, что обеспечивает максимальное использование пропускной способности системы загрузки и рациональные режимы эксплуатации оборудования.

Технологические требования к формированию смешанных железорудных порций реализуются следующим образом:

- в системах загрузки с конвейерной доставкой шихты на колошник – формированием головной части порции из агломерата и объединением оставшейся части дозы агломерата с дозой окатышей путем послойного наложения на конвейере. В результате железорудные смешанные порции, сформированные на конвейере, имеют головную и смешанную части, отличающиеся составом компонентов;
- в системах загрузки со скиповой доставкой шихты на колошник - формированием головной части порции из агломерата в виде верхнего слоя, состоящего из агломерата, первого скипа подачи и изменением расположения дозы (или доз) окатышей в объеме скипов подачи в целом. Как правило, на современных ДП, оснащенных БЗУ, объем подачи, как правило, не превышает двух скипов.

Процесс формирования смешанных порций с наложением доз шихтовых материалов на конвейере сводится к реализации заданных интервалов времени между началом выгрузки отдельных компонентов из бункерных весов и обеспечению требуемых величин их расходов [1]. Применяющийся в практике доменного производства и частично реализующий перечисленные выше технологические требования способ формирования смешанных порций шихтовых материалов в системах с конвейерной доставкой шихты (рис. 1) является рациональным для систем шихтоподачи с бункерными весами, не оснащенными устройствами регулирования расхода материала. Однако, такой вариант практически нереализуем из–за нестабильности значений расходов компонентов

© Большаков В.И., Иванча Н.Г., Муравьева И.Г., Вишняков В.И., 2013 г.

при выгрузке их из бункерных весов: коэффициент вариации расхода агломерата составляет 23,0–25,0 %, окатышей 9,0–12,0 %.

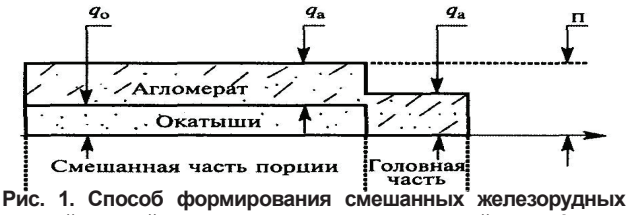


Рис. 1. Способ формирования смешанных железорудных порций послойным наложением доз на конвейере с фиксированными величинами расходов компонентов: q_a, q_o – соответственно, расходы агломерата и окатышей при выгрузке из бункерных весов, кг/с; П - пропускная способность конвейера, м³/с

При формировании смешанных железорудных порций по способу, показанному на рис. 1, случайные изменения расхода любого из компонентов приводят к образованию «хвостовых» частей, состоящих из агломерата или окатышей (рис. 2), т.е., к образованию участков порции с уменьшенной толщиной слоя. Следствием этого является неполное использование пропускной способности системы загрузки.

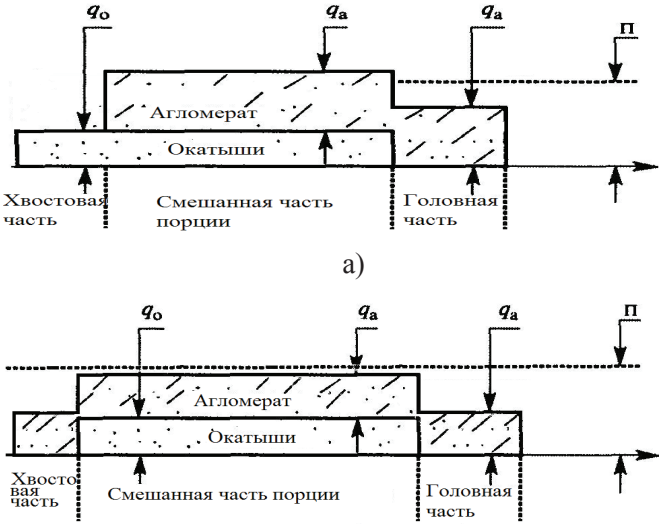


Рис. 2. Изменения структуры смешанных железорудных порций, обусловленные случайным характером изменения расходов компонентов при выгрузке из бункерных весов: а – смешанная железорудная порция с «хвостовой» частью из окатышей; б - смешанная железорудная порция с «хвостовой» частью из агломерата; q_a, q_o – соответственно, расходы агломерата и окатышей при выгрузке из бункерных весов, кг/с; П - пропускная способность конвейера, м³/с

Применение устройств для регулирования расхода шихтовых материалов, в частности, затворов электромеханического типа, значительно расширяет технологические возможности систем шихтоподачи с конвейерной доставкой шихты на колошник в отношении формирования порций [2].

Для практической реализации процесса формирования смешанной железорудной порции в САУ системы загрузки с конвейерной доставкой шихты на колошник должны быть введены массы компонентов порции, расстояния, определяющие расположение бункерных весов по отношению друг к другу, скорость движения ленты конвейера и масса головной части порции. В системах загрузки со скиповой доставкой шихты на колошник необходимыми исходными данными для автоматизированного процесса формирования смешанных железорудных порций являются массы компонентов порции, масса головной части порции и последовательность загрузки компонентов порции в скипы, которая, в большинстве случаев, определяется техническими и технологическими возможностями оборудования системы шихтоподачи: количеством каналов дозирования каждого из компонентов, их расположением по отношению друг к другу, применяемым способом загрузки (подачи) компонентов в сборные бункерные весы (скип). Из перечисленных факторов для регулирования распределения компонентов смешанных железорудных порций по радиусу колошника в обоих случаях в качестве управляющего параметра может быть использован только один параметр - масса головной части порции, поскольку остальные определяются общим составом шихты, структурными и конструктивными особенностями системы шихтоподачи. В связи с этим, технологический эффект реализации перечисленных выше требований в виде улучшения газопроницаемости слоя и показателей восстановимости железорудных шихтовых материалов, повышения долговечности футеровки и фурм, стабилизации хода ДП и увеличения степени использования газа, в полной мере достигается только при условии рационального выбора массы головной части железорудной порции ($m_A^{(Г)}$), состоящей из агломерата. Дефицит массы агломерата в головной части порции может привести к попаданию окатышей в периферийную зону колошника в количестве, вызывающем ускоренное разрушение кладки шахты и интенсивное горение воздушных фурм из-за агрессивного воздействия шлаков, а избыток ухудшает качество смешивания железорудных компонентов в смешанной части порции и создает условия для концентрации окатышей в виде обособленных массивов в промежуточной или осевой зонах печи с последующим разрывом полей шлакообразования и плавления, ухудшением газопроницаемости столба шихтовых материалов в зоне плавления и условий развития восстановительных процессов. Масса головной части смешанной железорудной порции является также важным фактором, определяющим формирование пристеночного газового потока в печи.

Выбор рациональной массы головной части смешанных железорудных порций, содержащих окатыши, заключается в определении диапазона значений данного параметра, которые, с учетом геометрических параметров бункера БЗУ и параметров режима загрузки, обеспечат формирование в пристеночной зоне ДП железорудной смеси с содержанием окатышей не более заданного предела. На практике требуемая масса головной части подбирается опытным путем в течение длительного периода в связи с инерционностью изменения теплового режима работы футеровки и состояния гарнисажа шахты. Создание расчетного метода определения требуемой массы головной части позволит значительно ускорить выбор рационального значения этого параметра, избежать ошибок и связанных с ними негативных явлений.

Для получения расчетных уравнений, определяющих зависимость рациональной массы головной части порции от содержания окатышей в шихте, заданного их содержания в пристеночной зоне и параметра, характеризующего программу загрузки ДП, применены разработанные в ИЧМ математические модели истечения шихтовых материалов из бункера БЗУ и их радиального распределения по радиусу колошника. Результаты расчета параметров распределения шихтовых материалов при помощи указанных моделей включают распределение компонентов загружаемых порций по радиусу колошника, что позволяет получить требуемые взаимосвязи. Из перечисленных выше факторов, определяющих содержание окатышей в пристеночной зоне все, за исключением программы загрузки, однозначно задаются или вводятся в исходные данные величиной соответствующего параметра. Программа загрузки характеризуется рядом параметров, определяющих последовательность порций шихтовых материалов в цикле загрузки и распределение масс порций по угловым положениям лотка БЗУ. Количество возможных вариантов сочетаний и комбинаций различных значений этих параметров достаточно велико, поэтому использование программ загрузки в виде, непосредственно применяющемся на практике, в разрабатываемой методике затруднительно. Целесообразно на данной стадии выделить некоторый общий параметр (признак) применяющихся на практике программ загрузки, который может характеризовать влияние программы на содержание компонентов в пристеночной зоне ДП. С этой целью были выполнены математическое моделирование загрузки ДП с использованием более 30 вариантов программ загрузки, применяющихся на ДП объемом 1380–5580 м^3, и расчеты соответствующих параметров распределения шихтовых материалов по радиусу колошника. По результатам расчетов установлено, что основную часть железорудных шихтовых материалов, располагающихся после выгрузки порции в пристеночной зоне, 86,0–100,0 %, составляют материалы железорудных порций, выгружаемые в периферийную зону колошника - в три крайние периферийные положения лотка БЗУ (в зависимости от программы загрузки 11–10–9, 10–9–8 или 9–8–7). Т.е., компонентный состав материалов пристеночной зоны также формируется частью железорудной порции, выгружаемой в указанные угловые положения лотка. На основании полученных результатов предложено в качестве параметра (признака), характеризующего влияние программы на содержание компонентов в пристеночной зоне ДП, принять суммарное количество материала, выгружаемое в трех крайних периферийных угловых положениях лотка. Реально используемые на ДП с конвейерной подачей шихты на колошник программы загрузки по указанному признаку были разбиты на пять групп (ПР1–ПР5), где суммарное количество железорудных шихтовых материалов, выгружаемое за цикл загрузки в периферийную зону изменялось от 40,0 до 70,0 %. Программы загрузки для ДП со скиповой доставкой шихты на колошник были разделены на три группы (ПР1–ПР3), предусматривавшие выгрузку от 40,0 до 60,0 % массы порции в периферийные угловые положения лотка. Для каждой из этих групп программ загрузки при помощи математических моделей истечения шихтовых материалов из бункера БЗУ и их радиального распределения по радиусу колошника выполнен расчет показателей распределения компонентов смешанных железорудных порций. Расчет выполнен с исходными условиями, характерными для систем загрузки с конвейерной (ДП № 9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог») и скиповой (ДП № 3 ПАО «Енакиевский МЗ») доставкой шихты на колошник, при различном содержании окатышей в шихте (20,0-70,0 %), и различных значениях массы головной части железорудных порций (0–80,0 % массы порции). На основании полученных результатов для возможных сочетаний значений количества материалов, выгружаемых в периферийную зону, и содержания окатышей в шихте определены зависимости содержания окатышей в пристеночной зоне ДП от массы головной части смешанных железорудных порций. В качестве примера на рис. 3 приведена зависимость содержания окатышей (при их содержании в шихте в количестве 30 %) в пристеночной зоне ДП с конвейерной доставкой шихты на колошник от массы головной части смешанной железорудной порции, а на рис. 4 со скиповой доставкой шихты на колошник.

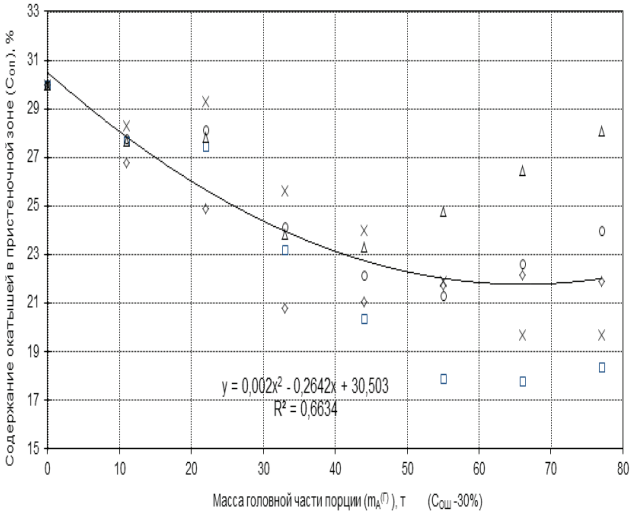


Рис. 3. Зависимость содержания окатышей в пристеночной зоне доменной печи ($C_{оп}$) с конвейерной доставкой шихты на колошник от массы головной части смешанной железорудной порции. Содержание окатышей в шихте ($C_{ош}$) – 30,0 %. Аппроксимация квадратичной функцией y = 0,002x² - 0,2642x + 30,503; R = 0,814 (○ - ПР1; y = 0,0024x² - 0,2816x + 30,797; R = 0,934; □ - ПР2; y = 0,0015x² - 0,2909x + 30,865; R = 0,971; △ - ПР3; y = 0,0033x² - 0,2855x + 30,508: R = 0,916; ◇ - ПР4; y = 0,0031x² - 0,3347x + 29,99; R = 0,97; × - ПР5; y = 0,0003x² - 0,1283x + 30,353; R = 0,974)

На основе обобщения полученных результатов установлено, что зависимости содержания окатышей в пристеночной зоне ДП от массы головной части железорудных порций ($m_A^{(Г)}$) в диапазонах реальных значений количества материалов, выгружаемых в периферийную зону, и содержания окатышей в шихте, достаточно точно аппроксимируются квадратич ной

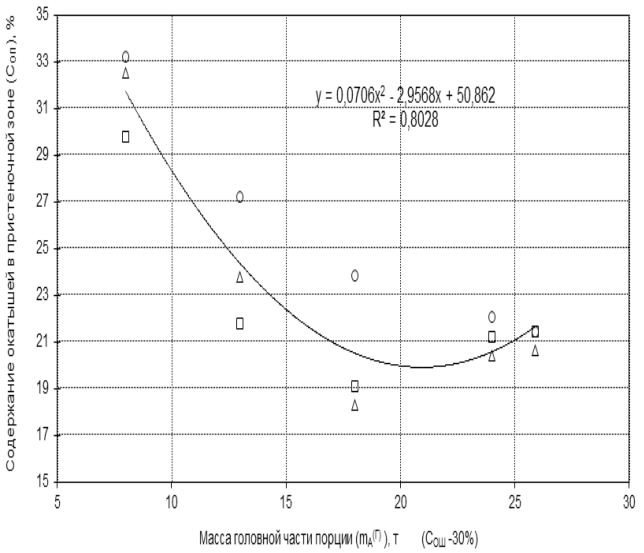


Рис. 4. Зависимость содержания окатышей в пристеночной зоне доменной печи ($C_{оп}$) со скиповой доставкой шихты на колошник от массы головной части смешанной железорудной порции. Содержание окатышей в шихте ($C_{ош}$) – 30,0 %. Аппроксимация квадратичной функцией y = 0,0706x² - 2,9568x + 50,862: R = 0,896 (○ - ПР1; y = 0,0387x² - 1,945x + 46,146; R = 0,969; □ - ПР2; y = 0,0822x² - 3,1997x + 49,836; R = 0,984; △ - ПР3; y = 0,0909x² - 3,7257x + 56,604; R = 0,989)

зависимостью $C_{оп} = A\cdot(m_A^{(Г)})^2 + B\cdot m_A^{(Г)} + C$ (1). Общей особенностью полученных зависимостей $C_{оп} = f(m_A^{(Г)})$ является наличие области минимального содержания окатышей в пристеночной зоне $C_{оп}^{min}$, которому соответствует определенное значение массы головной части ($m_A^{(Г)}$). Указанное значение $m_A^{(Г)}$ может быть принято в качестве верхнего предела этого параметра при заданном содержании окатышей в шихте, поскольку дальнейшее увеличение $m_A^{(Г)}$ теряет смысл и, более того, увеличивает вероятность образования массивов материалов с высокой концентрацией окатышей. Таким образом, технологически обоснованный предел изменения аргумента ($m_A^{(Г)}$) в зависимости $C_{оп} = f(m_A^{(Г)})$, для каждого варианта значений количества материалов, выгружаемых в периферийную зону, и содержания окатышей в шихте, может быть ограничен значением, соответствующим $C_{оп}^{min}$. Из приведенных результатов следует, что технологически обоснованное максимальное значение $m_A^{(Г)}$ составляет ≈ 50 % общей массы смешанной железорудной порции. При содержании окатышей в шихте $C_{ош} \geq 50{,}0$ %, как правило, вся масса агломерата в составе смешанной железорудной порции составляет ее головную часть, т.е., такая порция в системах с конвейерной доставкой шихты на колошник формируется состыковкой доз агломерата и окатышей на конвейере, а в системах со скиповой доставкой - путем загрузки всей массы агломерата в порции в верхний слой первого скипа.

При условии ограничения значений аргумента величиной $C_{оп}^{min}$ квадратичные зависимости $C_{оп} = f(m_A^{(Г)})$ могут быть заменены более удобными для использования в практике экспоненциальными эмпирическими зависимостями $C_{оп} = f(m_A^{(Г)})$ без существенного уменьшения точности аппроксимации (рис. 5, 6). В диапазоне изменения содержания окатышей в шихте 20,0–70,0 % коэффициент достоверности аппроксимации при использовании квадратичной зависимости составляет 0,823-0,999. При использовании экспоненциальной зависимости и ограничении массы головной части значением, соответствующим $C_{оп}^{min}$, в этом же диапазоне изменения содержания окатышей в шихте коэффициент достоверности аппроксимации всех исследованных функций практически не уменьшается и находится в интервале 0,851-0,999. Целесообразно оценить влияние количества материалов смешанных железорудных порций, выгружаемых в периферийных угловых положениях лотка БЗУ при различных программах загрузки, на формирование компонентного состава железорудной смеси в этой зоне. Полученные зависимости $C_{оп} = f(m_A^{(Г)})$ показали, что в исследуемых диапазонах значений количества шихтовых материалов, выгружаемых в периферийную зону, изменение этого параметра может вызвать отклонение расчетного содержания окатышей в пристеночной зоне от среднего значения не более, чем на 5,0 % (максимальные отклонения соответствуют высоким значениям содержания окатышей в шихте).

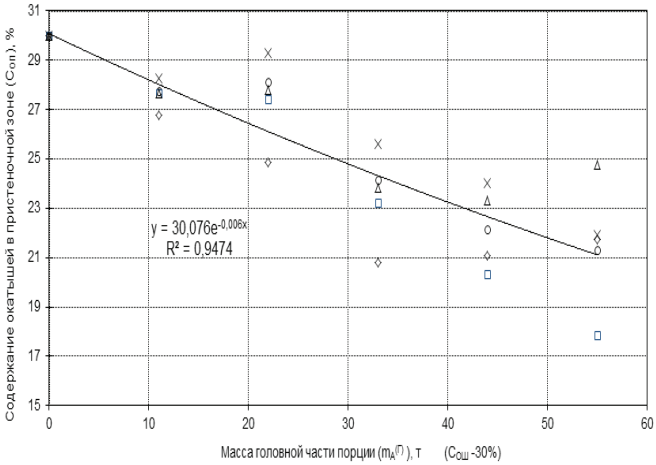


Рис. 5. Зависимость содержания окатышей в пристеночной зоне доменной печи ($C_{оп}$) с конвейерной доставкой шихты на колошник от массы головной части смешанной железорудной порции. Содержание окатышей в шихте ($C_{ош}$) – 30,0 %. Аппроксимация экспоненциальной функцией y = 30,076e$^{-0,006x}$; R = 0,973 (○ - ПР1; y = 30,426e$^{-0,007x}$; R = 0,969 □ - ПР2; y = 31,239e$^{-0,01x}$; R = 0,975; △ - ПР3; y = 29,344e$^{-0,004x}$; R = 0,864; ◇ - ПР4; y = 28,689e$^{-0,007x}$; R = 0,904; × - ПР5; y = 30,831e$^{-0,006x}$; R = 0,950)

Дальнейшее приведение указанных зависимостей к виду более удобному для практических расчетов может заключаться в получении усредненной зависимости вида $C_{оп} = a\cdot e^{b\cdot m_A^{(Г)}}$ (2) для каждого расчетного значения содержания окатышей в шихте путем обработки всех полученных значений аргумента и функции при различных программах загрузки. Зависимости, полученные путем обработки всего массива указанных данных и их графики (сплошная линия) показаны на рис. 5, 6.

Как показал анализ полученных результатов, для расчетного определения коэффициентов *a* и *b* в зависимости, приведенной выше, могут быть получены достаточно простые и удобные формулы,

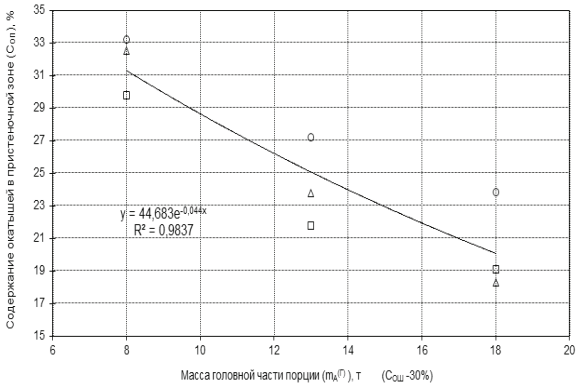


Рис. 6. Зависимость содержания окатышей в пристеночной зоне доменной печи ($C_{оп}$) со скиповой доставкой шихты на колошник от массы головной части смешанной железорудной порции. Содержание окатышей в шихте ($C_{ош}$) – 30,0 %. Аппроксимация экспоненциальной функцией y = 44,683e$^{-0,044x}$; R = 0,992 (○ - ПР1: y = 42,841e$^{-0,033x}$; R = 0,994 □ - ПР2; y = 41,251e$^{-0,044x}$; R = 0,974; △ - ПР3; y = 50,999e$^{-0,057x}$; R = 0,999).

отражающие взаимосвязь значений этих коэффициентов с величиной содержания окатышей в шихте с высокой степенью достоверности аппроксимации (R = 0,968 - 0,999). Графики зависимости значений коэффициентов *a* и *b* от содержания окатышей в шихте и необходимые расчетные формулы приведены на рис. 7–10.

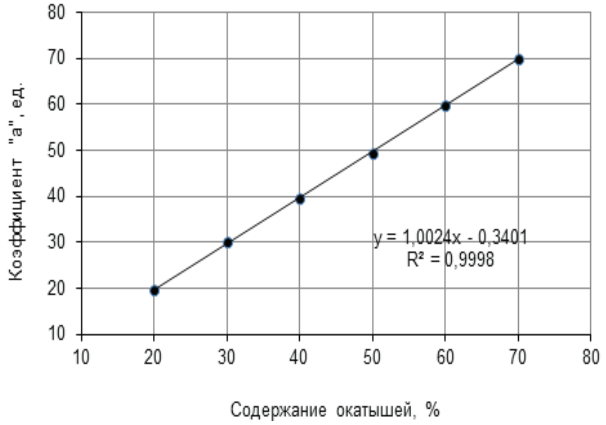


Рис. 7. Зависимость значений коэффициента *a* от содержания окатышей в шихте в формуле (2) для систем загрузки с конвейерной доставкой шихты на колошник

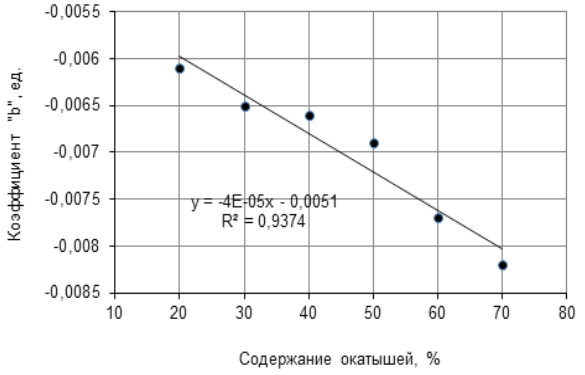


Рис. 8. Зависимость значений коэффициента *b* от содержания окатышей в шихте в формуле (2) для систем загрузки с конвейерной доставкой шихты на колошник

Полученные зависимости позволили сформулировать основные положения методики определения рациональных параметров формирования смешанных железорудных порций на конкретной ДП с учетом особенностей системы загрузки, включая последовательно выполняемые вычислительные операции.

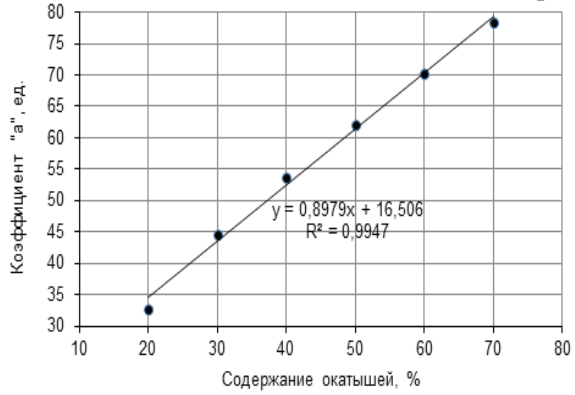


Рис. 9. Зависимость значений коэффициента *a* от содержания окатышей в шихте в формуле (2) для систем со скиповой доставкой шихты на колошник

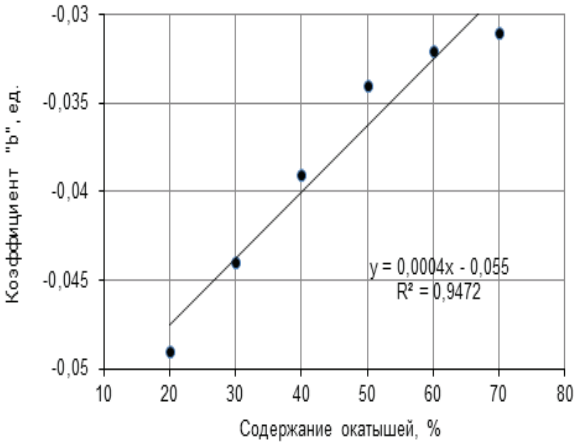


Рис. 10. Зависимость значений коэффициента *b* от содержания окатышей в шихте в формуле (2) для систем со скиповой доставкой шихты на колошник

1. Определение рационального значения массы головной части порции ($m_A^{(Г)}$), обеспечивающего требуемое содержание окатышей в пристеночной зоне по формуле $m_A^{(Г)} = 1/b \cdot \ln (C_{ОП}/a)$, где $a = 1,0024\ C_{ОШ} - 0,3401$; $b = -\ 0,00005\ C_{ОШ} - 0,0051$ – для систем загрузки с конвейерной доставкой шихты на колошник; $a = 0,8979\ C_{ОШ} + 16,506$; $b = 0,0004\ C_{ОШ} - 0,055$ - для систем со скиповой доставкой шихты на колошник.

2. Определение рациональных величин расходов шихтовых материалов при выгрузке из бункерных весов (для систем загрузки с конвейерной доставкой шихты на колошник) согласно приведенным в [1] выражениям.

3. Расчет требуемых временных интервалов между открыванием затворов бункерных весов (для систем загрузки с конвейерной доставкой шихты на колошник) по формуле, приведенной в [1].

В диапазоне содержания окатышей в шихте $C_{ош} < 50,0$ % максимальное значение $m_A^{(Г)}$ не должно превышать 50 % общей массы железорудной порции. При содержании окатышей в шихте $C_{ош} \geq 50,0$ %, как правило, вся масса агломерата в составе смешанной железорудной порции должна составлять ее головную часть.

Определение перечисленных в пп. 1-3 параметров

позволяет сформировать полный объем исходных данных для ввода заданий в АСУ ТП, обеспечивающих формирование смешанных железорудных порций с наиболее рациональной для данных шихтовых условий структурой.

Выводы

Сформулированы общие принципы формирования смешанных железорудных порций при загрузке шихтовых материалов в ДП с конвейерной и скиповой доставкой шихты на колошник. Выполнен анализ расчетных показателей распределения компонентов железорудных порций с исходными условиями, характерными для систем с конвейерной и скиповой доставкой шихты на колошник, при различном содержании окатышей в шихте (20,0-70,0 %), и различных значениях массы головной части железорудных порций (0–80,0 % массы порции). Определены зависимости содержания окатышей в пристеночной зоне ДП от массы головной части смешанных железорудных порций ($m_A^{(Г)}$), которые с достаточной для практических расчетов степенью достоверности могут быть выражены экспоненциальной функцией (коэффициент достоверности аппроксимации составляет 0,973-0,999). Технологически обоснованное максимальное значение $m_A^{(Г)}$ составляет ≈ 50 % общей массы смешанной железорудной порции. На основании полученных результатов сформулированы основные положения методики определения рациональных параметров формирования смешанных железорудных порций, которые использовались при формировании порций этого вида на ДП № 9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», ДП № 5 ОАО «Северсталь» и ДП № 3 ПАО «Енакиевский МЗ».

Библиографический список

1. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. – К.: Наукова думка, 2007. – 412 с.

2. Освоение системы загрузки современной доменной печи / В.И. Большаков, А.Ю. Заремба, Н.Г. Иванча и др.: Обзор. информ. - М.: Ин–т «Черметинформация». - 1989. - 53 с.

Поступила 20.05.2013

◆

УДК 669.02.09:658.58

Производство

Сидоров В.А. /к.т.н./
Донецкий НТУ

Исследования причин износа опорного кольца механизма поворота свода электродуговой печи

На основании проведенных исследований установлено, что основными причинами повреждений опорного кольца механизма поворота свода электродуговой печи являются абразивный износ в результате нарушения режимов смазывания и накопление продуктов износа в смазочном материале; осповидный износ из-за возникающих динамических сил при работе электрической дуги. Ил. 4. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: *электродуговая печь, механизм поворота свода, опорное кольцо, виды механического износа, вибрационные параметры*

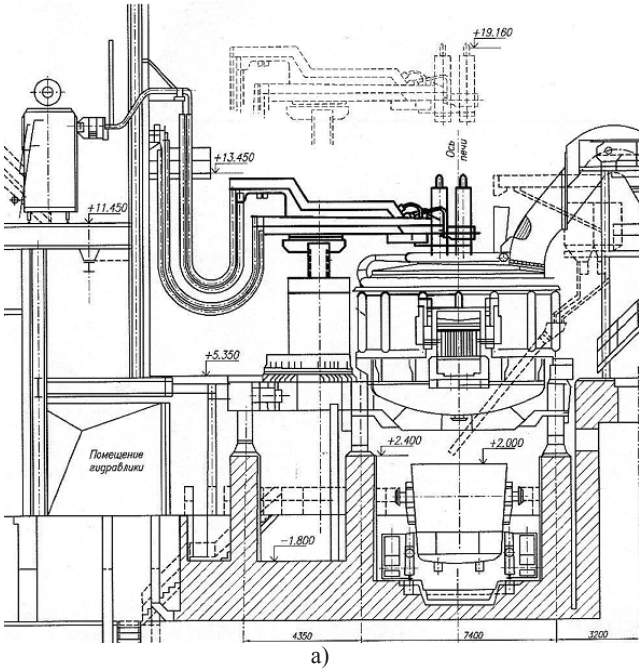
Based on the studies found that the main causes of damage to the support ring rotation mechanism set of electric arc furnace are abrasions as a result of violations of the lubrication regime and the accumulation of wear debris in the lubricant ; ospovidny wear due to the dynamic forces occurring during operation of an electric arc .

Keywords: *electric arc furnace , steering gear set , foot ring , the types of mechanical*

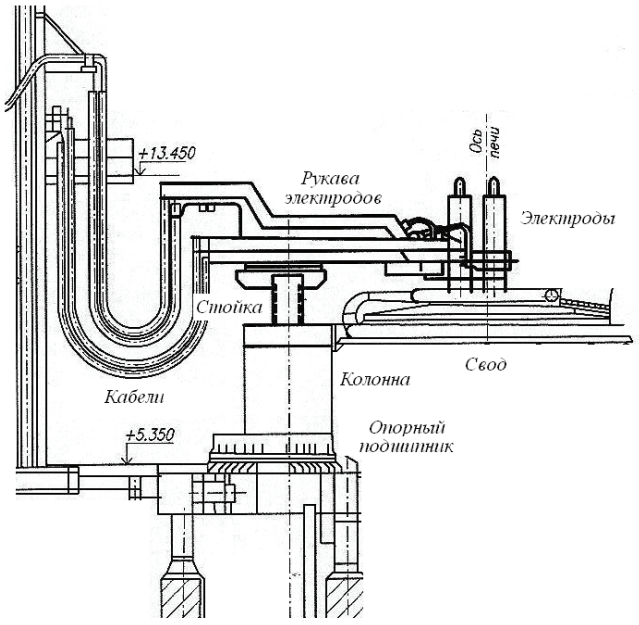
Среди механизмов современной электродуговой печи механизм поворота свода имеет самую низкую ремонтопригодность и, соответственно, должен иметь наибольшую наработку на отказ (рис. 1). Поворот свода печи осуществляется для завалки металлолома и происходит 2-3 раза в течение плавки. При этом последовательно выполняются следующие операции: подъём электродов в верхнее положение, подъём и поворот свода, далее все операции повторяются в обратной последовательности. Конструктивно механизм выполнен в виде поворотной колонны, установленной на опорном кольце с приводом при помощи гидроцилиндра. В поворотной колонне размещаются механизмы перемещения электродов и подъёма свода. Изготовление опорного кольца требует индивидуального заказа, а замена, тем более вне-

© Сидоров В.А., 2013 г.

плановая, приводит к длительной остановке агрегата.



а)



б)

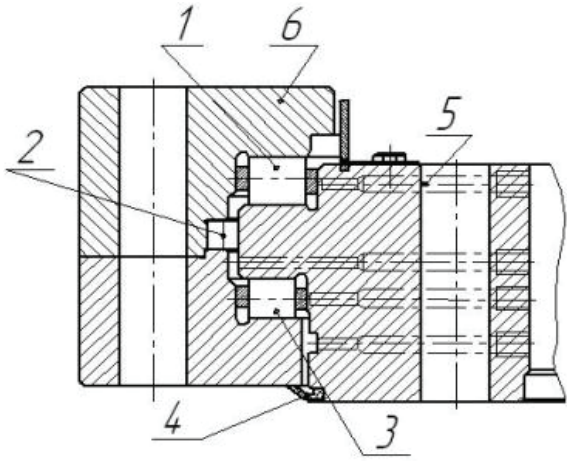
Рис. 1. Общий вид электродуговой печи (а) и механизма поворота свода (б)

Это наиболее нагруженный механизм, воспринимающий вертикальную и консольную нагрузки от колонны (масса до 60 т) и свода (масса до 50 т). Работа опорного кольца связана с частыми поворотами (100-160 циклов в сутки). Дополнительные факторы: односторонний нагрев от дуговой печи и раскалённого свода, запылённая атмосфера и вибрации при работе электрической дуги. В результате создаются условия для ускоренного износа элементов опорного кольца: сепаратора, колец и тел качения [1, 2]. При отсутствии контроля за техническим состоянием – происходит внезапный отказ и внеплановая остановка. Определение причин износа опорного кольца механизма поворота свода электродуговой печи позволяет разработать методы контроля и мероприятия по снижению скорости износа.

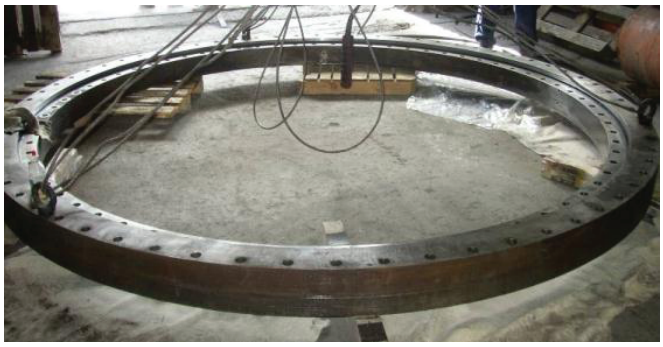
Проведенные исследования включают визуальный осмотр и определение причин износа, определение закономерностей распределения нагрузок в элементах опорного кольца на основании результатов измерений значений износа, измерение вибрационных параметров опорного кольца.

Характеристика объекта исследования

Поворот свода на угол 70-90° осуществляется при помощи гидроцилиндра, шток которого крепится к рычагу поворотной колонны. Колонна, соединена со сводом печи, имеющим возможность вертикального перемещения. Для поворота колонны на раме печной платформы установлено трехрядное роликоподшипниковое поворотное кольцо (рис. 2). Диаметр опорного кольца составляет 2,5-3,5 м, высота 150-190 мм. Смазка осуществляется при помощи централизованной системы.



а)



б)

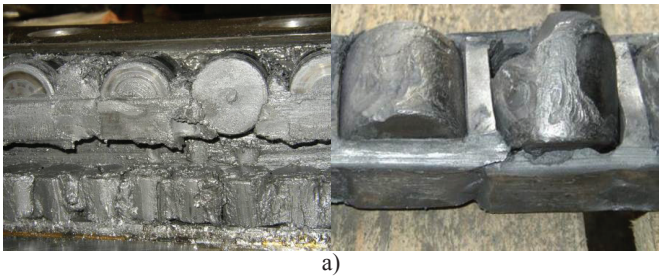
Рис. 2. Конструкция (а) и общий вид (б) трехрядного роликоподшипникового поворотного кольца: 1 - опорные ролики; 2 - радиальные ролики; 3 - контропорные ролики; 4 – пыльник; 5 - неподвижное кольцо с каналами для подачи смазки; 6 - подвижное кольцо

Расчет срока службы по значениям вертикальной нагрузки и опрокидывающего момента проводился в соответствии с методикой фирмы производителя Rothe Erde [3]. Исходными данными принималась суммарная масса поворачивающихся элементов и геометрические размеры механизма. Результаты дают повышенные в 2-4 раза значения, по сравнению

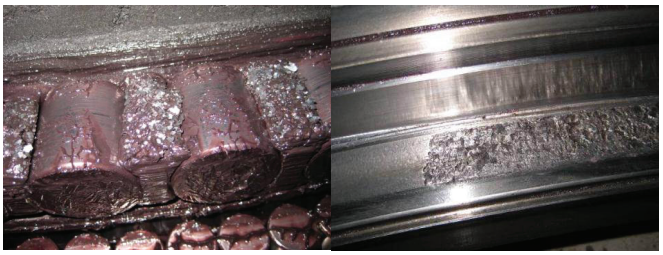
с фактическим сроком службы. Это указывает, что предложенная методика не учитывает всех факторов работы опорного кольца в составе механизма поворота, в частности ограниченный угол поворота.

Визуальный осмотр и определение видов механического износа выполнены для трёх повреждённых опорных колец в 2004, 2009 и в 2012 гг.

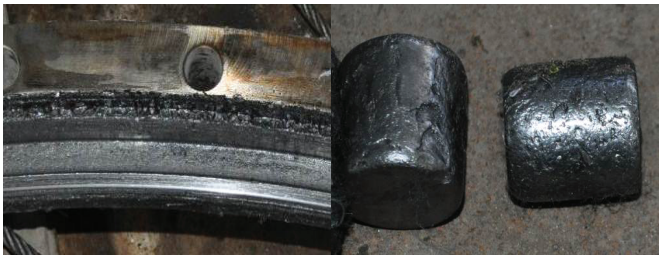
Анализ причин повреждений (2004 г.). Разборка отказавшего подшипника позволила установить, что полости всех рядов роликов заполнены закоксовавшейся смазкой черного цвета. Особенно высокой плотностью отличалась смазка верхнего, разрушенного ряда роликов (рис. 3а). Преобладающим был абразивный износ из-за окисления (коксования) смазочного материала и накопления продуктов износа в застойной зоне верхнего ряда роликов. Следствием стал ускоренный износ роликов и беговых дорожек верхнего ряда роликоподшипникового кольца, неравномерное распределение сил между телами качения. Это вызвало перекос роликов, прекращение перекатывания тел качения, деформацию роликов верхнего ряда и повреждения сепаратора. Источником абразива послужили продукты изнашивания, не отводимые смазочным материалом с верхнего ряда роликов.



а)



б)



в)

Рис. 3. Визуальный осмотр опорного кольца: а) в 2004 г. - продукты окисления и износа в смазочном материале, повреждения сепаратора и деформация роликов; б) в 2009 г. - продукты износа в смазочном материале верхнего ряда, осповидное выкрашивание беговой дорожки; в) в 2012 г. - абразивный износ беговой дорожки, осповидное выкрашивание на поверхности тел качения

Для повышения долговечности подшипника, было предложено изменить режим смазывания. Одновременно проведены мероприятия по защите подшипника от теплового излучения путем установки защитных экранов. Это привело к изменению характера износа подшипника, что зафиксировано при осмотре подшипника замененного в апреле 2009 г.

Анализ причин повреждений (2009 г.). Разборка изношенного подшипника показала, что условия смазывания всех рядов роликов были удовлетворительными. На верхнем ряду роликов присутствовали продукты износа (рис. 3б). На беговых дорожках верхнего кольца преобладало осповидное выкрашивание, возникающее при давлениях, превышающих предел выносливости. Следы осповидного износа зафиксированы на отдельных роликах верхнего опорного ряда. Обнаружены фрагменты поврежденного сепаратора в полости подшипника.

Анализ причин повреждений (2012 г.). Внешние повреждения на опорном кольце отсутствовали. Обнаружена окисленная смазка с удовлетворительной вязкостью (коксования смазки не произошло), изношенный сепаратор, разрушенные части сепаратора, развернутые ролики, некоторые ролики заклинены в окнах сепаратора. После очистки поверхностей установлено наличие абразивного износа (рис. 3в). Отмечено осповидное выкрашивание на телах качения.

Общим для трёх случаев повреждений опорного кольца явилось наличие абразивного и осповидного износа. При этом начальная стадия осповидного выкрашивания могла повысить интенсивность абразивного износа из-за накопления продуктов износа в смазочном материале. Причина возникновения осповидного износа и появление нагрузок, превышающих предел выносливости материала для деталей опорного кольца потребовала проведения дополнительных исследований.

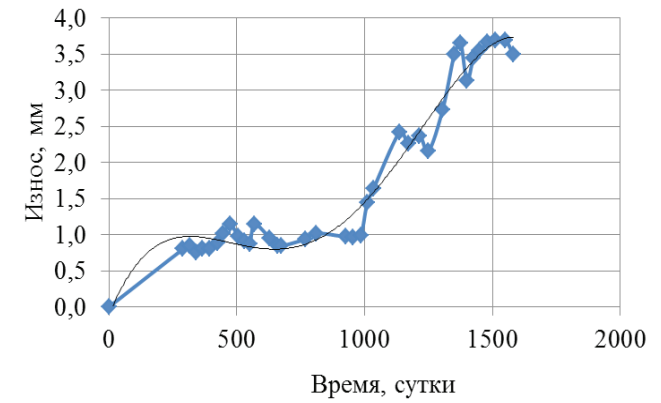
Определение закономерностей распределения нагрузок в элементах опорного кольца проведено на основании результатов измерений значений износа для всех рассмотренных случаев. Установлено, что кольца подшипника в секторе 90-120° не имеют следов износа. Характер износа – однотипен.

Износ верхнего поворотного кольца опорного подшипника расположен почти симметрично относительно оси свода. Сектор износа верхнего поворотного кольца опорного подшипника меньше, а глубина износа больше по сравнению с неподвижным кольцом. Зависимость между износом и удалением от наиболее нагруженной зоны носит линейный характер. Полученные зависимости могут быть использованы для определения зоны максимальной нагрузки при проектировании и изготовлении опорного кольца.

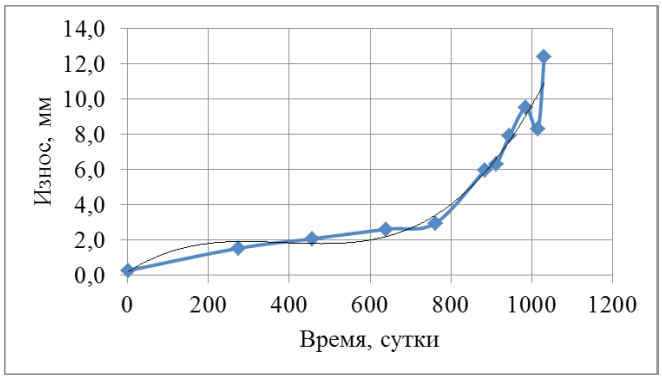
Преобладание абразивного износа позволяет использовать предположение о пропорциональности между распределением сил на тела качения и диаграммой распределения износа верхнего поворотного кольца, в случае преобладания абразивного износа. Исходя из данного предположения проведен расчёт фактических напряжений в зоне контакта. Полученные значения 1300-1500 МПа в 2,5-3,1 раза меньше предельного значения 4000 МПа указанного в стандарте [4].

Конкретные значения сектора и глубины износа для рассмотренных случаев были различными. Однако, результаты расчета по определению напряжений в зоне контакта показали, что максимальные нормальные напряжения практически не менялись. Следовательно, статическая нагрузка не могла послужить причиной возникновения осповидного выкрашивания.

Исследования закономерностей скорости износа опорного кольца проведены на основании результатов измерения от элемента поворотного кольца до неподвижной фиксированной базы, в соответствии с рекомендациями [3]. Измерения проводились ежемесячно при идентичных условиях расположения свода относительно печи. Получены две реализации. Закономерности износа для наиболее нагруженной точки приведены на рис. 4.



а)



б)

Рис. 4. Изменение зазора наиболее нагруженной точки опорного подшипника: а) результат 1 - уравнение линии тренда $y = -7E-12x^4 + 2E-08x^3 - 2E-05x^2 + 0,0087x - 0,1176$; достоверность аппроксимации $R^2 = 0,968$; б) результат 2 - уравнение линии тренда $y = 4E-08x^3 - 4E-05x^2 + 0,015x + 0,1693$; достоверность аппроксимации $R^2 = 0,953$

Полученные результаты указывают на развитие повреждения по модели развития износовых повреждений [5], с различными параметрами. В первом случае, скорость износа резко увеличилась после 1,0 мм, а во втором после 3,0 мм. Различно и время установившейся скорости износа. Это возможно объяснить характеристиками индивидуального изготовления и различиями в условиях эксплуатации - действующими фактическими силами, жесткостью элементов конструкции.

Исследования вибрационных параметров опорного кольца проведены для оценки состояния опорного кольца и действующих сил во время плавки и работы электрической дуги.

На *первом этапе исследований* основной целью измерения вибрационных параметров являлась оценка технического состояния опорного кольца. Проводились измерения временного сигнала виброускорения при помощи спектроанализатора вибрации 795М на опорном кольце механизма поворота при открытии и закрытии свода. Крепление датчика осуществлялось при помощи магнита. Направление измерений – горизонтальное, в точке, ближайшей к печи. Контролируемый частотный диапазон 2-400 Гц. Полученные результаты указывали на следующие факты:

- малый размах значений виброускорения – до 1,0 м/с^2;
- увеличение значений виброускорения при повреждениях до 6,0-9,0 м/с^2;
- форма вибрационного сигнала позволяет фиксировать: затухающие колебания при начале движения, задевания при повороте, движение исправного и неисправного опорного кольца;
- временная реализация вибрационного сигнала виброускорения, соответствующая удовлетворительному состоянию, имеет стабильный характер с частотой 6,7-6,9 Гц (145-149 мс) с малыми амплитудными значениями (размах 0,79 м/с^2).

Второй этап исследований связан с измерением вибрационных параметров на опорном кольце во время плавки и воздействия электрической дуги. Измерение вибрационных параметров проведено на опорном кольце, в точке ближайшей к печи, в вертикальном направлении. В данной конструкции опорный подшипник является наиболее податливым элементом. Силы, возникающие при работе электрической дуги возбуждают колебания поворотной колонны, люльки и передаются на фундамент.

Спектральный состав вибрационных колебаний включает составляющие, определяемые состоянием металлических конструкций печи и работой электрической дуги. Так, измерения проведенные до ремонта содержали составляющие на частоте 8, Гц, 17 Гц (резонансная частота элементов конструкции), 100 Гц, 200 Гц, 300 Гц – составляющие от воздействия электрической дуги. Отмечено присутствие ударных нагрузок. После ремонта спектральный состав изменился – появилась модуляция вибрационного сигнала частотой 2 Гц основной частоты 50 Гц. Ударные нагрузки не зафиксированы.

Временная форма сигнала содержит несколько режимов работы, отличающихся частотой и формой колебаний. Эти различия связаны с технологическими периодами работы электрической дуги. Реализации по этапам плавки отличаются изменением амплитудных значений от 1,8-3,0 м/с^2 в режиме доводки до 5,5-14,2 м/с^2 при начале плавки. При работе электрической дуги зафиксированы значения виброскорости до 73 мм/с в размахе. Следовательно, увеличение ско-

рости износа опорного кольца связано с увеличенной вибрацией и динамической нагрузкой.

Выводы

1. На основании анализа видов механического износа установлено, что основными причинами повреждений опорного кольца механизма поворота свода электродуговой печи являются: абразивный износ в результате нарушения режимов смазывания и накопления продуктов износа в смазочном материале; осповидный износ из-за возникающих динамических сил при работе электрической дуги.

2. Параметры износа колец позволили определить закономерности распределения нагрузки в опорном кольце между телами качения и рассчитать фактические напряжения в зоне контакта. Контактные напряжения наиболее нагруженных роликов опорного кольца в статическом режиме не превышают допустимых значений.

3. Полученные результаты измерения временного сигнала виброускорения на опорном кольце механизма поворота при повороте свода показали увеличение значений виброускорения при увеличении скорости износа от 1,0 м/с^2 до 6,0-9,0 м/с^2; возможность определения затухающих колебаний при начале движения, задевания при повороте, движения исправного и неисправного опорного кольца.

4. Проведены измерения вибрационных параметров на опорном кольце во время плавки и воздействия электрической дуги. Увеличение скорости износа опорного кольца может быть связано с увеличенной вибрацией и соответственно, динамической нагрузкой. Амплитуда виброускорения при начале и окончании плавки отличается в 10 раз. Контроль вибрации в процессе плавки позволит контролировать накопление повреждений в металлоконструкциях и деталях опорного кольца.

5. Снижение вибрационных параметров и скорости износа опорного кольца возможно при изменении конструкции люльки и крепления опорного кольца, использовании амортизирующих материалов, обеспечении равномерной затяжки резьбовых соединений в процессе эксплуатации.

Библиографический список

1. Сидоров В.А., Аввакумов С.И., Шепель В.М., Золкин И.Г. Определение характера распределения нагрузок в элементах металлургических машин по износу деталей // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 2006. - № 1. - С. 99-102.

2. Сидоров В.А. Оценка состояния механизма поворота свода электродуговой печи // Главный механик. – 2010. - № 2. - С. 39–47.

3. Rothe Erde GmbH. D-44137. Dortmund. 2004. – 172 с.

4. ГОСТ 18854-94. Подшипники качения. Статическая грузоподъемность. Введ. с 01.09. 1996. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 18 с.

5. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. Под ред. Б.В.Гнеденко. - М.: Советское радио, 1966. – 166 с.

Поступила 03.04.2013

◆

УДК 621.879

Наука

Койнаш В.А., Крупко В.Г. /к.т.н./
Донбасская ГМА

Теоретические исследования влияния геометрических параметров гусеничных звеньев на работоспособность ходового оборудования землеройных машин

Разработана математическая модель и программное обеспечение для исследования силовых и кинематических параметров в гусеничных звеньях землеройных машин. Показана эффективность применения гусеничных звеньев с модифицированной опорной поверхностью для снижения скорости износа проушин и амплитуды колебаний нагрузок на катки. Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: *гусеничное звено, землеройная машина, математическая модель, износ, нагрузка*

The mathematical model and the software for the research of power and kinematic parameters of track links of the diggers moving equipment are elaborated. There have been shown the efficiency of application of track links with the modified support surface for reducing the rate of wear out eyelets and the amplitude of vibration and loads upon rollers.

Keywords: *track link, digger, mathematical model, wear, load*

Введение

Благодаря известным преимуществам, гусеничный ход является наиболее распространенным ходовым оборудованием для такого класса землеройных

© Койнаш В.А., Крупко В.Г., 2013 г.

машин как строительные и карьерные одноковшовые экскаваторы. Условия работы данных машин существенно отличаются от условий работы гусеничных транспортных машин, прежде всего значительными массами и небольшими скоростями перемещения. Несмотря на большое количество исследований, существует ряд вопросов, решение которых имеет интерес как с точки зрения теории гусеничного хода землеройных машин, так и с точки зрения инженерной практики. Одним из таких вопросов является обоснование рациональных геометрических параметров гусеничных звеньев с целью снижения скорости их износа и обеспечения более равномерного распределения давления на грунт. Решение данной задачи не возможно без учета кинематических и силовых взаимодействий элементов хода между собой и внешней средой.

Постановка задачи

В данной работе ставится задача на основе разработанной математической модели, алгоритмов и программного обеспечения показать целесообразность модификации опорной поверхности гусеничных звеньев землеройных машин с целью уменьшения локального давления на грунт в зоне шарниров и износа проушин.

Анализ литературных источников

Основные фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования в области гусеничного ходового оборудования, выполненные в 1950-1980-х гг., раскрыли основные закономерности процессов формирования нагрузок, и зависимостей скорости износа от конструктивных параметров и условий эксплуатации. Это позволило проектировать машины, удовлетворяющие требованиям того времени. Однако значительные сложности математической части и небольшие вычислительные возможности не позволяли исследовать процесс взаимодействия элементов гусеничного хода между собой и внешней средой с учетом пространственной картины нагружения, кинематических ограничений и параметров жесткости. В [1, 5] раскрыты основные аспекты построения моделей гусеничного хода экскаваторов используя принципы имитационного математического моделирования и объектно-ориентированного подхода при построении сложных систем. В [1] раскрыты основные аспекты программного обеспечения для моделирования взаимодействия гусеничного хода с внешней средой. При этом математическим аппаратом для разрешения задачи взаимосвязи нагрузок и перемещений был выбран метод конечных элементов. В [3, 4] предложено и обосновано использование гусеничных звеньев с опорной поверхностью, части которой выступают за оси проушин, благодаря чему уменьшается локальное давление в зоне шарниров. Однако, необходимы теоретические исследования работы гусеничных элементов с модифицированной опорной поверхностью в составе гусеничной цепи и оценка результатов в сравнении с базовой конструкцией.

Изложение материала

Для исследования кинематических и силовых параметров гусеничного хода была составлена расчетная схема, состоящая из гусеничных элементов, рамы и элементов, моделирующих работу катков. На рис. 1 представлены упрощенные модели базовой конструкции гусеничного звена (рис. 1а) экскаватора ЭКГ-10 и с модифицированной опорной поверхностью (рис. 1б) [2]. Опорная поверхность звена базовой конструкции представляет собой прямоугольную область *ABCD* (рис. 1а), расположенную между осями проушин *1* и *2*. Опорная поверхность гусеничного звена предлагаемой конструкции представляет собой многоугольник (в данном случае *ABCDEFGHJKLM*), часть конура которого смещена за ось проушины *1* (рис. 2б). При этом выполняется эквивалентный сдвиг со стороны противоположных проушин (ось *2)*. Следует отметить, что суммарная площадь опорной поверхности как отдельных гусеничных звеньев в обоих случаях одинакова.

Разница в схеме нагружения заключается в том, что в предлагаемой конструкции усилия в проушинах действуют внутри опорного контура *AFGM* (рис. 1б), а в базовой конструкции эти усилия находятся вне опорного контура *ABCD* (рис. 1а). Исходными данными для формирования моделей гусеничных звеньев является информация об узлах и их связях в концепции метода конечных элементов. На рис. 1 представлена визуальная модель конечно-элементной сетки в разработанной программе моделирования после анализа геометрии.

Согласно методу конечных элементов система уравнений для каждого звена расчетной схемы имеет вид

$$\left[K\right]\left\{U\right\}=\left\{P\right\},$$

где K – матрица жесткости элемента системы, определяемая как сумма $\left[K\right]=\sum\left[I_i^{(e)}\right]\left[k_i^{(e)}\right]$, здесь $\left[k_i^{(e)}\right]$ – матрица жесткости конечного элемента; $\left[I_i^{(e)}\right]$ – матрица соответствия; $\{U\}$ – вектор неизвестных перемещений; $\{P\}$ – вектор внешних нагрузок.

Матрица жесткости изопараметрических элементов вычисляется как

$$k^{(e)}=\iiint_V\left[B\right]^T\left[D\right]\left[B\right]dV=\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}\left[B\right]^T\left[D\right]\left[B\right]\cdot\det\left[J\right]drdsdt,$$

где $\left[B\right]$ – матрица дифференцирования; $\left[D\right]$ – матрица упругости; $\left[J\right]$ – матрица Якоби, связывающая локальные и естественные координаты.

Матрица жесткости стержневых элементов строится исходя из функционала полной потенциальной энергии

$$\Pi=\frac{1}{2}\int_0^L\left[EI_y(x)\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)^2+EI_z(x)\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}\right)^2+EA(x)\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+GI_{кр}(x)\alpha^2\right]dx-$$

$$-\int_0^L\left[p_x(x)u+p_y(x)v+p_z(z)w+m_x\alpha+m_y\beta+m_z\gamma\right]dx,$$

где *u, v, w* – линейные перемещения по области стержня вдоль осей *x, y, z*; *α, β, γ* – угловые перемещения по области стержня относительно осей *x, y, z; E* – модуль упругости материала; $I_y(x)$, $I_z(x)$, $I_{кр}(x)$ – моменты инерции сечения стержня относительно

осей *y, z* и *x*.

Вектор внешних нагрузок определяется как

$$\{P\} = \sum_i \left[I_i^{/(e)} \right] \left(\{p_V^{(e)}\} + \{p_S^{(e)}\} + \{p_\varepsilon^{(e)}\} + \{f_k^{(e)}\} \right),$$

где $\{p_V^{(e)}\}, \{p_S^{(e)}\}, \{f_k^{(e)}\}, \{p_\varepsilon^{(e)}\}$ – объемные, поверхностные, сосредоточенные нагрузки и нагрузки от деформаций, приведенные к узловым для каждого конечного элемента.

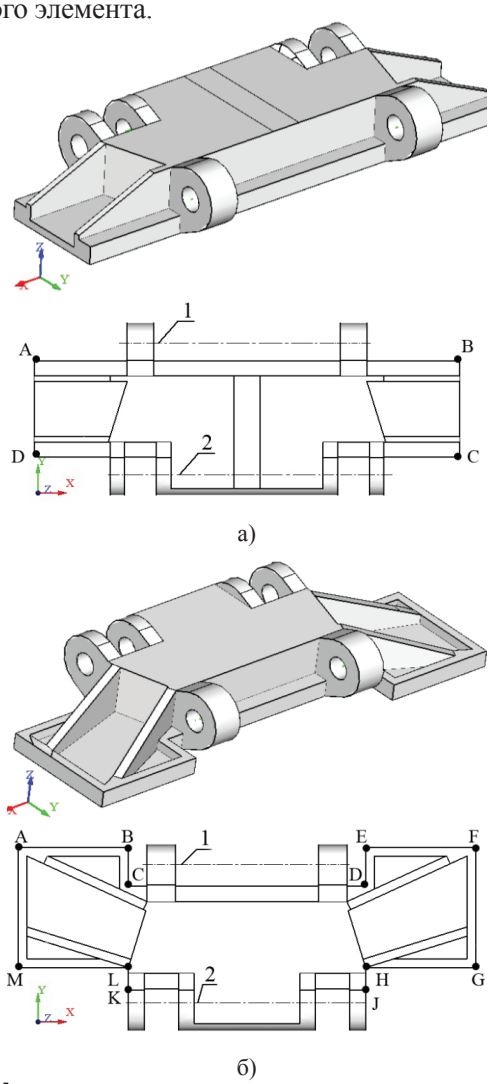


Рис. 1. Модели гусеничных звеньев

Первоначально расчетная схема гусеничного хода автоматически генерируется на основе информации о количестве, расположении и размерах катков, геометрических параметрах гусеничных звеньев. При этом верхняя часть гусеничной ленты состоит из линий провисания, сбегающих с катков (рис. 2а).

Параметры линии провисания определяются исходя из расчетной схемы на рис. 2б, при этом в качестве заданной величины считаем отношение натяжения цепи к распределенному весу (коэффициент *a*)

$$y = y_a + a \cdot \left(\cosh\left(\frac{x - x_0 - x_a}{a} \right) - 1 \right),$$

где *a* – отношение горизонтальной составляющей натяжения к распределенному весу гусеничной ленты.

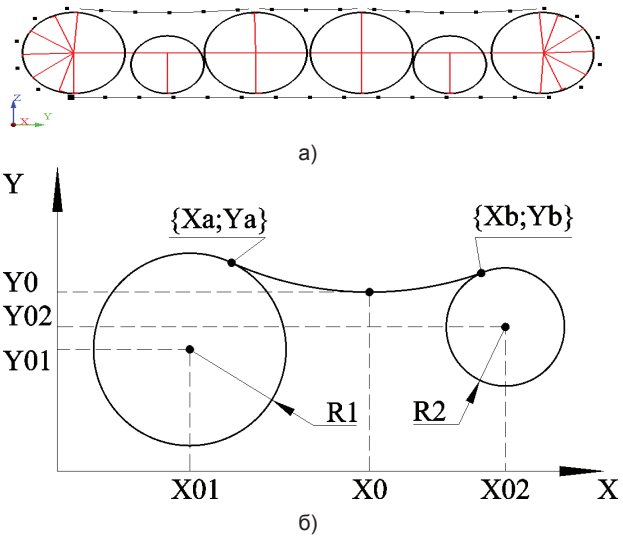


Рис. 2. К определению геометрии гусеничного обвода

Неизвестные координаты контакта с катками (*Xa, Ya, Xb, Yb*), координаты экстремума (*X0, Y0*) и длина цепной линии *L* являются решением системы семи нелинейных трансцендентных уравнений

$$(X_a - X_{01})^2 + (Y_a - Y_{01})^2 = R_1^2,$$

$$(X_b - X_{02})^2 + (Y_b - Y_{0b})^2 = R_2^2,$$

$$y2(X_a, X_a, X_0, Y_0, a) - y1(x_a) = 0,$$

$$y2(X_b, X_a, X_0, Y_0, a) - y3(x_b) = 0,$$

$$\frac{\partial y2(X_a, X_a, X_0, Y_0, a)}{\partial x} - \frac{\partial y1(x_a)}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial y2(X_b, X_a, X_0, Y_0, a)}{\partial x} - \frac{\partial y1(x_b)}{\partial x} = 0,$$

$$L - \int_{X_a}^{X_b} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial y2(X_a, X_a, X_0, Y_0, a)}{\partial x} \right)^2} -$$

$$R_1 \cdot \arcsin\left(\frac{X_a - X_{01}}{R_1}\right) - R_2 \cdot \arcsin\left(\frac{X_{02} - X_b}{R_2}\right) = 0,$$

где $y1(X)$ – уравнение дуги окружности первого катка

$$y1(X) = \sqrt{R_1^2 - (X - X_{01})^2} + Y_{01};$$

$y2(X, X_a, X_0, Y_0, a)$ – уравнение цепной линии

$$y2(X, X_a, X_0, Y_0, a) = Y_0 + a \cdot \left(\cosh\left(\frac{X - X_0 - X_a}{a} \right) - 1 \right);$$

$y3(X)$ – уравнение дуги окружности второго катка

$$y3(X) = \sqrt{R_2^2 - (X - X_{02})^2} + Y_{02}.$$

Первые два уравнения системы ограничивают область контакта цепной линии с окружностями катков. Вторая пара уравнений обеспечивает равенство зна-

чений функций в точках контакта. Третья пара уравнений обеспечивает равенство первых производных в точках контакта (сопряжение по касательной). Последнее уравнение определяет общую длину линии провисания с учетом облегания катков.

Результат формирования первоначального гусеничного обвода представлен на рис. 3, при этом стрела провисания зависит от заданного натяжения в ходовом механизме.

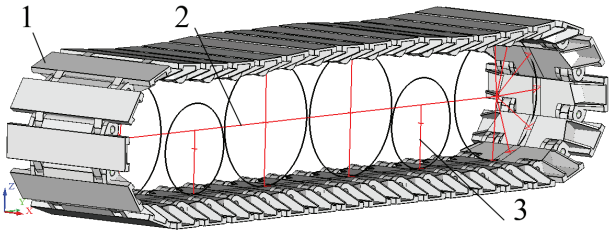


Рис. 3. Расчетная схема гусеничного механизма: 1 – гусеничные звенья; 2 – стержневая система гусеничной рамы; 3 – стержневые элементы, моделирующие работу катков

Для работы элементов расчетной схемы как единой системы, перед формированием разрешающих уравнений, выполняется процедура объединений линейных и угловых перемещений соответствующих узлов (рамы, стержней моделирующих работу катков, проушин звеньев и др.). Вследствие этого обеспечиваются кинематические ограничения и совместность работы гусеничных звеньев, а также передача на них реакций со стороны рамы (рис. 4).

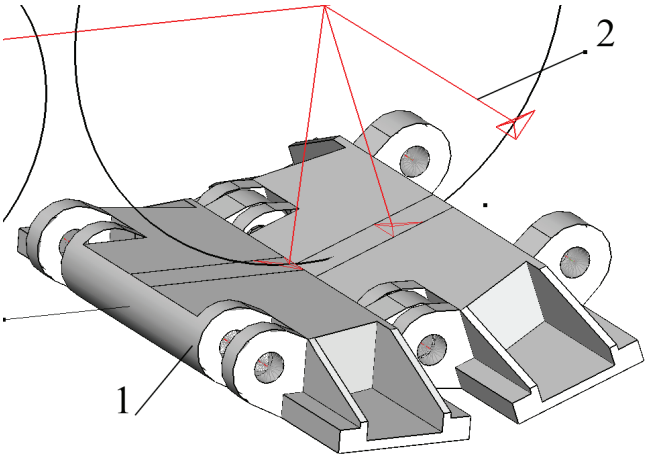


Рис. 4. Элемент расчетной схемы гусеничного механизма: 1 – гусеничное звено; 2 – стержневая система конечных элементов для моделирования работы катков

Реакция со стороны грунта на опорную площадку звеньев моделируется стержневыми конечными элементами, воспринимающими только сжимающие нагрузки. Жесткость каждого элемента назначается в зависимости от коэффициента сопротивления грунтов смятию k, Н/м^3 по формуле

$$C = \sum A_i \cdot k \cdot f_i,$$

где A_i – площадь опорной поверхности, приходящаяся на i-й элемент; k – коэффициент сопротивления грунтов смятию, который в общем случае зависит от истории нагружения и может иметь произвольное распределение по опорной поверхности звеньев; f_i – удельная площадь опорной поверхности, приходящаяся на каждый стержневой элемент и рассчитывается как

$$\{f\} = \int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} H^T \cdot \overline{q}\ ds,$$

здесь H^T – функции формы конечного элемента; $\overline{q}$ – интерполяция поверхностных нагрузок при помощи функций форм, $\overline{q} = \sum H \cdot \overline{q}_L$; $\overline{q}_L$ – узловые значения поверхностных нагрузок.

Если принять величину давления опорной площадки гусеничного звена на грунт равную единице, вектор $\{f\}$ будет содержать удельные значения рассматриваемой площади, т.е. $\sum f_i = 1$. Умножив удельные значения на площадь поверхности элемента и просуммировав по всем поверхностям элементов, получим площади опорной поверхности, приходящиеся на каждый стержневой конечный элемент, которым моделируется грунт.

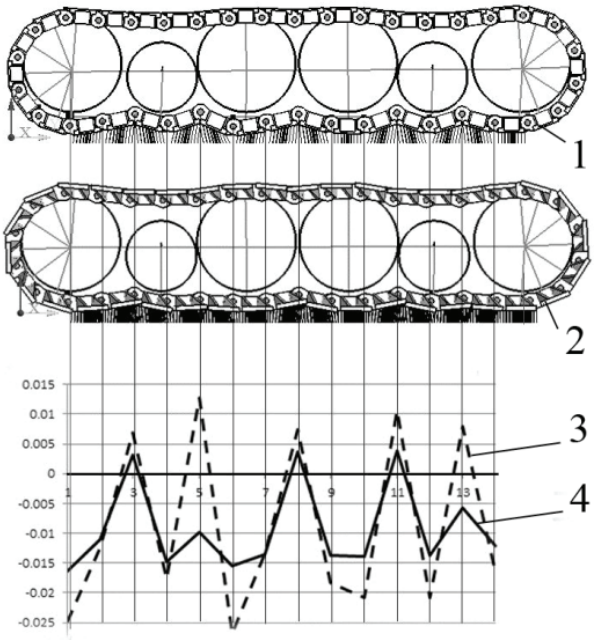


Рис. 5. Результат расчета взаимодействия гусеничного хода с грунтом: 1 – смещение гусеничных звеньев при базовой геометрии опорной площадки; 2 – смещение гусеничных звеньев при предлагаемой геометрии опорной площадки; 3, 4 – графики перемещений точек гусеничных звеньев базовой конструкции и конструкции со смещенной опорной площадкой

Полученные расчетные схемы были загружены активными силами (приложенными к раме). При этом распределение нагрузок между катками, гусеничными звеньями и другими элементами расчетной схемы является результатом расчета и зависит от таких факторов, как геометрия и жесткость опорной поверхности грунта, положения катков на гусеничной ленте, величины и направления внешней силы, геометрических и жесткостных параметров всех составляющих гусеничного хода.

На рис. 5 приведено состояние гусеничных лент после нагружения. Для наглядности величина деформаций увеличена в пять раз. Как видно на рис. 5, ниж-

няя расчетная схема с модифицированной опорной поверхностью имеет значительно меньшую амплитуду перемещений шарниров. График распределения вертикальных перемещений показывает, что осадка грунта под шарнирами гусеничных звеньев со смещенной опорной площадкой на 30–40 % меньше, чем при тех же условиях для гусеничной ленты с классическими звеньями.

Выводы

Полученные результаты показывают целесообразность применения гусеничных звеньев со смещенной опорной площадкой для снижения концентрации давления на грунт гусеничной машины и уменьшения пути трения в шарнирах при циклических нагружениях как во время выполнения основного технологического процесса, так и при передвижении. Разработанное программное обеспечение может быть использовано как средство поддержки проектирования при обосновании параметров гусеничного хода с учетом физико-механических характеристик опорной площадки будущего места работы машины.

Библиографический список

1. Обоснование параметров гусеничного привода на основе имитационного математического моделирования / В.А. Койнаш // Известия ТулГУ. (Россия). – 2009. – Вып. 2, ч. 1. – С. 92-97.

2. Пат. 59242 Украина, МПК(2009) E02F 3/00. Ланка гусеничного ланцюга / Койнаш В.О.; заявник та власник Донбаська державна машинобудівна академія. – № 4799/ЗУ/10; заявлено 13.10.2010; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9.

3. Койнаш В.А. Экспериментальные исследования процесса взаимодействия со средой гусеничных звеньев землеройных машин // Підйомно-транспортна техніка. – 2010. – № 1. – С. 23-29.

4. Повышение ресурса гусеничного ходового оборудования карьерных экскаваторов / В.А. Койнаш, В.Г. Крупко, А.В. Веснин // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – № 27. – С. 181-184.

5. Койнаш В.А. Оптимизация конструктивных параметров гусеничных звеньев ходового оборудования землеройных машин // Вісник Донбаської ДМА. – 2011. – № 2(23). – С. 74-78.

Поступила 03.04.2013

◆

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Поскольку наш журнал входит в перечень изданий, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ по техническим (Бюл. ВАК №5, 1999) и экономическим (Бюл. ВАК №6, 2000) наукам, редакция обращается к Вам с просьбой при подготовке статей учитывать требования **Постановления Президиума ВАК Украины №7-05/1 от 15.01.2003 "ПРО ПІДВИЩЕННЯ ВИМОГ ДО ФАХОВИХ ВИДАНЬ, ВНЕСЕНИХ ДО ПЕРЕЛІКІВ ВАК УКРАЇНИ"** (Бюл. ВАК №1, 2003), которыми предписывается:

"…**3.** *Редакційним колегіям організувати належне рецензування та ретельний відбір статей до друку. Зобов'язати їх приймати до друку у виданнях, що виходитимуть у 2003 році та у подальші роки, лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.*

4. *Спеціалізованим ученим радам при прийомі до захисту дисертаційних робіт зараховувати статті, подані до друку, починаючи з лютого 2003 року, як фахові лише за умови дотримання вимог до них, викладених у п. 3 даної постанови...*"

Журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» читают практически на всех предприятиях металлургического комплекса Украины и СНГ, в десятках ВУЗов и НИИ, а также в ряде зарубежных стран, поэтому редакция еще раз обращается к авторам с просьбой тщательно вычитывать материалы перед отправкой в редакцию.

Редакция журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность»Тел. (0562) 46-12-95, отв. секретарь (056) 744-81-66. E-mail: metinfo@metinform.dp.ua; mgp@metaljournal.com.ua.

УДК 621.746
Наука

Бирюков А.Б. /к.т.н./
Донецкий НТУ

Оценка параметров работы двухвалковой МНЛЗ на основе анализа процесса теплопередачи

Целью исследования является создание методики для оценки параметров работы двухвалковой МНЛЗ на основе анализа процесса теплопередачи. Предметом исследования являются тепловые процессы в двухвалковой МНЛЗ. Исследование проведено при помощи метода теплотехнического анализа. Получена методика, позволяющая оценить величину затвердевшей доли поперечного сечения полосы в момент выхода из области контакта с валками. Созданная методика необходима для предпроектной проработки двухвалковых МНЛЗ и управления температурно-скоростным режимом таких агрегатов. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: *двухвалковая МНЛЗ, полоса, теплопередача, теплотехнический анализ, температурно - скоростной режим*

The aim of the study is to provide a method for estimating the parameters of a twin roll caster based on the analysis of heat transfer process . The subject of the study are the thermal processes in the two-roll casters . The study was conducted using the method of heat engineering analysis. Received technique allowing to estimate the proportion of the cross-sectional solidified strip as it leaves the area of contact of the rollers . A technique is needed for pre-design two-roll casters and control of temperature- speed operation of such units .

Keywords: *twin roll caster , strip , heat transfer, Thermal analysis , temperature- speed mode*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Известно, что приближение размера заготовок к конечному размеру проката позволяет в значительной мере экономить энергоресурсы на дальнейшую прокатку заготовок [1]. Кроме того появляется возможность повышения однородности заготовок за счет увеличения доли поперечного сечения, представленного зоной равноосных кристаллов, и снижения степени развития ликвационных явлений [2]. Так, в последнее время значительное развитие в мировой практике получила технология разливки стали в лист (полосу) на двухвалковых МНЛЗ. Освоение такой технологии в отечественной практике является актуальной задачей, решение которой позволит значительно поднять уровень конкурентоспособности украинской металлопродукции [1, 3].

Анализ публикаций по теме исследования

Конструктивный принцип литья полосы в двухвалковом кристаллизаторе заключается в том, что два валка с водоохлаждаемыми медными рубашками расположены горизонтально на некотором расстоянии один от другого. Зазор между ними определяет толщину отливаемой полосы. Ванна жидкого металла расположена между валками и торцевыми уплотнениями. Свежие порции металла поступают через погружной сталеразливочный стакан. При вращении валков навстречу друг другу жидкий металл втягивается в зазор между ними и кристаллизуется на медной водоохлаждаемой поверхности, как в обычном кристаллизаторе МНЛЗ, образуя полосу, которая вытягивается вниз и быстро затвердевает.

Несмотря на значительное преимущество литья стали в двухвалковый кристаллизатор в плане энергосбережения и снижения себестоимости конечного продукта, сегодня эта технология еще не получила всеобщего распространения. Этот факт объясняется сложностями конструкционного характера при изготовлении важнейших узлов двухвалковых МНЛЗ (например, выбор оптимального диаметра валков, выбор материала и технологии изготовления боковых преград и т.д.). Кроме того, зачастую качество продукции, полученной на двухвалковых МНЛЗ, уступает качеству полосы и листа, полученных традиционным способом [1, 3]. Так, часто приходится иметь дело с образованием трещин, вызванных термическими напряжениями. Анализ конструкций установок, рассчитанных на промышленное использование, свидетельствует о том, что пока нет единого мнения об оптимальном диаметре валков. Поэтому в мировой практике продолжаются интенсивные исследования в данной области, нацеленные на решение названных проблем.

В связи с этим чрезвычайно важной задачей представляется создание методик для определения основных технологических и конструктивных параметров разливки стали на двухвалковых МНЛЗ.

Постановка проблемы исследования

Целью данной работы является создание методики, позволяющей на основании анализа теплового баланса двухвалковой МНЛЗ, учитывающего конструктивные и технологические параметры, оцени-

© Бирюков А.Б., 2013 г.

вать толщину затвердевшей корки металла в момент выхода полосы из двухвалкового кристаллизатора. Наличие такой методики необходимо на стадии предпроектной проработки двухвалковых МНЛЗ, также она может быть использована при создании алгоритмов управления параметрами температурно-скоростного режима действующих агрегатов.

Изложение материала и результаты

Система первичного охлаждения двухвалковых МНЛЗ, как правило, выполнена следующим образом: на стальные обечайки валков с небольшим зазором закреплена наружная медная стенка. Охлаждающая вода проходит по щелевому каналу между медной наружной стенкой и стальной обечайкой (рис. 1).

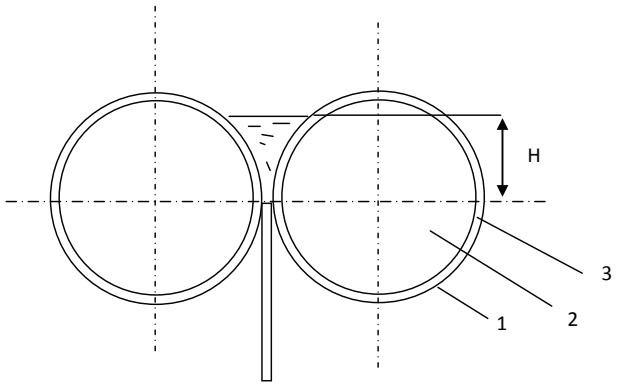


Рис. 1. Схема формирования полосы на двухвалковой МНЛЗ: 1 – наружная медная стенка; 2 – стальная обечайка; 3 – щелевой зазор для прокачивания воды; H – высота налива металла

Общая тепловая мощность, которую необходимо отвести в рамках первичного охлаждения двухвалковой МНЛЗ для полного затвердевания полосы и охлаждения металла на заданную величину

$$Q = \frac{m}{3,6} \cdot (q_{кр} + c \cdot \Delta t), \qquad (1)$$

где m – производительность МНЛЗ, т/ч; $q_{кр}$ – теплота затвердевания стали, Дж/кг; Dt – заданное понижение среднемассовой температуры затвердевшего метала относительно температуры солидуса, °С; с – средняя теплоемкость затвердевшего металла для значения среднемассовой температуры, усредненного в диапазоне от солидуса до среднемассовой температуры выдачи из МНЛЗ, Дж/(кг×°С).

В практике эксплуатации двухвалковых МНЛЗ для существенного повышения их производительности разливка ведется на повышенных скоростях и в момент выхода расчетного сечения из контакта с валками полное затвердевание расчетного сечения не достигается. В этом случае зависимость (1) записывается следующим образом

$$Q = \frac{m}{3,6} \cdot \phi \cdot (q_{кр} + c \cdot \Delta t),$$

где φ – затвердевшая доля расчетного поперечного сечения полосы.

Средняя плотность теплового потока (Вт/м^2), отводимого от поверхностей, образующих полость кристаллизации, определяется как

$$q = \frac{Q}{F_{общ}},$$

где $F_{общ}$ – общая поверхность охлаждаемых поверхностей, образующих полость кристаллизации, м^2.

В виду сложности изучаемых процессов вопрос выбора значения величины $F_{общ}$ является достаточно дискуссионным. В данной работе автором предложено в качестве $F_{общ}$ использовать сумму поверхностей обоих валков, контактирующих с металлом в каждый момент времени. Таким образом, площадь поверхности охлаждения зависит от диаметра валка (D), ширины полосы (b) и высоты налива металла (H)

$$F = 2 \cdot b \cdot \frac{D}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{2 \cdot H}{D}\right).$$

Для получения качественного листа на предложенных МНЛЗ и их безаварийной работы необходимо подведение такого количества охладителя, которое обеспечило бы отвод заданного количества тепла при отсутствии выпадения накипи на наружной поверхности стальной обечайки и внутренней поверхности медной стенки.

Требуемый расход воды для отвода заданного количества теплоты определяется как

$$G = \frac{Q}{c_в \cdot \Delta t_в},$$

где $\Delta t_в$ – повышение температуры охлаждающей воды в МНЛЗ, °С; $c_в$ – теплоемкость охлаждающей воды, Дж/(кг×°С).

Выбор величины $\Delta t_в$ определяется с учетом двух противоречивых тенденций. С одной стороны, чем больше эта величина, тем меньше требуемый расход воды и соответственно затраты на ее перекачку. С другой стороны, значительный рост $\Delta t_в$ может привести к выпадению накипи. Для классических МНЛЗ величина $\Delta t_в$ в кристаллизаторе составляет, как правило, 5-10 °С. Решение задачи выбора величины $\Delta t_в$ в каждом конкретном случае должно проводиться на основе технико-экономического анализа с учетом схемы водоснабжения, жесткости воды и т.д.

На пути распространения теплоты от металла к охлаждающей воде имеются следующие термические сопротивления: конвективной теплоотдаче от жидкого металла к твердой корке (R_1), теплопроводности через твердую стальную корку (R_2), сложной теплопередаче от наружной поверхности стальной корки к наружной поверхности медной стенки (R_3), теплопроводности через медную стенку (R_4), конвекции от внутренней поверхности медной стенки к охлаждающей воде (R_5). Если проследить путь произвольного расчетного поперечного сечения полосы, начав его от зеркала металла и до выхода из области контакта с валками, то значения сопротивлений R_2, R_3 существенно меняются. Поэтому для расчета теплового баланса двухвалковой МНЛЗ приняты усредненные значения этих величин. Тогда имеем следующий набор зависимостей для определения всех характерных термических сопротивлений

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_м};\quad \overline{R}_2 = \frac{h\cdot\phi}{2\cdot\lambda_{ст}};\quad \overline{R}_3 = \frac{\delta_{эф}}{\lambda_з};\quad R_4 = \frac{\delta_м}{\lambda_м};\quad R_5 = \frac{1}{\alpha_в},$$

где h – толщина полосы, м; $\lambda_{ст}$, $\lambda_м$ – коэффициенты теплопроводности стальной корки при ее средней температуре и медной стенки, Вт/(м·К); $\delta_{эф}$ – среднее значение эффективной толщины газового зазора, интегрально характеризующей теплопередачу от наружной поверхности стальной корки к медной стенке, м; $\alpha_м$, $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи от жидкого металла к стальной корке и от внутренней поверхности медной стенки к охлаждающей воде, Вт/(м²·К).

Если зафиксировать температуру источника на уровне температуры солидуса, что характерно для внутренней поверхности стальной корки, тогда первое сопротивление должно быть исключено из рассмотрения и плотность теплового потока, передаваемого через систему первичного охлаждения, определяется как

$$q = \frac{t_c - \bar{t}_в}{\overline{R}_2 + \overline{R}_3 + R_4 + R_5},$$

где t_c – температура солидус для разливаемой марки стали, °С; $\bar{t}_в$ – средняя температура охлаждающей воды в системе первичного охлаждения.

Таким образом, уравнение теплопередачи в двухвалковой МНЛЗ можно записать следующим образом

$$Q = \frac{m}{3,6}\cdot\phi\cdot(q_{кр} + c\cdot\Delta t) = \frac{t_c - \bar{t}_в}{\frac{h\cdot\phi}{2\cdot\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{эф}}{\lambda_з} + \frac{\delta_м}{\lambda_м} + \frac{1}{\alpha_в}}. \quad (2)$$

Производительность МНЛЗ зависит от скорости разливки и геометрических параметров полосы следующим образом

$$m = (60\cdot b\cdot h\cdot v\cdot\rho)/1000,$$

где v – скорость разливки полосы, м/мин; h – толщина полосы, м; ρ – плотность металла полосы при температуре выдачи готового продукта, кг/м³.

Разрешая уравнение (2) относительно затвердевшей доли расчетного поперечного сечения, получаем следующее выражение

$$\frac{h}{2\cdot\lambda_{ст}}\cdot\phi^2 + B\cdot\phi - A = 0,$$

где *A, B* – вспомогательные расчетные величины.

$$A = \frac{F_{общ}\cdot(t_c - t_{общ})}{\frac{m}{3,6}\cdot(q_{кр} + c\cdot\Delta t)},\quad B = \overline{R}_3 + R_4 + R_5.$$

Выбирая положительный корень уравнения (2), получим

$$\phi = \left(-B + \sqrt{B^2 + 4\cdot A\cdot\frac{h}{2\cdot\lambda_{ст}}}\right)\cdot(h/\lambda_{ст})^{-1}. \quad (3)$$

Таким образом, получено выражение (3), позволяющее в зависимости от конструктивных параметров МНЛЗ (диаметра валка) и технологических параметров (высота налива металла и скорость разливки) определять затвердевшую долю расчетного сечения.

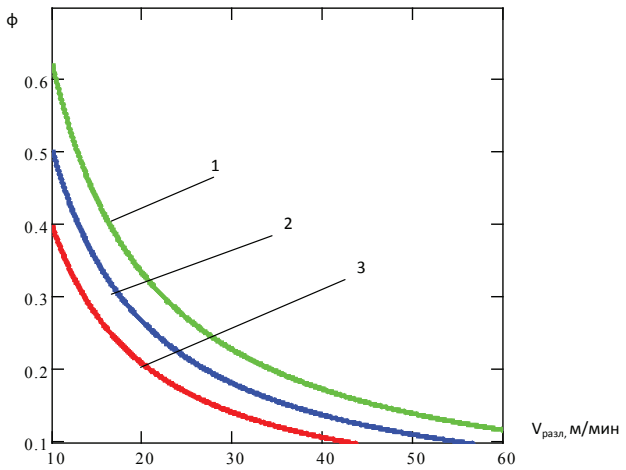


Рис. 2. Зависимость затвердевшей доли твердой фазы от скорости разливки для толщины листа 10 мм: 1 – для высоты налива 0,6 м; 2 – 0,5 м; 3 – 0,4 м

Пример использования созданной методики для следующего набора исходных данных представлен на рис. 2:

– диаметр валка МНЛЗ и толщина разливаемой полосы.....1,5 м, 0,01 м;

– толщина и коэффициент теплопроводности наружной медной стенки..... 0,01 м, 360 Вт/(м·К);

– средняя эффективная толщина газового зазора и коэффициент теплопроводности газовой прослойки.....40 мкм, 0,09 Вт/(м·К);

– теплота затвердевания стали и средняя теплоемкостьтвердой корки.....260 кДж/кг, 680 Дж/(кг·К);

– заданное снижение среднемассовой температуры металла относительно солидуса.....140 °С.

Наличие такой расчетной информации необходимо для оценки производительности предлагаемых конструкций МНЛЗ за счет определения предельных скоростей разливки в каждом конкретном случае. Под предельной скоростью разливки понимается такое значение скорости, при котором в момент выхода расчетного поперечного сечения полосы из контакта с валками достигается минимальное предельное значение доли затвердевшей фазы, определяемое характеристиками вспомогательного оборудования двухвалковой МНЛЗ.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Создана методика для оценки доли затвердевшего расчетного поперечного сечения непрерывнолитой полосы в зависимости от конструктивных параметров МНЛЗ (диаметра валка) и технологических параметров (высота налива металла и скорость разливки).

Такая методика необходима на стадии предпроектной проработки двухвалковых МНЛЗ для увязки производительности агрегата с параметрами первичного охлаждения и вторичного охлаждения.

Также на ее основании можно создавать алгоритмы управления параметрами температурно-скоростного режима действующих МНЛЗ, так как на основании определения доли расчетного сечения, затвердев-

шей в рамках первичного охлаждения определяются требуемые расходы воды на охлаждение МНЛЗ после выхода из валков.

Библиографический список

1. Современные технологии получения тонкого листа и полосы методами непрерывного литья / А.Н. Смирнов // Сб. тр. Междунар. научно-практич. конф. «50 лет непрерывной разливке стали в Украине» 3-4 ноября 2010. - Донецк: ДонНТУ, 2010. – С. 60-70.

2. Структура та властивості сплавів, швидко охолоджених з рідкого стану / Л.Н. Ларіков, С.Є. Кондратюк, О.М. Стоянова // Металознавство та обробка металів. – 1996. - № 1-2. – С. 30-38.

3. Теплотехника ресурсоэнергосберегающей разливки стали / А.Б. Бирюков, В.В. Кравцов, Н.С. Масс. – Донецк: Ноулидж, 2010. – 206 с.

Поступила 27.05.2013

◆

УДК 621.3.036:661.666.2

Наука

Яковлева И.Г. /д.т.н./, Назаренко И.А.
ЗГИА

Влияние внешнего подогрева пека на параметры работы системы циркуляционного нагрева

Исследовано влияние температуры пека на выходе из внешнего подогревателя на время нагрева и расход циркулирующего высокотемпературного пека. На основе разработанной комплексной математической модели установлен ряд важных закономерностей влияния данной температуры на время нагрева и на расход циркулирующего пека. Выявлено, что повышение температуры пека выше 200 °С нецелесообразно, поскольку не приведет к значительному сокращению указанных технологических параметров. Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: *высокотемпературный пек, циркуляционный нагрев, внешний подогреватель, комплексная математическая модель*

The effect of temperature on the output of the pitch external heater for heating time and the consumption of the circulating high pitch . On the basis of the developed complex mathematical model established a number of important patterns of influence of the temperature on the heating and consumption of the circulating pitch . Found that increasing the temperature of pitch above 200 ° C are not recommended as not lead to a significant reduction of these process parameters .

Keywords: *high- pitch , circulating heating , external heater , a comprehensive mathematical model*

Введение

Одной из важнейших задач, поставленных наукой и практикой, является проблема повышения уровня конкурентоспособности отечественной продукции на внутреннем и внешнем рынках. Решение этих вопросов возможно за счет повышения ее качества и снижения себестоимости на основе повышения уровня энергоресурсосбережения.

Системы хранения и нагрева пека являются весомой составляющей в технологии производства графитовых электродов. Пек представляет собой сложную гетерогенную систему високо конденсованных карбо- и гетероциклических соединений и продуктов их уплотнения [1]. Пек используют в качестве связующего вещества при производстве графитовых электродов, а также при получении анодной массы для электролизеров при производстве алюминия [2]. Для получения продукции высокого качества используют высокотемпературный пек, для однородности которого, по технологии, необходимо осуществлять равномерный нагрев при температуре не менее 185 °С. Не соблюдение температурного режима приведет к резкому ухудшению качества готовой продукции.

Система подогрева пека представляет собой сложный комплекс трубопроводов, оборудования и сооружений, потребляющих значительную часть энергетических ресурсов собственных нужд предприятия в процессе эксплуатации. Важным фактором, влияющим на эксплуатационные свойства электродов, является качество пека, которое зависит не только от технологии его получения, но и от режимов нагрева [3].

Технология циркуляционного нагрева является энергозатратной. Одним из способов снижения затрат энергии на нагрев и перекачку является регулирование температуры пека на выходе из внешнего подогревателя. Исследованию влияния данной темпера-

© Яковлева И.Г., Назаренко И.А., 2013 г.

туры на время нагрева и на расход циркулирующего пека и посвячена настоящая работа.

Постановка задачи

При использовании приведенной в [4] комплексной методики расчета системы циркуляционного нагрева вязких жидкостей в резервуарах возникает необходимость определить режимные характеристики таких систем.

Для формулировки математической модели теплогидравлических процессов, происходящих в системе циркуляционного подогрева, рассматривается резервуар (рис. 1) с первоначальными массой пека в нем M_0 и температурой t_0.

При расчете системы циркуляционного подогрева пека в резервуаре принимаются следующие условия, характеризующие процесс. Из резервуара отводится пек с расходом G_1 и температурой t_1 в линию циркуляционного подогрева. Часть этого пека с расходом G_2 подается к потребителю. Другая его часть $(G_1 - G_2)$ нагревается во внешнем циркуляционном теплообменнике.

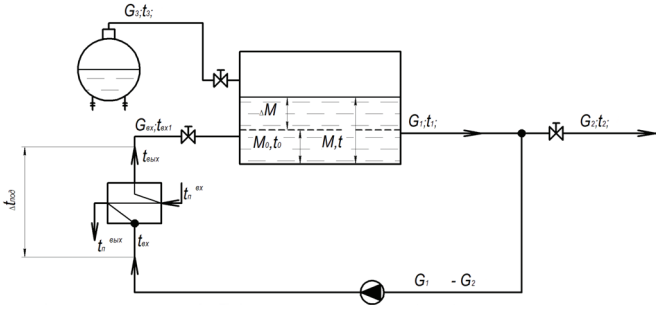


Рис. 1. Схема циркуляционного нагрева пека в резервуаре

В общем случае в резервуар также может подаваться пек с расходом G_3, кг/с, и температурой t_3, °С, от железнодорожных цистерн. Температура пека на выходе из подогревателя $t_{вых}$ (равная температуре $t_{вх1}$ его на входе в резервуар) является величиной переменной. При сравнительно большой тепловой мощности внешнего циркуляционного подогревателя реализуется случай, когда по мере подогрева пека в резервуаре температура его на входе в подогреватель $t_{вх} = t_1$ увеличивается, что приводит к повышению $t_{вых} = t_{вх1}$. При этом, как показали опытные данные З.И. Геллера [5], в первом приближении увеличение температуры пека в подогревателе можно считать постоянным: $\Delta t = t_{вх} = const$.

Представляет практический интерес решение следующей задачи: при заданных расходе и температуре пека, подводимого к резервуару от железнодорожных цистерн, G_3, t_3 и заданном расходе пека G_2, отводимого из резервуара на технологию, поддерживать в резервуаре температуру $t = const$. В этом случае необходимо определить расход G_1 в зависимости от температуры пека на выходе из внешнего подогревателя и время нагрева.

Результаты исследований

Данный случай соответствует большой тепловой мощности внешнего подогревателя циркуляционной системы. При этом будем полагать, что

$$\Delta t = t_{вых} - t_{вх} = const,$$

$$t_3 = const.$$

Ранее в [4] получено общее решение

$$t = \frac{\left(c_{пек}\cdot G_3 + k''\cdot F\right)\cdot t_x - \left(Q_n + c_{пек}\cdot G_3\cdot t_3 + k''\cdot F\cdot t_{o.c.}\right)}{c_{пек}\cdot G_3 + k''\cdot F} M^{\frac{c_{пек}\cdot G_3 + k''\cdot F}{c_{пек}\cdot(G_2 - G_3)}} \times$$

$$\times\left(M - \tau\cdot\left(G_2 - G_3\right)\right)^{\frac{c_{пек}\cdot G_3 + k''\cdot F}{c_{пек}\cdot(G_2 - G_3)}} + \frac{Q_n + c_{пек}\cdot G_3\cdot t_3 + k''\cdot F\cdot t_{o.c.}}{c_{пек}\cdot G_3 + k''\cdot F}. \quad (1)$$

где $Q_n = c_{пек}\cdot\left(G_2 - G_3\right)\cdot\Delta t$ - тепловая нагрузка подогревателя пека, *Вт*.

Для сокращения записи введем обозначения

$$A^* = c_{пек}\cdot G_3 + k''\cdot F;$$

$$B^* = Q_n\cdot c_{пек}\cdot G_3\cdot t_3 + k''\cdot F\cdot t_{o.c.};$$

$$C^* = c_{пек}\cdot\left(G_2 - G_3\right).$$

Тогда

$$t = \frac{A^* t_x - B^*}{A^*}\cdot M^{-A^*/C^*}\cdot\left(M - \tau\cdot\left(G_2 - G_3\right)\right)^{A^*/C^*} + \frac{B^*}{A^*}. \quad (2)$$

Исходя из уравнения (2) условием постоянства температуры пека в резервуаре является

$$A\cdot t_x - B = 0.$$

тогда

$$t_x = \frac{B}{A} = \frac{c_{пек}\cdot\left(G_3\cdot t_3 + \left(G_1 - G_2\right)\cdot t_{вх1}\right) + k''\cdot F\cdot t_{o.c.}}{c_{пек}\cdot\left(G_3 + G_1 - G_2\right) + k''\cdot F}. \quad (3)$$

Преобразуем (3)

$$\left[c_{пек}\cdot\left(G_3 + G_1 - G_2\right) + k''\cdot F\right]\cdot t_x = {}_{пек}$$

$$= c_{пек}\left(G_3\cdot t_3 + \left(G_1 - G_2\right)\cdot t_{вх1}\right) + k''\cdot F\cdot t_{o.c.};$$

$$c_{пек}\cdot G_1\cdot\left(t_{вх1} - t_x\right) = c_{пек}\cdot\left(G_2\cdot\left(t_{вх1} - t_x\right) - {}_3 \quad {}_3 \quad {}_x\right.$$

$$\left. - G_3\cdot\left(t_3 - t_x\right)\right) + k''\cdot F\cdot\left(t_x - t_{o.c.}\right);$$

$$G_1\cdot t_{вх1} = \frac{c_{пек}\cdot\left(G_2\cdot\left(t_3 - t_x\right) - G_3\cdot\left(t_3 - t_x\right)\right) + k''\cdot F\cdot\left(t_x - t_{o.c.}\right)}{c_{пек}\cdot\left(t_{вх1} - t_x\right)} =$$

$$= G_2 + \frac{G_3\cdot\left(t_{вх3} - t_x\right) + k''\cdot F\cdot\left(t_x - t_{o.c.}\right)}{c_{пек}\cdot\left(t_{вх1} - t_x\right)}.$$

Зависимость расхода циркулирующего пека от температуры пека на выходе из внешнего подогревателя представлена на рис. 2.

Очевидно, что функция $G_1 = f(t_{вх1})$ убывающая, область определения этой функции имеет вид $t_x < t_{вх1} < \infty$.

Из графика видно, что увеличение $t_{вх1}$ позволит уменьшить расход циркулирующего пека G_1 необходимого для поддержания постоянной температуры. Асимптотой является значение, соответствующее расходу пека, отводимого на технологию: $G_1 = G_2$.

Влияние температуры пека на выходе из внешнего подогревателя на время нагрева представлено на рис. 3.

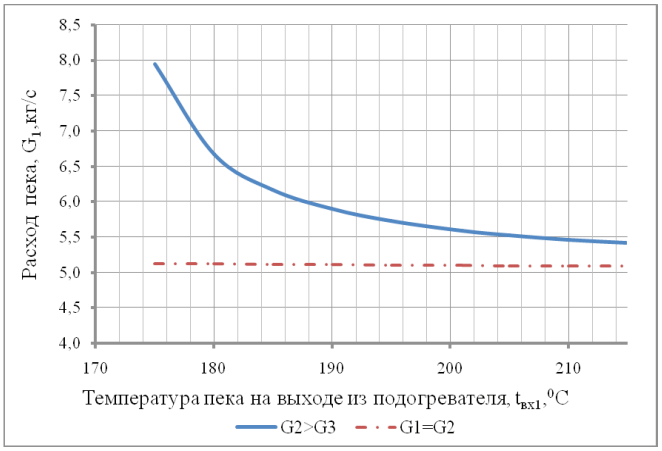


Рис. 2. Зависимость расхода циркулирующего пека от температуры на выходе из подогревателя

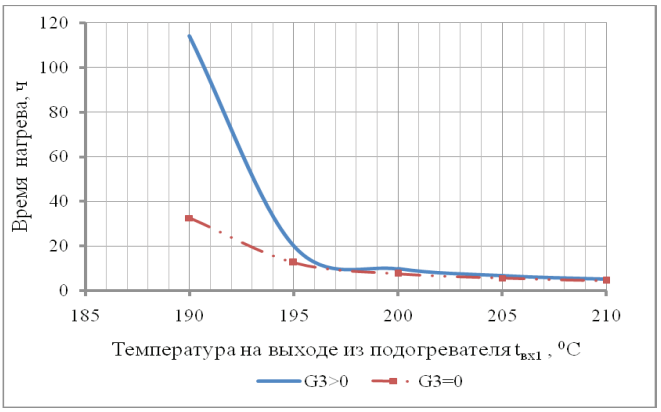


Рис. 3. Влияние температуры пека на выходе из внешнего подогревателя на время нагрева

Очевидно, что функция $G_1 = f(t_{вх1})$ убывающая, область определения этой функции имеет вид $t_x < t_{вх1} < \infty$.

Из графика видно, что увеличение $t_{вх1}$ позволит уменьшить расход циркулирующего пека G_1 необходимого для поддержания постоянной температуры. Асимптотой является значение, соответствующее расходу пека, отводимого на технологию: $G_1 = G_2$.

Выводы

Установлен ряд важных закономерностей влияния температуры пека на выходе из внешнего подогревателя на время нагрева и на расход циркулирующего пека. Так, увеличение температуры пека на выходе из внешнего подогревателя приводит к снижению расхода циркулирующего пека и к сокращению времени нагрева. Выявлено, что повышение температуры $t_{вх1}$ выше 200 °С при подогреве пека в резервуаре вместимостью 650 м^3 нецелесообразно, поскольку не приведет к значительному сокращению данных технологических параметров

Библиографический список

1. Каменноугольный пек / В.Е. Привалов, М.А. Степаненко. – М.: Металлургия, 1981. – 207 с.

2. К проблеме получения высококачественных пеков / Д.Д. Русчев, Е.Е. Берякова // Кокс и химия. - 1993. - № 7. – С. 29-33.

3. Питюлин И.Н. Научно-технические основы создания каменноугольных углеродистых материалов для крупногабаритных электродов: Монография. – Харьков: ИПЦ «Контраст», 2004. – 480 с.

4. Назмеев Ю.Г. Теплоперенос и гидродинамика в системах хранения жидкого органического топлива и нефтепродуктов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2005. – 368 с.

5. Об эффективности циркуляционного подогрева мазута в резервуарах / З.И. Геллер, В.И. Ашихмин // Электрические станции. - 1966. - № 4. - С. 15 -24.

Поступила 27.05.2013

◆

Вниманию авторов и читателей!

ООО «Укрметаллургинформ «НТА» проведена большая работа по созданию архива электронной версии журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность» за период с 2004 г. по текущий номер. Информируем о появившейся возможности осуществления подписки на архив электронной версии журнала.

Напоминаем о возможности оформления подписки через редакцию, начиная с любого ранее вышедшего номера.

Сотрудничество с ООО «Укрметаллургинформ «НТА»
создает надежный информационный фундамент Ваших достижений.

УДК 621.774:53.47.01 Наука

Сокуренко В.П. /д.т.н./, Абросимова Т.Н., Фридман В.М. /к.т.н./, Островский И.П. /к.т.н./
ГП «ВНИТИ-ТЕСТ»

Основные принципы создания автоматизированной системы идентификации и прослеживаемости продукции, оперативного контроля толщины стенки труб на агрегатах трубопрокатной установки

Рассмотрены принципы разработки автоматизированной системы идентификации и прослеживаемости продукции непосредственно на трубопрокатной установке и контроля толщины стенки труб в процессе их изготовления. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: *автоматизированная система, идентификация, прослеживаемость, измерение, диаметр, длина, оперативное определение, средняя толщина стенки, агрегаты, трубопрокатная установка, снижение, брак, расход металла*

Principles of automated identification and traceability of products directly to the installation and pipe-rolling pipe wall thickness control during the manufacturing process.

Keywords: *automated system, identification, traceability, measurement, diameter, length, operational definition, the average thickness of the wall units and pipe installation, reducing the marriage, metal*

Идентификация продукции и ее прослеживаемость являются необходимым условием исключения потерь и смешивания продукции [1, 2], а оперативный контроль толщины стенки труб в значительной степени обеспечивает снижение брака по толщине стенки и соответственно сокращение расхода металла.

Трубопрокатные установки, производящие основную массу горячекатаных бесшовных труб, в своем составе включают нагревательные печи для нагрева заготовки, станы для получения гильзы (прошивные станы), станы, осуществляющие основную деформацию по толщине стенки труб (автоматический стан, клети продольной прокатки, пилигримовый стан, непрерывный стан, трехвалковый раскатной стан), станы, обеспечивающие доводку трубы до конечных размеров (обкатные станы, калибровочный либо редукционный стан) [3].

Прослеживаемость продукции на трубопрокатной установке может автоматически обеспечиваться комплексом датчиков штатной автоматики, определяющих по направлению движения проката количество годной и отсортированной продукции на каждом из агрегатов. На основании данных прослеживаемости формируются ведомости сопровождения, включающие общее количество заданного металла, потери на каждом из агрегатов, количество готовой продукции и суммарные потери металла по всей установке.

Для непосредственного измерения толщины стенки на агрегатах трубопрокатной установки возможно использование измерительной системы LASUS компании SMS Meer (Германия). Процесс измерения этой системы базируется на лазерно-ультразвуковой технологии. Такие системы применяются для измерения толщины стенки на калибровочном (редукционном) станах (одна, две системы). Однако применение этих систем на каждом из агрегатов трубопрокатной установки (от 4 до 8 систем на установку) связано с большими затратами.

Определение средней толщины стенки возможно расчетным путем по диаметру и длине, измерение которых осуществляется без остановки проката (заготовки, гильзы, труб).

Для измерения диаметра и длины заготовки, гильз и труб могут использоваться известные устройства (например, система обеспечения качества QAS, Quality Assarance Syctem производства Германии компанией SMS Meer, датчика бесконтактного измерения длины горячих заготовок и труб VLM320 производства Германии, лазерная бесконтактная система измерения длины LSV6200 производства Германии фирмой POLYTEC, безконтактный измеритель диаметра горячих труб отечественного производства ООО «НИИАчермат» и др. [4-7]).

Функционирование предлагаемой автоматизированной системы осуществляется следующим образом. При посаде в печь заготовок по каждой позиции задания с рабочей станции вводится информация о количестве штук в каждом пакете и его весе, автоматически определяется суммарное количество посаженого металла в штуках и тоннах. Прослеживание за каждой заготовкой требует обязательную информацию о ее весе. Взвешивание каждой заготовки перед посадом в нагревательную печь нецелесообразно в связи с тем, что возможны выбросы заготовки из печи, а также практически невозможно соблюдение одного порядка посада заготовок в печь и их выдачи. Информация о весе заготовки должна быть получена

© Сокуренко В.П., Абросимова Т.Н., Фридман В.М., Островский И.П., 2013 г.

после выдачи ее из печи и гидросбива с нее окалины. В связи с тем, что устройства для непосредственного взвешивания требуют дополнительных затрат времени, предлагается определять расчетный вес по не требующим затрат времени автоматическим замерам диаметра ($D_з$ в мм) и длины ($\ell_з$ в мм)

$$G_з = 0{,}006165 \cdot D_з^2 \cdot \ell_з .$$

При выборе методов измерения диаметра следует учитывать необходимость получения средневзвешенного среднего диаметра сечения заготовки для исключения влияния дефектов ее формы (некруглости).

Заготовке присваивается порядковый номер (автоматически) и ее идентификатор, включающий вводимые с рабочей станции первого агрегата трубопрокатной установки (прошивной стан, пресс для прошивки заготовки) дату, смену, номер позиции в рапорте проката, а также измерения диаметра, длины заготовки и ее теоретический вес.

Идентификатор заготовки передается в систему. Если эта заготовка определена комплексом датчиков как отсортированная продукция, то ее идентификатор не передается на рабочую станцию для прошивки гильзы, а заносится в массив данных по отсортированной продукции.

На агрегате (стане) для получения гильзы автоматически определяется длина гильзы ($\ell_г$ в мм) и диаметр ($D_г$ в мм). Вычисляется коэффициент вытяжки при прошивке

$$\mu_п = \frac{\ell_г}{\ell_з} .$$

Толщина стенки гильзы ($S_г$ в мм) определяется расчетным путем из равенства веса (объемов) заготовки и гильзы

$$S_г = \frac{\mu_п D_г - \sqrt{(\mu_п D_г)^2 - \mu_п D_з^2}}{2\mu_п} .$$

На экран рабочей станции прошивного стана обслуживающему персоналу для принятия решений по корректировке настройки стана выдаются следующие данные: идентификатор заготовки, $D_г$, $\ell_г$, $S_г$, $\mu_п$. Все параметры, которые выходят за пределы допусков, выделяются цветом или миганием. Аналогично выполняется и на всех других агрегатах (станах) трубопрокатной установки.

Информация по гильзе передается в систему. Для гильзы, которая не отсортирована, информация передается на экран рабочей станции стана, где происходит основная деформация по толщине стенки, а информация по отсортированной продукции заносится в отдельный массив данных.

На стане, определяющем основную деформацию по толщине стенки труб, автоматически определяется длина трубы после прокатки на стане (ℓ_m в мм) и диаметр трубы (D_m в мм). Для пилигримового стана определяются общая длина трубы ($\ell^n_{общ}$ в мм) и длина (ℓ_m) без пильгерголовки и затравочного конца.

Вычисляется коэффициент вытяжки μ_m

$$\mu_m = \frac{\ell_m}{\ell_г} .$$

Толщина стенки трубы (S_m в мм) определяется расчетным путем по известному диаметру (δ_m в мм) оправки (дорна) и автоматически определенному диаметру трубы D_m

$$S_m = \frac{D_m - \delta_m}{2} \cdot$$

На экран рабочей станции обслуживающему персоналу для принятия решений выдается следующая информация: идентификатор заготовки, $D_г$, $S_г$, $\ell_г$, D_m, ℓ_m, S_m, δ_m, μ_m.

Для установки с пилигримовым станом следует учитывать потери металла на пильгерголовку и затравочный конец как в весе, так и в длине.

После пилигримового стана труба может делиться на части (от одной до трех частей). Вес каждой части трубы ($G_m^{№}$ в кг) определяется по данным автоматического измерения длины ($\ell_m^{№}$), диаметра ($D_m^{№}$) каждой части и расчетной величины стенки ($S_m^{№}$) каждой части трубы, определенной по приведенной выше формуле для S_m

$$G_m^{№} = 0{,}024661\, S_m^{№} (D_m^{№} - S_m^{№}) \ell_m^{№} .$$

Суммарная длина затравочного конца ($\ell_ж$ в мм) и пильгерголовки ($\ell_{гол}$) определяется как разница между общей длиной трубы после пильгерстана ($\ell^n_{общ}$) и суммарной длиной (ℓ_m) частей трубы ($\ell_m^{\Sigma№}$). Суммарный вес отходов (пильгерголовка $q_д$ и заправочный конец $q_ж$) определяется как разница между весом соответствующей заготовки $G_з$ и суммарным весом частей трубы ($G_m^{\Sigma№}$).

В связи с тем, что на выходе пилигримового стана труба может делиться на части к идентификатору трубы, передаваемому в систему, добавляется номер части трубы. Кроме того, так как в состав установки входят два пилигримовых стана, в идентификатор также заносится номер пильгерстана.

Если в составе трубопрокатной установке есть станы для обкатки труб, то информация со станов, формирующих толщину стенки, передается по неотсортированной трубе на обкатные станы.

На обкатном стане автоматически определяются длина ($\ell_{об}$ в мм) и диаметр ($D_{об}$ в мм) трубы. Далее определяются коэффициент вытяжки ($\mu_{об}$) и подъем по диаметру ($k_{об}$ в мм)

$$\mu_{об} = \frac{\ell_{об}}{\ell_m} ,$$

$$k_{об} = D_{об} - D_m .$$

Толщина стенки трубы определяется расчетным путем из равенства объемов труб после предыдущего агрегата и после обкатных станов.

$$S_{об} = \frac{D_{об}\mu_{об} - \sqrt{(D_{об}\mu_{об})^2 - 4\mu_{об}(D_m - S_m)}}{2\mu_{об}} .$$

Вес трубы после обкатного стана ($G_{об}$ в кг) определяется по известной зависимости по определению веса 1 пог. м труб и длине трубы после обкатки $\ell_{об}$.

На экран рабочей станции обслуживающему пер-

соналу для принятия решений выдается следующая информация: идентификатор заготовки, номер обкатного стана, D_m, S_m ℓ_m, $D_{об}$, $S_{об}$, $\ell_{об}$, $\mu_{об}$, $k_{об}$.

На станах (калибровочном, редукционном), где производится доводка трубы до конечных размеров, автоматически измеряется диаметр трубы соответственно после калибровочного ($D_к$ в мм) и редукционного стана (D_p в мм) и длина трубы после калибровочного ($\ell_к$ в мм) и редукционного стана (ℓ_p в мм), работающего без натяжения.

Вычисляется коэффициент вытяжки на калибровочном ($\mu_к$) и редукционном стане (μ_p), обжатие по диаметру на калибровочном ($\Delta D_к$) и редукционном стане (ΔD_p)

$$\mu_к = \frac{\ell_к}{\ell_{пр}},$$

$$\mu_p = \frac{\ell_p}{\ell_{пр}},$$

$$\Delta D_к = D_{об} - D_к,$$

$$\Delta D_p = D_{об} - D_p.$$

Длина трубы на предыдущем стане ($\ell_{пр}$ в мм) для установок с пилигримовым станом равна длине части труб ($\ell_m^{№}$).

Как известно, редукционные станы могут работать с натяжением между клетями, но при этом имеют место утолщенные концы труб. Длина и вес утолщенных концов при известном натяжении Z может определяться по известным зависимостям [8-11], по данным действующих технологических инструкций, а также уточняться на основании статистических данных.

Для труб после редуцирования с натяжением должны определяться длина труб ($\ell_p^{г}$ в мм) без утолщенных концов, т.е. от длины определенной измерителем следует вычесть расчетную величину длин переднего и заднего утолщенных концов ($\ell_{пк}, \ell_{зк}$ в мм)

$$\ell_p^{г} = \ell_p - \ell_{пк} - \ell_{зк}.$$

Длина труб без утолщенных концов учитывается при определении коэффициента вытяжки редукционного стана, работающего с натяжением.

Все трубы $G_p^{г}$ после обрези утолщенных концов весом соответственно переднего ($q_{пк}$ в кг) и заднего ($q_{зк}$ в кг) составит

$$G_p^{г} = G_{об} - q_{пк} - q_{зк}.$$

Толщина стенки трубы после калибровочного ($S_к$) и работающего без натяжения редукционного (S_p) станов определяется исходя из веса 1 пог. м трубы на основе информации о весе трубы, поступившей с предыдущего стана ($G_{пр}$ в кг), длины трубы ($\ell_к, \ell_p$) после соответствующего стана (калибровочного, редукционного)

$$S_к = \frac{0{,}02466 D_к - \sqrt{(0{,}02466 D_к)^2 - 0{,}09864 \frac{G_{пр} 10^3}{\ell_к}}}{0{,}4932},$$

$$S_p = \frac{0{,}02466 D_p - \sqrt{(0{,}02466 D_p)^2 - 0{,}09864 \frac{G_{пр} 10^3}{\ell_p}}}{0{,}4932}.$$

При определении толщины стенки после редукционного стана, работающего с натяжением, учитывается длина трубы без утолщения концов ($\ell_p^{г}$).

На экран обслуживающему персоналу для принятия решения выдаются следующие данные:

- на калибровочном стане: идентификатор заготовки, предыдущий стан, $D_{пр}, S_{пр}, \ell_{пр}, D_к, S_к, \ell_к, \mu_к, \Delta D_к$

-наредукционномстане:идентификаторзаготовки, номер предыдущего стана, $D_{пр}, S_{пр}, \ell_{пр}, D_p, S_p, \ell_p, \ell_p^{г}, \mu_p, \Delta D_p, \ell_{пк}, \ell_{зк}$.

После калибровочного (редукционного) станов трубам присваивается идентификатор для дальнейшего автоматизированного слежения при их обработке. После калибровочного и редукционного станов трубы могут делиться на части.

Идентификатор трубы, которая не делится на части после калибровочного стана, включает: дату, смену, позицию в рапорте проката, номер заготовки, $D_к, S_к, \ell_к, G_к$. При делении трубы на части идентификатор каждой части дополнительно включает номер части, ее длину ($\ell_к^{№}$) и вес ($G_к^{№} = \frac{G_к}{\ell_к} \ell_к^{№}$).

Идентификатор трубы, которая не делится на части после редукционного стана, работающего без натяжения, включает: дату, смену, позицию в рапорте проката, номер заготовки, D_p, S_p, ℓ_p, G_p.

При делении на части идентификатор каждой части дополнительно включает номер части, ее длину ($\ell_p^{№}$) и вес ($G_p^{№} = \frac{G_p}{\ell_p} \ell_p^{№}$).

При делении трубы на части трубы после редукционного стана, работающие с натяжением, идентификатор каждой части включает $D_p, S_p, \ell_p^{г}$, номер части трубы, длину годной части трубы ($\ell_p^{№}$) и ее вес ($G_p^{№}$), $\ell_{пк}$ (только для первой части), $\ell_{зк}$ (только для последней части).

Длина первой и последней части готовой трубы должна быть меньше полученной при разрезке на длину соответственно переднего и заднего утолщенных концов.

Вес каждой годной части трубы равен

$$G_p^{№} = \frac{G_p^{г}}{\ell_p^{г}} \ell_p^{№}$$

В системе прослеживания определяется суммарный вес труб партии (по позиции сменного рапорта проката) и суммарная длина. Определяется вес 1 пог. м труб партии и сравнивается с теоретической массой при поставке труб по теоретической массе.

Предложенная автоматизированная система обеспечит прослеживаемость прохождения продукции и контроль толщины стенки проката на каждом из агрегатов с целью оперативного изменения настройки агрегатов для получения геометрических размеров проката в соответствии с таблицами прокатки, рассчитанными с учетом фактических размеров исходной заготовки и рабочего инструмента (валки, оправки и др.).

Оперативная корректировка настройки станов позволит сократить количество отсортированной продукции и брака по толщине стенки прокатываемых труб.

Наличие в системе данных о параметрах настройки станов, геометрических размерах проката позволяет создать статистическую базу для определения корреляционных зависимостей толщины стенки на каждом из агрегатов от входных геометрических размеров проката, параметров настройки станов. Эти зависимости в дальнейшем могут быть использованы в системе управления толщиной стенки.

Данные системы обеспечивают получение необходимой информации для учета и анализа производства трубопрокатной установки за любой промежуток времени и по необходимым запросам (например, производство по бригадам, по размерам труб, по стандартам и др.), для объективной корректировки норм расхода металла, для определения пропускной способности установки, для получения объективных критериев мотивирования эффективной работы, персонала по повышению качества продукции и др.

Заключение

Оперативная корректировка настройки станов для получения труб с заданной толщиной стенки, автоматическая прослеживаемость изготовления труб, обеспечивающая точный учет всех потерь металла, объективное установление норм расхода металла на основе фактических данных, учет веса труб позволяют:

- значительно сократить потери металла за счет уменьшения отбраковки труб по толщине стенки;
- объективно планировать потребность в металле на основе скорректированных норм расхода металла по фактическим данным;
- сократить отгрузку заказчику по теоретической массе неоплаченной продукции при прокатке труб в поле плюсовых допусков, что определяется по расчетной массе 1 пог. м труб непосредственно на трубопрокатной установке.

Библиографический список

1. Сокуренко В.П., Фридман В.М., Островский И.П. и др. Совершенствование методов и средств для обеспечения идентификации и прослеживаемости продукции в системе управления качеством товаропроизводящих цехов // Металлург. и горноруд. промсть. – 2001. - № 7. - С. 38-41.

2. Абросимова Т.Н., Островский И.П., Фридман В.М. Совершенствование системы идентификации и прослеживаемости при производстве труб. Вісник Криворізького ТУ. Зб. наук. пр. - 2011. – Вип. 29. - С. 239-242.

3. Гуляев Г.И., Коба А.С., Миронов Ю.М. и др. Совершенствование производства горячекатаных труб. – К.: Техника, 1985. – 136 с.

4. Аронов И.А. Измерение длины изделий в прокатном и трубном производстве. - М.: ЦНИИТИАМ, 1963. – 96 с.

5. Волков В.В., Достенко Н.А., Тетиор Л.И. Автоматизация трубопрокатных и трубосварочных станов. - М.: Металлургия, 1976. – 248 с.

6. Абодан В.Я. Автоматический контроль измерения сечения сортового проката и труб. - М.: Металлургия, 1995.

7. Иерусалимов И.П., Цыпин В.Н. Оптические стереокамеры для металлургии // Датчики и системы. – 2010 - № 10. – С. 35.

8. Анисидоров А.П., Зельдевич Л.С., Курганов В.Д. и др. Редукционные станы. – М.: Металлургия, 1971. – 256 с.

9. Шевченко А.А., Юргеленас В.А. Непрерывная прокатка труб без оправки в условиях предельных значений натяжения. УкрНТОЧМ, Труды, том 8, Днепропетровск, 1958.

10. Рукобратский В.П., Довгаль А.И., Гуляев Г.И. и др. Сокращение обрези концов труб при их прокатке в редукционном стане // БНТИ Черная металлургия. – 1979. - № 13. – С. 52-53.

11. Столетний М.Ф. Экономическим целесообразные режимы натяжения при редуцировании труб // Сталь. – 1971. - № 7. – С. 636-639.

Поступила 17.07.2013

◆

В РЕДАКЦИИ МОЖНО ЗАКАЗАТЬ ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА

стоимость электронного варианта - 288 грн., стоимость печатного варианта - 430 грн.

контактный телефон, факс 0562-46-12-95

УДК: 621.313.001.42

Производство

Вайнер А.И., Буртовой В.А.
ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»
Ткаченко Г.И., Мохнатый А.В.
ООО «Криворожэлектромонтаж»

Хижняк В.Я. /к.т.н./
КНУ

Стенд для послеремонтных испытаний электрических машин постоянного тока методом динамического нагружения

Представлены результаты разработки и внедрения технических средств и программного обеспечения стенда для послеремонтных испытаний электрических машин постоянного тока мощностью 10-350 кВт в условиях электроремонтного цеха ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Стенд позволяет получить токи двигателя равные и выше номинальных без использования механической нагрузки. Статья может представлять интерес для руководителей электроремонтных предприятий. Ил. 4. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: *реверсивный тиристорный преобразователь постоянного тока, микропроцессорный контроллер, ограничение пускового тока, режимы испытаний*

The results of development and implementation of hardware and software for post-repair stand the test of electric cars DC power 10-350 kW in electric repair shop "ArcelorMittal Krivoy Rog ". The stand provides a motor currents equal and above the nominal load without using mechanical . The article may be of interest to managers electric repair businesses.

Keywords:*reversible thyristor DC-DC converter , a microprocessor controller , limiting the inrush current testing regimes*

В настоящее время большинство электроремонтных предприятий выполняют основные нагрузочные испытания отремонтированных электрических машин только в режимах холостого хода. Причина – большая номенклатура типоразмеров машин и трудности сочленения с устройством, реализующим механическую нагрузку с регулируемым моментом.

В [1] предложен алгоритм, методика и средства диагностики асинхронных двигателей при послеремонтных испытаниях. Алгоритм подразумевает подачу напряжения питания на статор двигателя непосредственно от сети через регулятор напряжения с использованием метода динамического нагружения [2].

Суть динамического нагружения для двигателей и генераторов постоянного тока заключается в применении ограниченного режима противовключения следующим образом (рис. 1.1):

1. На якорь подается напряжение в направлении вращения якоря, например, «Вперед» с ограничением пускового тока.
2. В момент начала уменьшения тока напряжение снимается и выполняется торможение до скорости примерно 0,3-0,5 номинальной.
3. Следующее действие – подача напряжения в направлении вращения якоря «Назад» также с ограничением пускового тока.
4. В момент начала уменьшения тока напряжение снимается и выполняется торможение до скорости примерно 0,3-0,5 номинальной.
5. Действия по п.1-п.4 повторяются заданное время.

Таким образом, основное назначение стенда – реализация испытаний отремонтированного двигателя или генератора током равным и более номинального без использования механической нагрузки. В основу разработки стенда положен подход, изложенный в [1].

Стенд выполняет следующие режимы испытаний.

1. «Предварительный» холостой ход, обеспечивающий вращение якоря машины со скоростью в 0,2-0,3 номинальной. При этом выполняется контроль искрообразования, вибраций, очистка коллектора и пр.
2. Холостой ход, обеспечивающий вращение якоря машины в направлении «Вперед» и «Назад» при номинальном якорном напряжении и номинальном напряжении возбуждения.
3. Холостой ход с повышенным на 30 % якорным напряжением.
4. Режим динамического нагружения с автоматическим измерением уровня вибраций и ручным измерением (мобильный пирометр) температуры подшипников.
5. Испытания электромагнита - определение величины напряжения, требуемого для подъема контрольного груза, и величины напряжения его отпускания.
6. Испытания генератора – разгон генератора в двигательном режиме до установившейся скорости, отключение от источника якорного напряжения, измерение напряжения холостого хода и подключение к нагрузке с измерением тока якоря и времени выбега.
7. Испытание катушки электромагнитного тормоза – подача на катушку заданного напряжения и из-

© Вайнер А.И., Буртовой В.А., Ткаченко Г.И., Мохнатый А.В., Хижняк В.Я., 2013 г.

мерение тока, протекающего в цепи катушки.

8. Измерение сопротивления изоляции и сопротивления обмоток постоянному току выполняются вручную с использованием мегомметра и моста сопротивлений.

Особенность разработки - диапазон изменений якорных токов от 2-3 (ток холостого хода маломощных машин) до 2000 А (ток разгона машин мощностью 350 кВт).

Конструктивно стенд представляет собой 3 шкафа и рабочую станцию:

- реверсивный тиристорный преобразователь постоянного тока (изготовитель Запорожский электроаппаратный завод);

- шкаф коммутации, содержащий три комплекта силовых шин, четыре контактора, промежуточные электромеханические реле и шунты (разработчик и изготовитель ООО «Криворожэлектромонтаж»), нагрузочный резистор $R_н$ установлен для исключения режима прерывистых токов при малых якорных токах в режиме холостого хода;

- шкаф управления, содержащий измерительные контроллеры, контроллер управления и специальное программное обеспечение (разработчик и изготовитель ООО «Криворожэлектромонтаж»);

- рабочая станция, содержащая компьютер, принтер и специальное программное обеспечение (разработчик ПО ООО «Криворожэлектро-монтаж»).

Основные технические данные стенда.

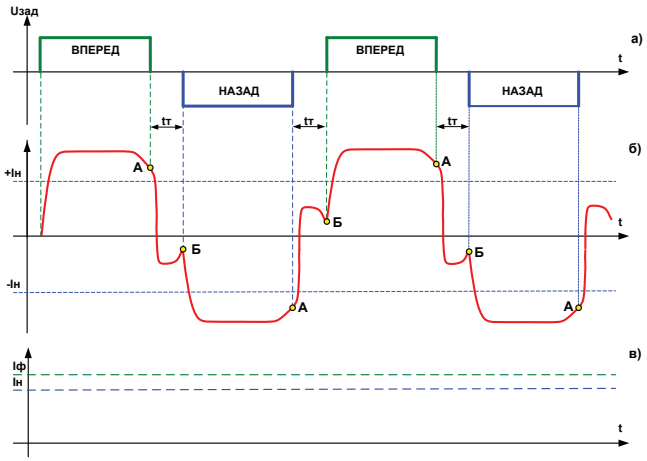
1. Напряжение питания – 380В, 50 Гц.

2. Диапазон мощностей испытываемых машин, кВт – от 10 до 350.

3. Погрешность поддержания заданных величин токов в переходных режимах – не более 10 %.

4. Погрешность измерения токов и напряжений – не более 3 %.

5. Продолжительность испытаний – устанавливается оператором.



а) сигнал задания, выдаваемый контроллером шкафа управления в реверсивный тиристорный преобразователь
б) ток якоря двигателя в режиме динамического нагружения
в) условное значение фактического тока (Iф), полученного при испытаниях, по отношению к номинальному (Iн)
tт – время торможения.

Рис. 1.1. Алгоритм работы станции

6. Измерение вибраций выполняется установкой на время испытаний магнитного чувствительного элемента на корпус двигателя. Выходной сигнал измерителя уровнем 4-20 мА поступает в контроллер управления.

7. Измерение температуры подшипников выполняется оператором мобильным пирометром.

8. Период съема сигналов тока, микросекунд, 200.

9. Разрядность АЦП, бит, 10.

10. Входное напряжение АЦП- однополярное 5 В.

11. Параметры БГРН: при $U_{вх}$ = 0, Uвых = 2,5 В; при $U_{вх}$ = +2,5 В, $U_{вых}$ = 5 В; при $U_{вх}$ = -2,5 В , $U_{вых}$ = 0 В.

12. Диапазон измеряемых токов, 1-2400 А.

13. Разрешающая способность АЦП от 0,08 (поддиапазон 0-40 А) до 0,88 (поддиапазон 0-400 А).

14. Скорость обмена по RS-485, кбод – 115,2.

15. Габариты (В х Ш х Г), мм:

15.1. Шкаф управления: 1200 х 800 х 300.

15.2. Шкаф силовой: 1900 х 860 х 800.

15.3 Тиристорный преобразователь: 1900 х 1100 х 800.

16. Допустимые длины силовых линий связи, не более – 100 м.

17. Допустимые длины связи для сигналов управления, не более – 800 м.

18. Температура окружающего воздуха, кроме аппаратуры рабочей станции, от минус 10 до плюс 50 °С.

На рис. 2 представлена структурная схема стенда, где дана расшифровка условных обозначений. Назначение отдельных составляющих схемы следующее:

- РТП (реверсивный тиристорный преобразователь) – выдача на якорь двигателя (генератора), обмотку электромагнита или катушку тормоза напряжения, обеспечивающего по командам контроллера управления, заданные величины времени испытаний, тока разгона, торможения и противовключения (см. рис. 1), выдача в обмотку возбуждения требуемой величины напряжения;

- делители – резисторы, обеспечивающие масштабирование напряжения, подаваемого на входы БГРН от шунтов;

- БГРН – блоки гальваноразвязки и нормализации сигналов, поступающих от делителей, все блоки имеют один и тот же коэффициент усиления;

- $ИК_1$-$ИК_4$ – измерительные контроллеры, каждый из которых содержит четырехканальный быстродействующий АЦП.

Функции $ИК_1$:

- измерение мгновенных значений тока и напря-

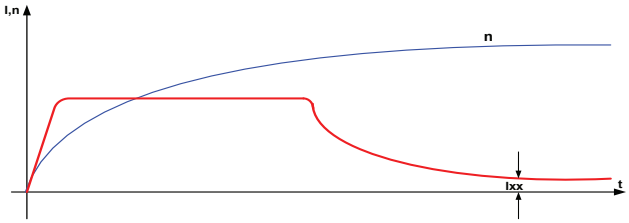


Рис. 1.2. Скорость и ток якоря в режиме испытаний холостого хода

жения возбуждения, напряжения якоря;

- по запросу контроллера управления передача измеренных значений тока и напряжения.

Функции ИК2-ИК4:

– измерение мгновенных значений тока якоря;

– формирование признака ($П_i$);

– по запросу контроллера управления передача измеренных значений тока.

Для формирования признака $П_i$ ток, протекающий через каждый шунт, разбит на четыре поддиапазона (в амперах) следующим образом:

- $Ш_1$ (0-160) поддиапазоны 0-40, 41-80, 81-120, 121-160;

- $Ш_2$ (100-1600) поддиапазоны 100-400, 401-800, 801-1200, 1201-1600;

- $Ш_3$ (800-2400) поддиапазоны 800-1200, 1201-1600, 1601-2000, 2001-2400.

Таким образом, формирование признака $П_i$ в ИК выполняется, если измеренное значение тока (I) соответствует условию

$П_i = 1$,

если $0{,}5\,Д_н \geq I \leq 0{,}95\,Д_в$,

где $Д_н$ – нижнее значение поддиапазона тока двигателя, А; $Д_в$ - верхнее значение поддиапазона тока двигателя, А.

В (1) i = 2, 3 или 4, где 2, 3 и 4 соответствует $ИК_2$, $ИК_3$ и $ИК_4$ на рис. 2 (контроллер $ИК_1$ имеет только один диапазон измерений).

Рассмотрим определение фактической величины тока, например, при условии

$$П_{ИК4} = 1,\ АЦП_4 = 812,\ 2^0 = 0{,}8\ А,$$

где $ИК_4$ – сформирован $П_4 = 1$, т.е. признак $ИК_4$, подключенного к $Ш_3$ (см. рис. 2); $АЦП_4$ – обработка данных 4-м каналом АЦП; 812 – показания АЦП ИК4 в десятичном коде; 2^0 – разрешающая способность младшего разряда АЦП.

Тогда величина измеренного тока (Iик4) определяется следующим образом

$$I_{ИК_4} = (812 - 512) \times 0{,}8 + 2000 = 2320\text{A},$$

где 512 - показания АЦП при отсутствии тока; 0,8 – см. (2); 2000 – величина нижнего предела измерения тока в 4-м поддиапазоне $ИК_4$, равного 2000–2400 А.

Более детальное описание принципа измерения токов и напряжений с использованием ИК см. в [1].

$К_1$-$К_4$ – контакторы по командам контроллера управления, подключающие к РТП испытываемую машину в соответствии величиной её якорного тока.

КУ – контроллер управления со следующими функциями:

- обмен данными с рабочей станцией;

обмен данными с измерительными контроллерами и прием измеренных величин токов и напряжений только с того ИК, у которого сформирован признак согласно (1);

- прием аналоговых сигналов об уровне вибраций;

- выдачу в РТП данных о требуемых величинах ограничения скорости нарастания и величины тока разгона, тока и времени торможения, значение максимального тока защиты;

- прием из РТП служебных данных: «Готовность» и «Авария»;

- выдача команд выбора контактора и реализация режимов испытаний;

- выдача команд запрета на выполнение испытаний в случае возникновения аварийных ситуаций (превышение измеренных величин токов и напряжений допустимых значений).

Рабочая станция со следующими функциями:

- прием от оператора данных о типе, мощности, номинальном токе машины;

- номинальной скорости, токов якоря и возбуждения для двигателя и генератора;

- данных о заказчике ремонта машины, дате её поступления в ремонт, ФИО ответственных за отдельные виды ремонта и т.д.;

- прием от оператора и выдача в контроллер управления команд на режим испытаний и их продолжительность;

- прием от оператора и запоминание данных о величине сопротивления изоляции, величине сопротивления обмоток постоянному току, температуре подшипников с привязкой к дате и времени;

- проверка данных, вводимых оператором с клавиатуры, по принципу «логические ворота»;

- прием от контроллера управления данных о мгновенных значениях токов, напряжений и вибрации;

- оформление результатов испытаний в виде протокола;

- архивирование и визуализация данных о результатах испытаний, в том числе графиков изменения токов и напряжений при испытаниях с привязкой к дате, времени и типу двигателя.

Разработанное программное обеспечение стенда включает три подсистемы:

- определения токов и напряжений, размещенных в измерительных контроллерах;

- расчетов и управления, размещенных в контроллере управления;

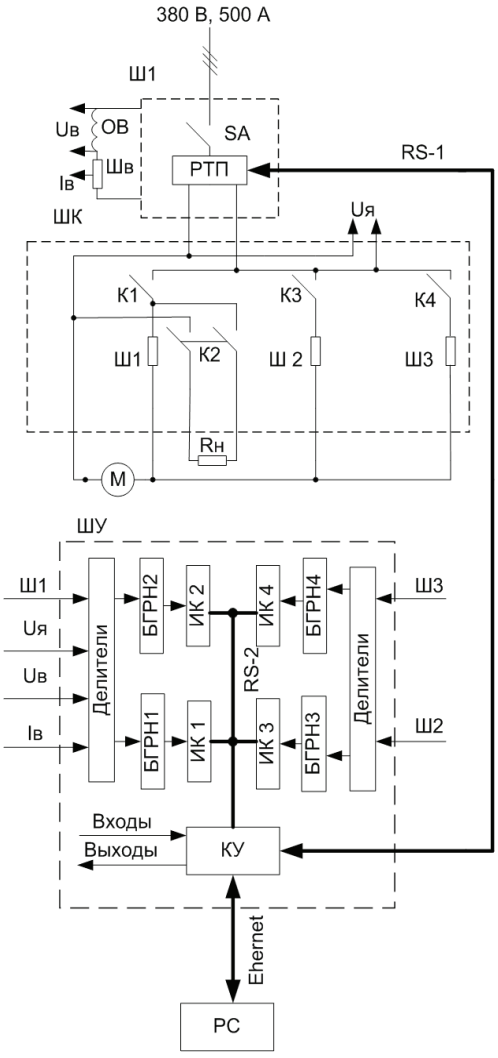
- рабочей станции.

Рабочая станция ведет диалог с оператором с помошью удобного оконного интерфейса, системы подсказок и «горячих» клавиш. Для архивации данных используется СУБД FireBird. Протоколы испытаний сохраняются в формате RTF и, следовательно, их можно просмотреть в любом текстовом редакторе, включая MS Word.

В качестве примера на рис. 3 представлен график изменения токов и напряжений двигателя типа 4ПН225М в режиме динамического нагружения, на рис. 4 - в режиме холостого хода. Все необходимые пояснения даны на рисунках. Ниже представлен образец протокола с результатами испытаний двигателя, выдаваемый на дисплей рабочей станцией и печать.

Особенности и сложности, обнаруженные при наладке.

1. При измерении токов якоря и возбуждения в момент коммутации тиристоров возникают броски напряжения («иглы») уровнем до 530 В, которые



SA – автоматический выключатель
Ш1 – шкаф с реверсивным тиристорным преобразователем
ОВ – обмотка возбуждения
ШК - шкаф коммутации
Ші – токоизмерительный шунт
Uв - напряжение возбуждения
Кі – контакторы
Uя - напряжение якоря
К1,К2 – контактор на ток до 100 А
К3 – контактор на токи до 400 А
К4 - контактор на токи до 800 А
М – испытываемая машина
Rн - нагрузочный резистор
ШУ – шкаф управления
ИК – измерительный контроллер
КУ – контроллер управления
РС– рабочая станция
Входы – аналоговые и дискретные входные сигналы
Выходы – аналоговые и дискретные сигналы управления
—— линии связи для интерфейсов
RS-1 (RS-232), RS-2 (RS-485)

Рис. 2. Структурная схема стенда

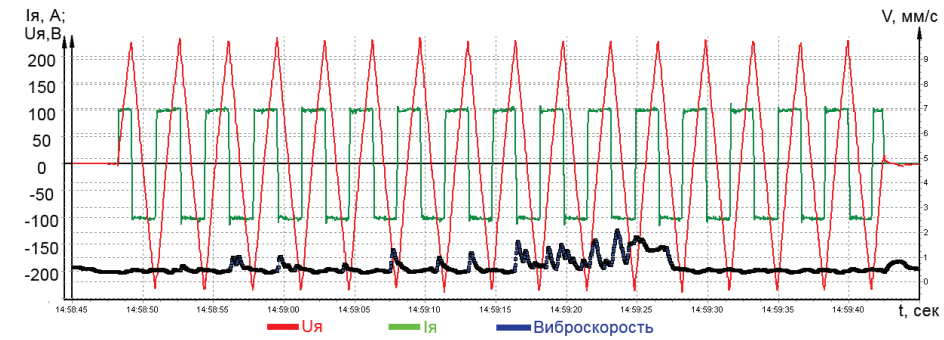


Рис.3. Испытания в режиме динамического нагружения

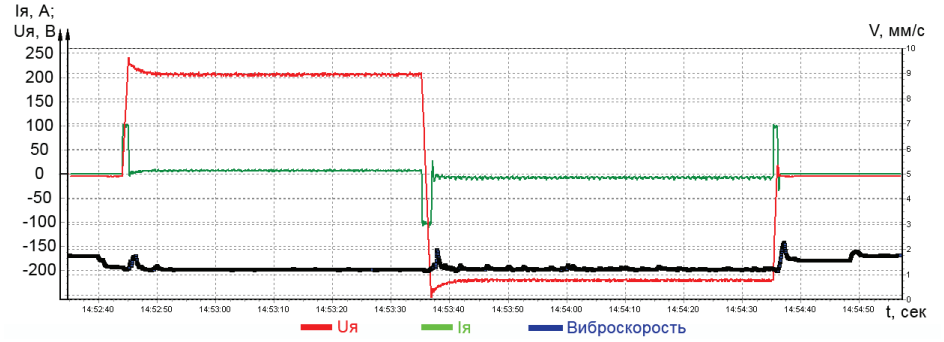


Рис.4. Испытания в режиме холостого хода

существенно влияли на результирующее значение, в случае если бросок напряжения совпадал с моментом измерения. Решено путем программной фильтрации входного сигнала.

2. При отключении в аварийной ситуации обмотки возбуждения от РТП в коммутирующем аппарате возникала дуга вследствие большой индуктивности цепи возбуждения. Решено установкой параллельно обмотке возбуждения диода, гасящего ЭДС самоиндукции.

СТП 130-03-2010

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Электроремонтный цех

Протокол № 894

результатов испытаний электрической машины постоянного тока

Вид электромашины: Двигатель

Тип: 4ПН225М.

Дата: 24.10.2012

Заказ №: 963451. Заводской (инв.) №: 2303999

Заказчик: Блюминг – 2. Вид ремонта: Капитальный

Паспортные данные

Мощность: 20 кВт., Скор. вращ.: 750 об/мин., $I_{якоря}$: 105 А, $U_{якоря}$: 220 В, $I_{возб.}$: 3,5 А, $U_{возб.}$: 220 В.

1. Сопротивление изоляции обмоток: $R_{Изя}$ = 10 МОм, $R_{Изв}$ = 11,5 МОм

2. Сопротивление обмоток постоянному току: $R_{я}$ = 0,01 Ом, $R_{ш}$ = 62,93 Ом.

3. Режим холостого хода: $U_{возб.}$ = 200 В, $I_{якоря}$ = 4,3 А, $I_{возб.}$ = 3,45 А

4. Режим нагружения: $I_{я}$ = 100 А, $U_{я}$ = 211 В, Вибрация = 2,2 мм/с

5. Температура подшипников:

Передний до испытания – 20 °С, Задний до испытания – 20 °С

Передний после испытания – 27 °С, Задний после испытания – 29 °С

6. Время испытаний: 14:02-14:28

7. Заключение:

_____
_____
_____
_____
_____

Испытание произвёл: К.Б. Прохоренко

Ст. мастер по испытаниям: С.В. Чирва

Начальник ЭРЦ: В.А. Буртовой

3. При испытании электромагнита существовала вероятность возникновения аварийного пробоя тиристоров РТП за счет возникновения ЭДС самоиндукции, возникающей при отключении силовой цепи автоматическим выключателем или обрыве силового провода. Решено установкой параллельно обмотке катушки диода, гасящего ЭДС самоиндукции, на время испытания электромагнита.

В заключение отметим, что использование стенда обеспечивает:

– уменьшение вероятности отправки заказчику электрической машины со скрытыми дефектами;

– сокращение времени подготовки отчетных документов за счет уменьшения количества данных, вводимых вручную, путем использования методов автоматизированной их подготовки;

– долговременное хранение данных с результатами испытаний в электронном виде.

Библиографический список

1. Вайнер А.И., Буртовой В.А., Ткаченко Г.И. и др., «Стенд для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей методом динамического нагружения» // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2011. - № 4. - С. 111-115.

2. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при послеремонтных испытаниях. – М.: Недра, 1992. – 236 с.

Поступила 31.10.2012

◆

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ
«Металлургическая и горнорудная промышленность»

Единственное в Украине специализированное издание, освещающее вопросы научной и практической деятельности специалистов горно-металлургического комплекса, а также все проблемы ГМК. Наш журнал издаётся с 1960 г. Распространяется по подписке в Украине и странах СНГ (Россия, Молдавия, Казахстан, Беларусь, Узбекистан).

Индекс: 74311 – журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на рус. языке. Стоимость годовой подписки (6 журналов) – **2 580 грн.;**

Индекс: 49501 - журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность», CD-ROM. Стоимость годовой подписки (6 журналов) – **1 728 грн.;**

Главная задача журнала – рекламная поддержка передовых технологий и разработок, публикация информации о новейших научно-технических достижениях исследовательских коллективов, институтов, предприятий и организаций ГМК Украины.

Читатели журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность» - специалисты и топ-менеджмент предприятий, участвующих в технологическом цикле сырье – сталь – металлообработка - потребление: ГОКи, КХЗ, ферросплавные заводы, производители чугуна, стального проката, труб, метизов, конечные потребители базовых отраслей металлургической и горнорудной промышленности.

ЖУРНАЛ ДЛЯ ТЕХ, КТО РАБОТАЕТ В МЕТАЛЛУРГИИ И ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ!

Стоимость рекламы (в гривнах):

Площадь, формат	*Чёрно-белая*	*Полноцветная*
1 стр. обложки (½ стр)		5 000
4 стр. обложки:		
страница (А4)	-	5 000
на страницах журнала:		
страница (А4)	1 000	2 000
½ стр.	500	1 000

Вложение в журнал рекламных листовок: А4 – 1 грн.; А5 – 0,5 грн.
Публикация статьи на правах рекламы – 750 грн за страницу.

Адрес редакции :
49027, Днепропетровск, ул. Дзержинского, 23 ,
тел/факс (0562) 46-12-95, (056) 744-81-66.
E-mail: metinfo@metinform.dp.ua;
http: // www. metaljournal.com.ua

УДК 005.8:004.9

Кийко С.Г.
ПАО «Днепроспецсталь»
Дружинин Е.А. /д.т.н./, Коба С.А.
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Гайдабрус Б.В. /к.т.н./
Сумской ГУ

Математическое обеспечение информационной технологии интеграции процессов при планировании проектов с учетом влияния факторов риска

Рассмотрены подходы к интеграции основных процессов проекта и механизмов устранения последствий проявления факторов риска. Выявлены достоинства и недостатки существующих методов, на основании чего сделан вывод о необходимости разработки метода интеграции. Для этой цели был выбран язык РССП. Ил. 5. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: *устранение факторов риска, метод интеграции, информационные технологии*

The approaches to the integration of major project processes and mechanisms to address the consequences of manifestations of risk factors. Identified strengths and weaknesses of existing methods , based on which the conclusion of the need to develop a method of integration. For this purpose, has been selected language MTPF .

Keywords: *risk factors , the method of integration , information technology*

Введение

При анализе технико-экономических показателей проекта, необходимо рассматривать все процессы проекта как единое целое согласно системному подходу. Это нужно для того, чтобы получить реальные сроки, стоимость и загрузки ресурсов проекта. Интеграции процессов в единое целое, препятствует их различный характер. Одни процессы постоянно присутствуют в структуре работ проекта и чаще всего поддаются некоторым закономерностям их формирования, такие процессы называют основными. Другие появляются периодически, либо с вероятностью. Для объединения процессов различного характера необходима особая модель представления плана проекта. Наличие большого количества процессов различного характера приводит к тому, что объединение процессов «вручную» практически невозможно, необходимо использование информационных технологий.

Цель настоящей статьи – освещение научно-практических аспектов математического обеспечения информационной технологии интеграции процессов при планировании проектов с учетом влияния факторов риска.

В рамках указанной цели рассматриваются следующие вопросы: анализ подходов к интеграции основных процессов проекта и механизмов устранения последствий проявления факторов риска, разработка на основании исследований метода интеграции, проведение эксперимента на реальных данных с использованием информационной технологи на базе разработанного метода.

Анализ существующих методов

Одними из широко распространенных методов анализа влияния факторов риска на проект являются методы Монте-Карло [1] и PERT [2]. Они используют статистический подход для определения длительности либо стоимости работ проекта.

Достоинством данных методов является их простота и малые трудозатраты на моделирование, однако они не позволяют получить детализированный календарный план проекта, из-за чего падает их точность.

Также некоторые технико-экономические показатели (например, загрузка ресурсов в момент времени) невозможно определить путем статистического моделирования.

При представлении плана проекта часто используется матричный подход [3]. Он очень удобен при формировании основных процессов проекта, так как позволяет быстро и эффективно, используя аппарат преобразования матриц, объединить этапы проекта по различным логическим условиям. Однако вставка произвольных участков работ либо повторов при данном подходе является громоздкой и ненаглядной операцией. Поэтому для интеграции процессов различного характера данный подход не является оптимальным.

Для выполнения задачи интеграции, также могут быть использованы методы стохастического моделирования [4] или моделирования с помощью сетей Петри [5]. Эти методы не получили широкого распространения в области управления проектами из-за сложности реализации или отсутствия инструментальных средств.

В данной работе предлагается использовать для решения задачи интеграции язык РССП [6, 7].

Модификация структуры проекта с использованием языка РССП

В рамках данной статьи исследование влияния факторов риска на структуру проекта создания слож-

© Кийко С.Г., Дружинин Е.А., Коба С.А., Гайдабрус Б.В., 2013 г.

ной техники включает в себя исследование внутренних рисков проекта. К ним относятся: отказ ресурсов, брак на производстве, риски недостижения заданного качества. Как реакция на их возникновение в проекте задаются механизмы устранения последствий проявления факторов риска. Интеграция этих механизмов с основными процессами проекта приводит к определенным изменениям в структуре работ (рис. 1).

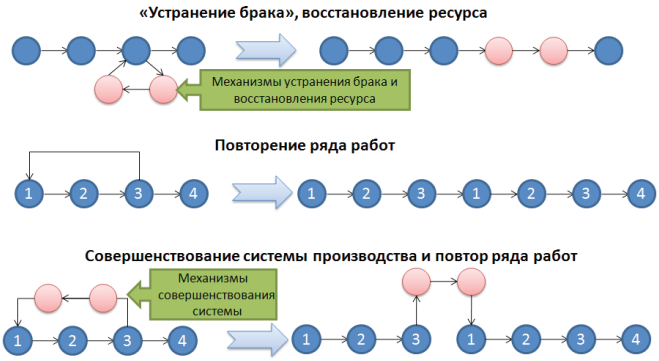


Рис. 1. Изменения в структуре работ проекта

Основные процессы проекта и изменения в структуре работ могут быть интерпретированы на язык РССП в соответствии с табл. 1.

Таблица 1. Основные процессы и изменения в структуре работ проекта

Название	РССП
Последовательный участок работ	*Y(1)vY(2)vY(3)vY(4)*
Параллельный участок работ	*[Y(1)^Y(2)^Y(3)^Y(4)]*
«Устранение брака»	*Y(1)vY(2)vY(3){DR:0,6:R(1) vR(2)}vY(4)*
Повторение ряда работ	*{ER}Y(1)vY(2)vY(3){SR:0,6} vY(4)*
Совершенствование системы производства и повтор ряда работ	*{ER}Y(1)vY(2)vY(3) {SR:0,6:R(1)vR(2)}vY(4)*

Ограничения и начальные условия

Для упрощения записи комплекса работ проекта создания сложной техники на языке РССП необходимым является выполнение ряда условий и ограничений. Они связаны как с ограничениями языка РССП, так и с логикой процесса выполнения проекта. Представим комплекс работ в виде канонической сетевой модели, состоящей из вершин и соединяющих дуг.

Сеть должна иметь единственную начальную и конечную вершины. Если это не так, в сеть следует добавить фиктивную начальную или конечную вершины (рис. 2).

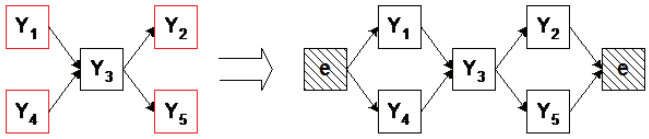


Рис. 2. Фиктивные начальная и конечная вершины

Далее следует проверить, что сеть не содержит вершины, не имеющие последователей или предшественников (кроме начальной и конечной вершины). Если таковые присутствуют, необходимо ввести фиктивную начальную либо конечную вершину, выступающую в роли предшественника либо последователя соответственно.

Сеть должна преобразовываться к комбинации последовательных и параллельных участков работ. Если это не так, сеть следует привести к агрегируемому виду путем дублирования некоторых вершин (рис. 3).

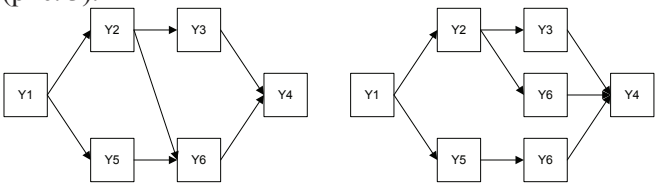


Рис. 3. Приведение сети к агрегируемому виду

Возврат и повтор ряда работ не может быть выполнен, если точка возврата не является прямым или косвенным предшественником работы, в которой проявился фактор риска.

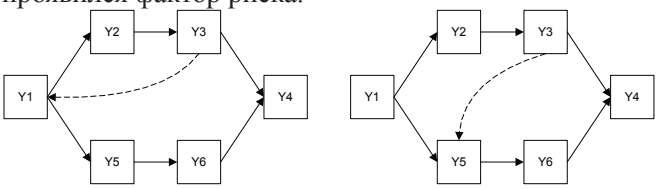


Рис. 4. Возвраты в структуре проекта

В левой части рис. 4 изображен допустимый возврат, т.к. вершина Y1 является косвенным предшественником вершины Y3, в правой же – недопустимый возврат.

Применение метода на реальных данных

На основании данного подхода был проанализирован проект создания беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Исходные данные были предоставлены НИИПФМ ХАИ. В проекте были выделены семь рисков недостижения заданного качества различной степени влияния на структуру проекта. Была выполнена интеграция основных процессов (моделирование и конструкторско-технологическое членение, рабочее проектирование, технологическая подготовка производства, производство и сборка) с механизмами устранения последствий проявления факторов риска.

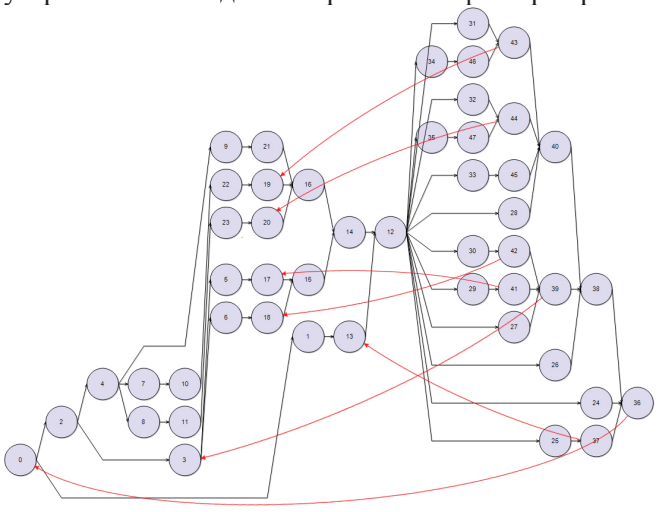


Рис. 5. Проект создания БПЛА

В результате трансляции проекта (рис. 5) на язык РССП было получено выражение:

$R_{проектаБПЛА}$=*Y(0){ER(5)}v[Y(1)vY(13){ER(3)}^Y(2) v[Y(3){ER(6)}v[Y(5)vY(17){ER(1)}^Y(6)vY(18) {ER(2)}]vY(15)^Y(4)v[Y(9)vY(21)^Y(7)vY(10)vY(22) vY(19){ER(4)}^Y(8)vY(11)vY(23)vY(20) {ER(0)}]vY(16)]vY(14)]vY(12)v[[Y(24)^Y(25)vY(37){SR (3):0,5}]^[[Y(26)^[Y(27)^Y(29)vY(41) {SR(1):0,65}^Y(30)vY(42){SR(2):0,55}]vY(39) {SR(6):0,2}]^[[Y(28)^Y(33)vY(45)]^[Y(31)^Y(34) vY(46)]vY(43){SR(4):0,5}^[Y(32)^Y(35)vY(47)]vY(44) {SR(0):0,6}]vY(40)]vY(38)]vY(36){SR(5):0,1}*

Заключение

В статье рассмотрены подходы к интеграции основных процессов проекта и механизмов устранения последствий проявления факторов риска. Выявлены достоинства и недостатки существующих методов, на основании чего сделан вывод о необходимости разработки метода интеграции. Для этой цели был выбран язык РССП.

Использование разработанного метода позволяет представлять план проекта как единое целое в компактной символьной форме, включающей в себя процессы различных характеров.

Данный метод может быть успешно использован при разработке информационных технологий для анализа и синтеза структурных моделей проекта в условиях неопределенности, для автоматизации планирования производственного и организационного управления, для имитационного моделирования технико-экономических показателей проектов, а также при разработке систем поддержки решений в условиях неопределенности.

Библиографический список

1. Juneja, Sandeep. Monte Carlo methods in finance: An introductory tutorial. Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2010 Winter, 5-8 Dec. 2010. – 95. – 103 p.

2. Управление инновационными проектами: Уч. пособие / Под ред. проф. В.Л. Попова. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 336 с.

3. Коба С.А. Метод формирования плана проекта с изменяющейся структурой при создании сложной техники // Восточно-европейский журнал передовых технологий, Харьков. – 2013. − № 1/3 (61). – С. 39.

4. Голенко-Гинзбург Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками: Монография. – Воронеж: Научная книга, 2010. – 284 с.

5. Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения. – М.: Наука, 1987. – 191 с.

6. Дружинин Е.А. Методологические основы риск-ориентированного подхода к управлению ресурсами проектов и программ развития техники. Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». - Харьков: 2006. – 403 с.

7. Дружинин Е.А. Проектирование автоматизированных производственных систем: Уч. пособие / Е.А. Дружинин, М.А. Латкин, М.М. Митрахович. – Харьков: Нац. Аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. – 41 с.

Поступила 22.05.2013

◆

ЖУРНАЛ ДЛЯ ТЕХ, КТО РАБОТАЕТ В МЕТАЛЛУРГИИ И ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ!

Стоимость рекламы (в гривнах):

Площадь, формат	*Чёрно-белая*	*Полноцветная*
1 стр. обложки (½ стр)		5 000
4 стр. обложки:		
страница (А4)	-	5 000
на страницах журнала:		
страница (А4)	1 000	2 000
½ стр.	500	1 000

Вложение в журнал рекламных листовок: А4 – 1 грн.; А5 – 0,5 грн.
Публикация статьи на правах рекламы – 750 грн за страницу.

Адрес редакции :
49027, Днепропетровск, ул. Дзержинского, 23 ,
тел/факс (0562) 46-12-95, (056) 744-81-66.
E-mail: metinfo@metinform.dp.ua;
http: // www. metaljournal.com.ua

УДК 669: 339.564
Информационная

Горянская Т.В. /к.э.н./
ДонГУУ

Металлургическая отрасль Украины: состояние, перспективы и стратегия внешнеторговых отношений

В статье рассмотрено состояние металлургической отрасли Украины на современном этапе развития внешнеторговых отношений. Проанализирована динамика экспорта отечественной металлопродукции, ее товарная структура и выявлены наиболее перспективные направления ее сбыта. Ил. 1. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: *металлургическая отрасль, металлургическая продукция, внешнеторговые отношения, экспорт*

The condition of Ukraine's metallurgical industry on the modern stage of the foreign trade relation's development is considered in the article. The dynamics of native metal products' export, its commodity structure is analyzed and the most perspective ways of its marketing is determined.

Keywords: *metallurgical industry, metallurgical products, foreign trade relation, export*

Наиболее весомым фактором развития экономики считается эффективный экспорт. Его стратегическая роль заключается в том, что он на основе реализации конкурентных преимуществ расширяет границы торговли, обеспечивает получение дополнительных прибылей и увеличение национального роста.

Украина – один из основных в мире производителей металлов и изделий из него. Металлургия была и остается ведущей отраслью промышленности Украины. Объемы ее производства обеспечивают около 20 % ВВП страны [1, с. 10]. По данным Международного института чугуна и стали, Украина в 2012 г. по объему производства стали заняла 10 место в мире. На металлургическую промышленность приходится 10 % совокупного выпуска украинской продукции, 32-34 % общего экспорта, добавленная стоимость металлургии составляет 5 % ВВП [2, с. 96]. Основные виды украинской металлургической промышленности – железорудный концентрат, агломерат и окатыши, кокс, чугун, сталь, прокат черных металлов, трубы и ферросплавы. Производство чугуна, стали и ферросплавов составляет 72,6 %, производство готовых изделий с большей добавленной стоимостью – всего 9,7 % [2, с. 97]. Подобная товарная структура отечественной металлургической отрасли свидетельствует о низком технологическом развитии, которая требует масштабных инвестиционных программ.

Значимость металлургической отрасли для национальной экономики страны, необходимость ее модернизации и дальнейшего развития рассматривается в трудах многих известных украинских ученых. Среди них - Я.А. Жалило, Д.С. Покрышка, Я.В. Белинская, А.П. Павлюк, С.Л. Воробьев, О.В. Собкевич, В. Осипов, О. Ермакова, В. Мазур, М. Тимошенко, В.И. Большаков, Л.Г. Тубольцев. Они внесли значительный вклад в исследование проблем развития и модернизации металлургической отрасли. Однако интеграционные процессы, протекающие во всех странах мира, вносят свои коррективы во внешнеторговые отношения, что приводит к появлению новых технологий, требованиям к качеству продукции, развитию новых экономик.

Цель статьи заключается в исследовании состояния металлургической отрасли Украины, анализе динамики экспорта металлопродукции и ее конкурентоспособности, выявлении перспективных направлений внешнеторговых отношений в области металлургии.

Отличительная черта отечественной металлургической отрасли – экспортная ориентированность. Экспорт составляет около 80 % выпуска отрасли и характеризуется незначительной добавленной стоимостью. В структуре внешней торговли Украины доминирует чугун и сталь (92 %). В 2011 г. металлургические предприятия Украины увеличили объемы производства на 5,7 %, что составило 35,3 млн. т в сравнении с 2010 г. Несмотря на снижение объемов производства в 2012 г. на 6,9 % позитивный тренд функционирования металлургической отрасли сохранился. Снижение объемов производства обусловлено, прежде всего, неблагоприятной внешнеэкономической конъюнктурой. В течение 2012 г. динамика мировых цен на металлургическую продукцию носила характер спада. Так, в августе 2012 г. в годовом измерителе средние мировые цены на катанку снизились на 10,3 %, на арматуру – на 12,8 %, общемировой индекс стали в сентябре 2012 г. составил 184,5 %, при этом в сентябре 2011 г. – 213,5 %, что подтверждает наличие кризисных явлений в мире, которые, прежде всего, ведут к прекращению строительства и, как следствие, снижению спроса на металл [3, с. 26].

Для сравнения, суммарный объем мирового производства стали составил в 2011 г. – 1490 млн. т, в 2012 г.

© Горянская Т.В., 2013 г.

– 1548 млн. т. Ведущими производителями стали в 2012 г. были страны Азии и Северной Америки, где выплавлено 1012 млн. т стали, что на 2,6 % больше чем в 2011 г. и 122 млн. т, что на 2,5 % больше, чем в 2011 г., соответственно. При этом Китай является мировым лидером по производству стали - 716,5 млн. т, его доля в мировом производстве составила 46,3 %. США заняли 3-е место - 88,6 млн. т. Европейский Союз в 2012 г. снизил производство стали на 4,7 %, что составило 169,4 млн. т. Лидирующее положение среди стран-членов Европейского Союза занимает Германия – 42,7 млн. т стали.

Основной группой украинских товаров, направляемых на экспорт, является металлопродукция (рисунок). Ее структура характеризуется сырьевой ориентацией. В 2012 г. экспорт металлопродукции уменьшился на 3223,8 млн. долл. США в сравнении с предыдущим периодом.



Рисунок. Динамика экспорта металлопродукции Украины в 2008-2012 гг., млн. долл. США

Негативная конъюнктура в Европейском Союзе и усиливающееся экспортное давление со стороны Китая обусловили сокращение отечественного экспорта продукции металлургической отрасли. Ее удельный вес составил 27,5 % общего украинского экспорта. При этом, удельный вес экспорта металлопродукции в 2008 г. составил 41,2 %, в 2009 г. – 32,3 %, в 2010 г. – 33,7 % и 2011 г. – 32,3 %. Резкое снижение удельного веса металлопродукции в общем экспорте Украины объясняется значительным увеличением экспорта продуктов растительного происхождения (почти в 1,7 раз) и удельный вес которых составил 13,4 %. Значительную долю украинского экспорта продукции металлургической отрасли (до 40 %) составляет чугун, слитки, полуфабрикаты, ферросплавы, отходы и лом черных металлов [4, с. 119]. Отметим, что в товарной структуре экспорта Украины практически отсутствует высокотехнологическая металлопродукция. Значительный рост экспорта металлопродукции сырьевой направленности сдерживает развитие наукоемких технологий металлургической отрасли.

Динамика торговли металлопродукцией в значительной мере зависит от конъюнктуры на мировых рынка металла. Основными партнерами Украины в торговле металлопродукцией традиционно остаются Европейский Союз, Россия, США.

Статус члена ВТО предоставил Украине ряд преимуществ во внешней торговле (отмена квотирования экспорта, уменьшение антидемпинговых ограничений, специальных защитных расследований и т.п.) и таким образом, улучшил условия доступа на рынок Европейского Союза. Удельный вес экспорта отечественной металлургической продукции в страны-члены Европейского Союза в 2010 г. составил 29,3 % общего экспорта Украины, в 2011 г. – 29,5 %, в 2012 г. – 20,9 %.

Замедление экономической динамики большинства стран – торговых партнеров, особенно Европейского Союза, привели к снижению спроса на продукцию металлургической отрасли. Для сохранения доли украинской металлопродукции на мировом рынке, особенно на рынке Европейского Союза, необходимо увеличить финансирования инвестиций в модернизацию оборудования и технологические процессы, а также больше ориентироваться на производство конечной продукции и ее сбыт, как на внешнем, так и на внутреннем рынках.

Высокая степень экспортной ориентированности отечественной металлургической отрасли несет значительные риски для развития отрасли и экономики страны в целом, так как доля внутреннего потребления металлопродукции украинского производства незначительна, и отрасль фактически зависит от мирового спроса, который существенно колеблется. Падение спроса не только ставит под угрозу развитие металлургической отрасли, но и ведет к ухудшению платежного баланса и снижению темпов развития национальной экономики.

Незначительное внутреннее потребление отечественной металлопродукции обусловлено: во-первых, превышением цены на украинскую металлургическую продукцию на внутреннем рынке над ценами экспорта. Так, по состоянию на июнь 2012 г. средние цены на внутреннем рынке на холоднокатаные и горячекатаные листы (рулоны) превышали в 1,5 раза экспортные мировые цены, а на арматуру и катанку – в 1,3 раза [4, с. 120]; во-вторых, зависимостью Украины от импорта ферросплавов и наукоемкой продукции с высокой добавленной стоимостью. Значительный рост импорта ферросплавов объясняется повышением цен на электроэнергию для отечественных ферросплавных предприятий, что привело к снижению загруженности их мощностей на 40-50 % [4, с. 120].

Темпы роста внутреннего потребления отечественной металлопродукции значительно отстают от темпов поступления импортной металлопродукции. Так, в 2010 г. импорт металлопродукции в Украину составил 4128,0 млн. долл. США, в 2011 г. – 5696,9 млн. долл. США, в 2012 г. – 5238,9 млн. долл. США.

Последние годы отечественная металлургическая продукция выходит на новые рынки сбыта, а именно на Ближний Восток и в Азию. Так, в 2012 г. заметно возросли объемы поставок металлопродукции на рынки стран Африки. Стабильным потребителем украинской металлопродукции остается Турция. Ее заинтересованность объясняется тем фактом, что, приобретая недорогую украинскую металлопродукцию для собственного потребления, она имеет возможность свою металлопродукцию экспортировать

на рынки Европейского Союза по высокой цене.

Рынки металлопродукции стран Ближнего Востока и Африки развиваются довольно быстрыми темпами и находятся в стадии подъема, что открывает новые перспективы для Украины в области металлургии. В условиях сложившейся нестабильности мировой конъюнктуры Украина заинтересована в установлении длительных, взаимовыгодных стабильных отношений в стратегической для них металлургической отрасли [5, с. 63]. По мнению специалистов, восстановление экономики Ливана, Ирака, Сектора Газа, Сирии, строительный бум в Алжире будет способствовать повышенному спросу на металлопродукцию.

Исходя из вышесказанного, можно выделить следующие факторы, способствующие расширению сотрудничества Украины со странами Ближнего Востока и Африки в области металлургии, а именно:

- быстрое экономическое развитие стран Ближнего Востока и Африки;
- емкость рынка и высокий спрос на металлопродукцию;
- реализация инфраструктурных проектов;
- активизация процессов консолидации в металлургической отрасли с привлечением иностранных инвесторов, что открывает перспективу создания совместных вертикально-интегрированных структур в металлургической отрасли [5, с. 66].

Наиболее перспективным направлением сотрудничества Украины со странами Ближнего Востока и Африки является привлечение инвесторов к модернизации отечественных предприятий металлургической отрасли. Инвестиции в их развитие недостаточны и не позволяют быстро обновить основные фонды.

Необходимость модернизации металлургической отрасли Украины обусловлена следующими причинами:

- высокой энергоемкостью производства и неэффективным потреблением топливно-энергетических ресурсов;
- отсутствием инновационных сдвигов, упадком отраслевой науки и недееспособностью механизмов привлечения потенциала академических институтов для выполнения прикладных разработок [4, с. 120];
- высокой степенью изношенности основных фондов (до 70-80 %) [4, с. 121];
- неэффективным использованием производственных мощностей;
- постоянно увеличивающимися экологическими проблемами, особенно в районах, где металлургическая отрасль является доминирующей.

Таким образом, перспективным развитием отечественной металлургической отрасли является модернизация и реконструкция производства, энерго- и ресурсосбережение, улучшение качества и повышение конкурентоспособности металлопродукции. При этом главная задача заключается в укреплении законодательной базы.

Библиографический список

1. Обзор черной металлургии Украины 1998-2012 гг. и прогноз до 2020 г. – М.: Издательская группа «ИнфоМайн», 2012. – 180 с.

2. Оцінка потреб України у галузі. Сприяння міжнародній торгівлі. Вплив торговельної політики на людський розвиток. – К.: Аналітично-дорадчий центр Блакитної стрічки, 2011. – 132 с.

3. Перспективи економіки України в умовах глобальної макроекономічної нестабільності / Я.А. Жаліло, Д.С. Покришка, Я.В. Белінська, А.П. Павлюк та ін. – К.: НІСД, 2013. – 120 с.

4. Воробйов С.Л., Собкевич О.В. Пріоритети та інструменти модернізації металургійної галузі України // Стратегічні пріоритети. – 2012. – № 4 (25). – С. 118-124.

5. Осипов В., Ермакова О. Развитие украинского экспорта металлопродукции в страны Арабского Союза чугуна и стали // Экономика Украины. – 2009. – № 12. – С. 62-68.

6. Мазур В., Тимошенко М. Актуальні економічні питання в металургійній галузі України // Економіка України. – 2012. – № 6. – С. 13-23.

Поступила 21.06.2013

◆

УДК 339.5+336

В порядке дискуссии

Галасюк В.В. /к.э.н./
ООО «КАУПЕРВУД»

О концептуальных основах мирового финансового кризиса

Мировой финансовый кризис усугубляется. Это происходит вопреки непрерывным усилиям руководителей государств и политиков, направляемым на улучшение экономической ситуации.

Почему так происходит?

Экономические процессы, в субъективном аспекте, являются результатом принятия и реализации **экономических решений.**

Экономические решения, как и любые другие решения, принимаются на основе информации, по-

© Галасюк В.В., 2013 г.

ступающей к лицу, принимающему решение. Для качественных решений чрезвычайно важно получать качественную информацию, качественно трансформированную в формат, приемлемый для принятия решений.

Вопросам обеспечения качества информации для принятия экономических решений и обеспечения её качественной трансформации в форматы, приемлемые для принятия этих решений, уделяется пристальное внимание специалистов. Об этом свидетельствует непрерывное совершенствование учёта, в том числе бухгалтерского, финансовой отчётности, оценки активов, аудита, процессов формирования, накопления и оперативной передачи информации. Постоянно совершенствуются: МСБУ, МСФО, КСО, <IR>, Лин-учёт, МСО, RICS, МСА, XBRL… В результате, вопреки этим титаническим усилиям огромного количества специалистов, мы видим, что мировой финансовый кризис продолжает обостряться. Данная ситуация является свидетельством того, что **мировой финансовый кризис порождается систематической и массовой неадекватностью принимаемых экономических решений.**

Систематическая и массовая неадекватность принимаемых экономических решений, является следствием систематического и массового применения в экономиках всех государств мира квазидвумерных относительных измерителей.

Применение квазидвумерных относительных измерителей – неадекватной меры неравенства величин из одного и того же одномерного пространства –одномерного пространства стоимости, является слабым звеном в процессах принятия всех экономических решений.

Процесс принятия любого решения завершается сравнением альтернативных решений на основе критерия, свойственного тому либо иному классу принимаемых решений.

Критерием принятия экономических решений является стоимость.

Процесс принятия любого экономического решения, в конечном итоге, приходит к сравнению двух величин стоимости**.**

Две сравниваемые величины стоимости являются объектами из одного и того же одномерного пространства стоимости.

Измерить неравенство двух сравниваемых скалярных величин можно, отвечая на вопросы:

1) на сколько одна величина больше другой;
2) во сколько раз одна величина больше другой.

Для ответа на первый вопрос используется **одномерный измеритель $X_j–X_i$.**

Для ответа на второй вопрос используются относительные величины: либо **двумерный относительный измеритель X/Y,** либо **квазидвумерный относительный измеритель X_j/X_i.**

Двумерными относительными измерителями являются измерители, представляющие собой отношение двух величин из пространств разных мер.

Квазидвумерными относительными измерителями являются измерители, представляющие собой отношение двух величин из одного и того же одномерного пространства.

В экономике широко применяются, в частности, следующие квазидвумерные относительные измерители: темпы роста (цепные и базисные), проценты (в том числе банковские), индексы, курсы валют, финансовые коэффициенты и множество других.

Применение квазидвумерного относительного измерителя X_j/X_i, в качестве меры неравенства двух одномерных скалярных величин X_i и X_j из одного и того же одномерного пространства X, по сути означает применение неадекватной меры для характеристики неравенства этих двух одномерных объектов из одного и того же одномерного пространства.

Основанием этого вывода является положение:

«Сравнение двух n-мерных объектов из одного и того же n-мерного пространства при помощи n+m мер, при условии, что m≥1, невозможно» [1].

Для того, чтобы лучше понять суть этого фундаментально важного положения представьте, что для характеристики неравенства длин двух неравных по длине отрезков, вам предлагают, помимо меры длины, использовать ещё дополнительно и вторую меру, например, - цвет, звук или запах. Не правда ли, такое предложение вызовет у вас, по крайней мере, удивление? Причиной этого недоумения является поступившее предложение охарактеризовать неравенство двух одномерных величин из одного и того же одномерного пространства – неадекватной мерой – мерой другого одномерного пространства. Аналогичная ситуация возникнет, если нам предложат охарактеризовать неравенство длин этих двух неравных по длине отрезков (**одномерных** объектов) квадратными метрами или квадратными сантиметрами, то есть, **квазидвумерными измерителями.** Но ведь **относительные величины,** в числителе и знаменателе которых представлены **абсолютные величины,** имеющие одну и ту же размерность, в процедурах измерения также являются **квазидвумерными измерителями.**

Адекватной мерой неравенства двух одномерных величин из одного и того же одномерного пространства является исключительно мера этого одномерного пространства.

Двумерный относительный измеритель является адекватной мерой неравенства двух двумерных величин из одного и того же двумерного пространства.

Моделью **одномерного** пространства является числовая ось с соответствующей размерностью. **Мерой неравенства** двух отрезков, расположенных на одной и той же числовой оси, является разница между численными значениями их длин.

Таким образом, разница двух одномерных величин является адекватным одномерным измерителем неравенства этих двух одномерных величин из одного и того же одномерного пространства.

Но мы, отвечая на вопрос **на сколько** одна из сравниваемых одномерных величин из одного и того же **одномерного** пространства больше или меньше

другой, зачастую дополнительно ставим вопрос и о том, **во сколько раз** одна из этих сравниваемых величин больше или меньше другой, вычисляя **отношение** между ними как частное от деления одной из сравниваемых величин на другую. То есть, мы сравниваем два **одномерных** объекта из одного и того же одномерного пространства, используя уже **две меры.** При этом, второй измеритель, характеризующий вторую меру, является **квазидвумерным относительным измерителем!**

Отвечая на вопрос во сколько раз одна одномерная величина больше или меньше другой одномерной величины из этого же одномерного пространства, мы применяем квазидвумерный относительный измеритель, то есть, дополнительно применяем вторую меру, для характеристики неравенства двух одномерных объектов из одного и того же одномерного пространства. Практически это равнозначно тому, что мы, измеряя неравенство двух длин, измеряем его ещё дополнительно и цветом, или звуком, или запахом!

Применение в экономике квазидвумерных относительных измерителей приводит к подмене пропорциональности квазипропорциональностью, к порождению, на этой основе, непропорционального распределения благ и к диспропорциям в развитии экономических систем [2-4].

«Геометрической прогрессией называется такая последовательность чисел, в которой отношение между последующим и предыдущим членами остаётся неизменным. Это неизменное отношение называется знаменателем прогрессии» [5, с. 181].

Равномерный рост ВВП государств ежегодно на один и тот же процент соответствует росту в геометрической прогрессии со знаменателем прогрессии, равным неизменному значению цепных темпов роста.

При том внимании, которое в настоящее время уделяют лидеры всех стран мира экономическому росту и мерам по его обеспечению, не может не удивлять отсутствие достаточного внимания к вопросу о мерах этого роста [2-4]. Вопрос о том, в какой мере должен быть осуществлён рост экономики имеет не только теоретическое, но и фундаментально важное практическое значение.

Равномерный рост долгов заёмщиков перед кредиторами ежегодно на один и тот же процент порождает рост этих долгов в соответствии сгеометрическими прогрессиями, со знаменателями прогрессий, равными этим процентам.

Все геометрические прогрессии, без исключения, начинают свой рост как почти не растущие, а затем, через некоторое время, превращаются в бесконечно растущие.

Основная проблема современного мирового финансового кризиса заключается в том, что различным субъектам экономических отношений - физическим лицам, юридическим лицам и государствам предлагают обеспечить экономию на *конечных* величинах их бюджетов для погашения *бесконечно растущих, в соответствии с геометрическими прогрессиями, долгов* перед кредиторами различных уровней. Эта задача является фундаментально неразрешимой [2-4].

Использование **квазидвумерных относительных измерителей** в экономической практике продолжается вопреки рекомендациям специалистов. Ещё в 2006 в резолюции международной научно-практической конференции «Информационные технологии в учёте и аудите. Аудит информационных технологий» (Харьков, 24-25 ноября 2006 г.) было зафиксировано: «Рекомендуем органам государственной власти и специалистам при расчёте экономических показателей, исчисляемых как отношение двух величин, учитывать эффект «G-гиперболизма». В частности, при сравнении динамики развития различных процессов рекомендуем использовать не показатели темпов роста (цепных и базисных), а «G-индикатор» [6].

Почему в условиях массового неудовлетворения общественных потребностей, производство материальных благ сокращается, а при этом всё большее количество трудящихся оказывается безработными?

Почему в условиях смягчения монетарной политики в ряде экономически развитых стран, количество банкротств в них, тем не менее, растёт?

Почему постоянные урезания расходов бюджетов государств так и не приводят к исключению дефицитов бюджетов этих государств?

Почему увеличение объёмов финансирования коммерческих банков Центробанками различных государств не приводит к увеличению объёмов финансирования реального сектора экономики?

Почему всё большее количество людей концентрируется в столицах государств, а периферия и сёла оказываются отстающими в экономическом развитии?

Почему банки забирают у должников залоги, а продавать их с каждым днём становится всё труднее?

Почему богатые становятся всё богаче, а бедные всё беднее?

Ответ на эти вопросы состоит в том, что кризисное состояние в экономиках подавляющего множе-



Рисунок. Применение неадекватных измерителей приводит к неадекватным решениям

ства стран мира, является следствием применения при принятии экономических решений**, в том числе** при начислении рент, процентных долгов перед кредиторами и инвесторами, неадекватных измерителей неравенства одномерных величин – квазидвумерных относительных измерителей.

Подмена пропорциональности квазипропорциональностью приводит человечество к искусственным проблемам. Именно поэтому мы должны исключить квазипропорциональность из экономики. Мы должны отказаться от применения в экономике неадекватных квазидвумерных относительных измерителей, порождающих рост величин в геометрической прогрессии и диспропорции. Это требует изменения концептуальных математических основ**,** лежащих в основе современной мировой экономической системы.

Фактическое положение дел в мировой экономике требует от всех нас того, чтобы мы серьёзно задумались о концептуальных математических основах, применяемых в экономике измерителей, и о том влиянии, которое они оказывают на принимаемые нами экономические решения. Пора задуматься.

Библиографический список

1. Галасюк В. Почему темпы роста и индексы не отражают реальную динамику процессов? // Вопросы оценки. - 2006. - № 2. – С.7-14.

2. Галасюк В. О влиянии пропорциональности и квазипропорциональности на распределение благ // Аудитор України. - 2013. - № 2(207). – С. 33-45.

3. Галасюк В. О применении «правила Галасюка» для управления результатами расчётов // На рубеже 20-летия: Сб. научно-методических статей / С.А. Табакова и др.; составители И.Л. Артёменков, В.А. Вольнова, Л.А. Лейфер, Е.И. Нейман. – М.: Общероссийская общественная организация «Российское общество оценщиков», 2013. – 368 с. – С. 214-235.

4. http://www.galasyuk.com.ua/new/publication.php?lang=ru.

5. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. – М.: Наука, 1976. – 335 с.

6. Резолюція Міжнародної науково-практичної конференції „Інформаційні технології в обліку та аудиті. Аудит інформаційних технологій // Аудитор України. - 2006. - № 21(105). – С. 9.

Поступила 17.07.2013

◆

Требования к статьям, направляемым в редакцию

Уважаемые авторы! Для ускорения подготовки очередных номеров журнала редакция обращается с просьбой ко всем авторам передавать статьи в электронном виде на носителях в виде CD-R или CD-RW матриц, либо на флешке. Возможна также передача материалов в редакцию по электронной почте. Отправка в редакцию статей в электронном виде не исключает необходимости предоставления сопроводительного письма от организации и подписанного авторами одного экземпляра статьи.

В редакцию следует предоставлять статью, отпечатанную четкими черными буквами на **белой бумаге** формата **А4** (210х297 мм) в двух экземплярах, объемом не более 6-8 стр. При компьютерном наборе статей желательна распечатка на лазерном или струйном принтере в нормальном (не экономичном) режиме (для первого экземпляра). Количество иллюстраций (рисунков) должно быть не более **4-х** (как исключение - до 6). Статья должна начинаться с указания *индекса УДК*. К статье необходимо приложить **аннотацию на русском и английском языках объемом до 0,5 страницы, перечень ключевых слов, сопроводительное письмо от организации, сведения об авторах** (указать фамилию, имя и отчество, ученое звание, степень, занимаемая должность, место работы, номер служебного телефона и адрес электронной почты каждого автора (при наличии) и указать, **кому** из авторов поручено вести переписку). Перед отправкой в редакцию статья должна быть **тщательно вычитана и подписана всеми авторами**. **Статьи в рукописном виде, а также содержащие многочисленные исправления в тексте, не принимаются.**

· ***Компьютерный набор*** статей следует осуществлять в текстовом редакторе **MS Word (формат файлов *.doc или *.rtf)**, без переносов, шрифтом Times New Roman. Размер символов - 14 пт. Допускается включение в текст статьи рисунков, выполненных средствами **MS Office**, при этом элементы одного рисунка следует группировать. Вставка в текст сканированных и других изображений (например, с цифровой фотокамеры) не рекомендуется. Такие изображения желательно предоставлять в виде отдельных файлов (предпочтительны форматы ***.tif** или ***.jpg** с разрешением 300 dpi, ч/б фото).

Формулы из MathCad и т.п. программ в тексте не допускаются. *Убедительная просьба к авторам не разбивать текст статьи на колонки, как это сделано в журнале, т.к. это только усложняет их обработку!*

· ***Таблицы*** следует пронумеровать и дать им заголовки. Единицы физических величин должны быть указаны в соответствии с Международной системой единиц (СИ). При компьютерном наборе рекомендуемый размер символов в таблицах 8…9 пт (для очень емких таблиц - до 6 пт). Наличие в тексте таблиц, границы которых выходят за поля страницы нежелательно.

· ***В библиографическом списке*** необходимо привести фамилии и инициалы авторов, точное название книги и сборника, сведения о повторности издания, место издания, издательство (или издающую организацию), год издания и общее число страниц. В тексте статьи при ссылке на книгу желательно указать конкретную страницу, материал которой был использован. Для статей из журналов и сборников следует указать фамилии и инициалы первых трех авторов, название статьи, название издания (чьи труды, если это сборник), год выхода, номер и страницы, на которых напечатана статья. Иностранные источники описываются на языке оригинала.

Редакция оставляет за собой право отправлять статьи авторам на доработку в следующих случаях:

- статья небрежно оформлена и не соответствует требованиям редакции без подписей авторов (см. выше);
- статья требует доработки в соответствии с замечаниями редактора раздела;
- к статье не прилагается разрешение на публикацию от организации, в которой работают авторы.

Требования и пожелания к рекламным и т.п. материалам, публикация которых оплачивается, а также «экстренные» публикации согласовываются непосредственно в редакции с ответственным секретарем журнала

Редакция журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность»
Тел. (0562) 46-12-95, отв. секретарь (056) 744-81-66. E-mail: metinfo@metinform.dp.ua; mgp@metaljournal.com.ua.

УДК 669.187.2:621.928.4:66.041.35

Производство

Прейсман М.
«QUAD Engineering»

Швец М.Н.
ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»

Реконструкция систем газоудаления и газоочистки электропечей ДСП-150 в ЭСПЦ ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат»

ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» разработана проектная и рабочая документация реконструкции и модернизации систем газоудаления и газоочистки электропечей ДСП-150 № 1–4 в ЭСПЦ ОАО «Оскольский электрометал¬лургический комбинат» на базе инжиниринга и поставленного высокоэф¬фективного газоочистного оборудования канадской фирмы «QUAD Engineering». ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» (Центр) не только выполнены проектные работы по газоочисткам ДСП-150, но и произведена поставка ряда позиций оборудования и металлоконструкций (каркасы рукавов, компенсаторы и другое). В результате практического партнерского сотрудничества с фирмой «QUAD» Центр (единственный в СНГ) освоил изготовление 8-метровых каркасов, современных элементов систем регенерации и других устройств, что значительно повысило уровень производимых Центром рукавных фильтров. Газоочистки ДСП-150 № 3, 4 введены в эксплуатацию и эффективно работают. Ил. 1. Табл. 1.

Ключевые слова: *крупнотоннажные электропечи, рукавные фильтры, технологические и аспирационные газы, высотная компоновка, горизонтальный циклон, импульсная регенерация, дымососы, 8-метровая длина рукавов, регулирование давления под сводом печей*

SE «UkrRTC «Energostal» developed design and working documentation for reconstruction and modernization of systems for gas collection and gas cleaning of electric furnaces AF-150 No.1-4 in steelmaking shop at «Oskol electrometallurgical plant» based on engineering and supplied high-performance gas cleaning equipment of Canadian firm «QUAD Engineering». SE «UkrRTC «Energostal» (Center) not only made design works for gas cleaning of AF-150 and even supplied some equipment and steel structures (bag cages, compensators and other). As a result of partnership with «QUAD» Center (the one in CIS countries) mastered manufacture of 8-meter cages, contemporary elements of regeneration systems and other devices, and it is increased level of bag filters manufactured by Center. Gas cleaning for AF-150 No. 3, 4 were commissioning and operate effectively.

Keywords: *large-capacity electric furnaces, bag filters, process and aspiration gases, high packaging, horizontal cyclone, impulse regeneration, smoke suckers, 8-meter length bags, pressure control under furnace roof*

ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» (Центр) разработана проектная и рабочая документация технологической части реконструкции и модернизации систем газоочисток крупнотоннажных электросталеплавильных печей ДСП-150 № 1–4 в ЭСПЦ ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» (ОАО «ОЭМК») на базе инжиниринга и поставленного высокоэффективного газоочистного оборудования канадской фирмы «QUAD Engineering» («QUAD»).

До реконструкции эти электропечи были оснащены системами газоудаления и очистки газов фирмы «Baum & Co» с первичным (от 4-го отверстия в своде печи) отсосом технологических газов, водоохлаждаемым газоходом и воздушным газоохладителем и вторичным (от пылешумозащитного кожуха) отсосом неорганизованных выбросов. Газоочистки расположены внутри цеха, рукавные фильтры – на отметке +24.000, дымососы – на отметке ±0.000. Очищенные газы от всех четырех газоочисток по крыше ЭСПЦ направлялись в общую дымовую трубу, расположенную за цехом.

Установленные ~30 лет назад газоочистки морально устарели и физически износились. Их производительность по объемам отводимых газов не обеспечивала эффективное улавливание и отвод технологических газов и неорганизованных выбросов, вследствие чего концентрация пыли и других вредностей в рабочей зоне ЭСПЦ значительно превышала нормативные величины, большое количество неорганизованных пылегазовыделений выбрасывалось в атмосферу.

В связи с неэффективной, неудовлетворительной работой существующих газоочисток было принято решение об их замене, предусматривающее вывод из эксплуатации и демонтаж существующих газоочисток, проектирование и строительство новых комплексных систем газоудаления и газоочистки электропечей ДСП-150. В соответствии с заключенным контрактом между ОАО «ОЭМК» и канадской фирмой «QUAD» разработку инжиниринга и поставку оборудования новых систем газоочисток ДСП-150 № 1–4 выполнила фирма «QUAD».

На основании инжиниринга этой фирмы Центр и ОАО «Гипромез» разработали проектную и рабочую

© Прейсман М., Швец М.Н., 2013 г.

документацию на строительство новых газоочисток, которые размещаются снаружи ЭСПЦ и занимают зону шириной 30 м и длиной 200 м вдоль цеха, между его стеной и эстакадой трубопроводов. Газоочистки электропечей скомпонованы в два модуля: модуль 1 – для двух электропечей № 3 и 4, модуль 2 – для печей № 1 и 2. В связи с ограниченным пространством для размещения новых газоочисток принята высотная компоновка сооружений – рукавные фильтры с системами пылеудаления расположены над дымососами.

Принципиальная схема новых газоочисток (рисунок) предусматривает следующие основные технические решения:

- отвод печных технологических газов от 4-го отверстия в своде печи со спреерным испарительным охлаждением газов впрыском распыленной воды;

- улавливание и отвод неорганизованных выбросов от существующей пылешумоизолирующей камеры-укрытия типа «elephant»;

- смешивание технологических и аспирационных газов от пылешумоизолирующей камеры-укрытия печи перед рукавным фильтром в горизонтальном циклоне с одновременным улавливанием крупных раскаленных частиц пыли (искр) для защиты фильтровальных рукавов от прогара;

- высокоэффективную очистку газов в рукавном фильтре с импульсной регенерации, установленном перед дымососами;

- автоматизированную систему регулирования давления под сводом электропечи.

Новые модернизированные системы газоочисток электропечей ДСП-150 включают следующие основные конструктивные узлы и элементы (для каждой печи):

- реконструируемый водоохлаждаемый свод электропечи с новым патрубком-коленом увеличенного сечения для отсоса печных газов;

- пылеосадительную камеру диаметром 4,8 м с верхней водоохлаждаемой частью, спреерным впрыском охлаждающей воды и воротами в нижней части камеры для периодической уборки осевшей пыли на отметке ±0.000;

- водоохлаждаемый высокотемпературный газоход диаметром 2,4 м;

- высокотемпературный неводоохлаждаемый газоход диаметром 2,4 м;

- камеру спреерного охлаждения газов с впрыском воды диаметром 4,5 м, высотой ~10 м, с выгрузкой пыли через ножевую шиберную задвижку диаметром 400 мм и гибкий рукав в автотранспорт;

- горизонтальный циклон-искроуловитель;

- рукавный фильтр с импульсной регенерацией

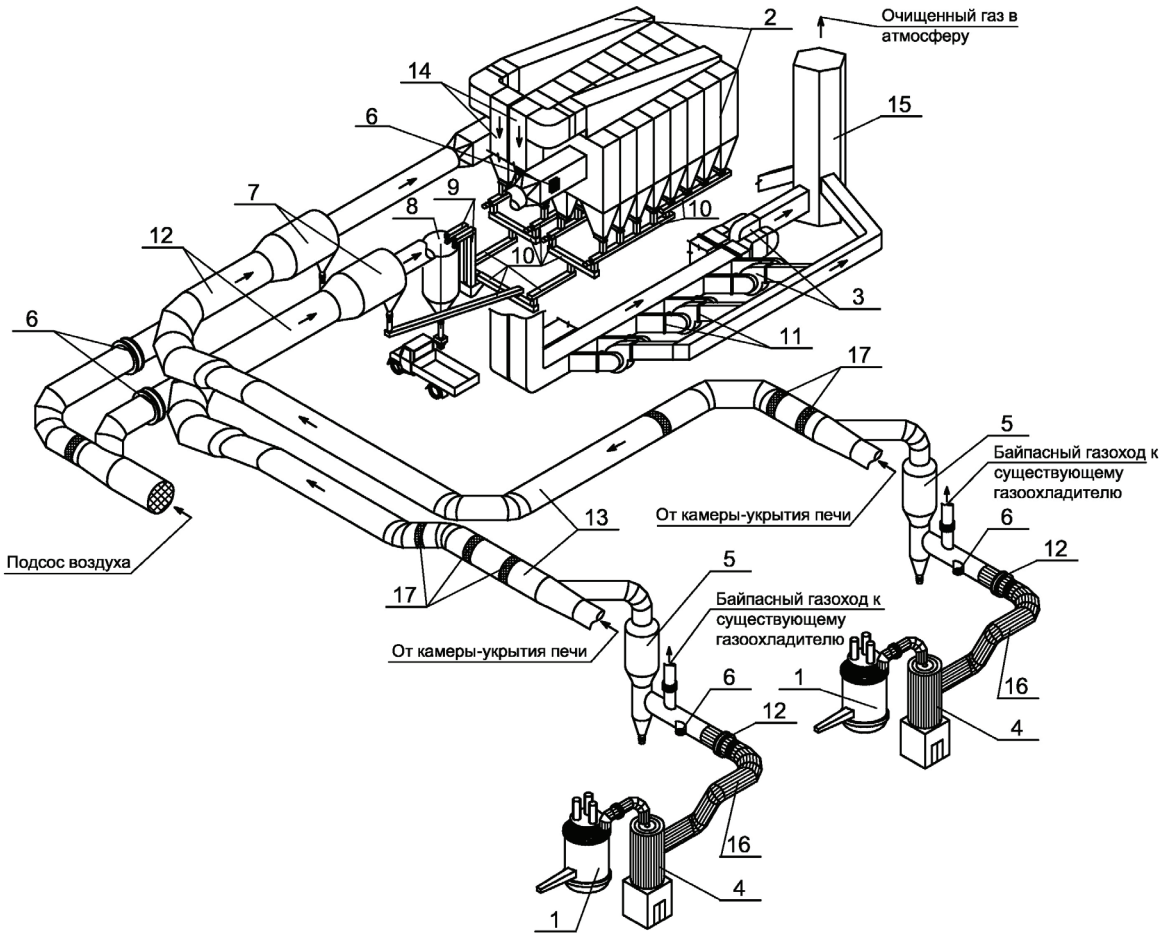


Рисунок. Схема реконструируемых систем газоочисток электродуговых печей ДСП-150: 1 – электропечь; 2 – рукавный фильтр; 3 – дымосос; 4 – водоохлаждаемая пылеосадительная камера; 5 – спреерная камера с водораспылительным охлаждением технологических газов; 6 – подсосный клапан; 7 – циклон; 8 – сборный бункер пыли; 9 – ковшовый подъемник; 10 – конвейеры; 11 – отключающий клапан; 12 – регулирующий клапан; 13 – газоходы грязного газа; 14 – газоходы чистого газа; 15 – дымовая труба; 16 – водоохлаждаемый газоход; 17 – компенсаторы

фирмы «Siemens» производительностью 1,7 млн. м³/ч, состоящий из 16 отдельных автономных отсеков (модулей), расположенных в два ряда (по 8 модулей в ряду) с зазором 300 мм между модулями;

- сборный бункер пыли (один на две газоочистки) емкостью 200 м³ с ковшовым элеватором-подъемником загрузки пыли и системой аспирации;

- дымососы фирмы «JAP», с проектной производительностью каждого дымососа – 625 тыс. м³/ч, напором 7100 Па при температуре 121 °С ;

- дымовую шестигранную трубу высотой 60 м – одна общая для двух модулей газоочисток четырех печей;

- запорно-регулирующие и подсосные клапаны;

- грузовой лифт грузоподъемностью 1 т на основные рабочие отметки газоочистки;

- грузоподъемные устройства (кран-балки, консольные краны, электрические тали) – для обслуживания дымососов и рукавных фильтров;

- площадки обслуживания компенсаторов, клапанов, люков, пылегазовых замеров.

Таблица. Технические характеристики и основные технологические параметры системы газоочистки электропечи ДСП-150 в ЭСПЦ ОАО «ОЭМК»

№ п/п	Наименование оборудования. Основные параметры	Ед. измерения	Величина
1	Рукавный 16-секционный фильтр фирмы «Siemens» с регенерацией рукавов осушенным сжатым воздухом и отключающимися секциями:	компл.	1
	– площадь фильтрования одной секции	м²	1 289
	– количество рукавов (на одну секцию)	шт.	408
	– общая площадь фильтрования	м²	20 624
	– площадь фильтрования при одной секции, отключенной на регенерацию (в работе 15 секций)	м²	19 335
	– расход очищаемых газов	тыс. м³/ч	1 700
	– концентрация пыли перед очисткой	г/м³	2,5
	– концентрация пыли после очистки	мг/м³	10
	– удельная газовая нагрузка при работе всех 16 секций	м³/м² мин	1,37
	– удельная газовая нагрузка при работе 15 секций	м³/м² мин	1,47
	– температура газов перед фильтрами	°С	до 135
	– максимально допустимая температура газов перед фильтрами	°С	140
2	Центробежный дымосос «JAP» с электродвигателем (1 резервный общий для двух печей):	шт.	3 + 1
	– производительность дымососа	м³/ч	625 000
	– статическое давление	Па	7 100
	– частота вращения	об/мин	1 000
	– мощность электродвигателя	кВт	1 865
	– напряжение	кВ	10
3	Количество газов, отводимых от пылешумоизолирующей камеры: – при плавлении (t = 60 °С) – при завалке (t = 70 °С)	 м³/ч м³/ч	 800 тыс. 1 400 тыс.
4	Расход технологических газов после спреерной камеры при плавлении	м³/ч	600 тыс.
5	Температура технологических газов после спреерной камеры при плавлении	°С	350–400
6	Общий расход смеси технологических и аспирационных газов от пылешумоизолирующей камеры перед горизонтальным циклоном при температуре 160–200 °С	м³/ч	1 400 тыс.
7	Расход подсасываемого наружного воздуха перед циклоном для снижения температуры газов при плавлении	м³/ч	300 тыс.
8	Расход осушенного сжатого воздуха на регенерацию рукавного фильтра	м³/ч м³/мин	510 ≥8,5
9	Давление осушенного сжатого воздуха на регенерацию рукавного фильтра	бар	2,41
10	Расход осушенного сжатого воздуха на пневмоприводы отсечных клапанов	м³/ч м³/мин	68 ≥1,1
11	Давление осушенного сжатого воздуха на пневмоприводы отсечных клапанов	бар	5,5

Новые системы газоочистки в основном сооружаются без остановки производства – при работающих электропечах. Остановка электропечи необходима только для демонтажа существующего водоохлаждаемого газохода и других устройств в районе печи, монтажа нового участка свода с новым сводовым патрубком, новой камеры дожигания и пылеосаждения, нового водоохлаждаемого газохода, подключения нового газохода с клапаном к пылешумозащитной камере электропечи.

Горизонтальный циклон-искроуловитель диаметром 7500 мм предназначен для уменьшения пылевой нагрузки на рукавный фильтр, отсеивания крупных частиц и препятствования проникновения искр в рукавный фильтр. Циклон-искроуловитель состоит из корпуса со встроенным импеллером на входе газа, служащим для закручивания газового потока и использования центробежных сил вращающегося газового потока для выделения пыли в бункер. Выгрузка пыли из бункера производится посредством лопастного пылевого затвора и шнекового конвейера, имеющих общий электропривод.

Основным главным элементом новой системы газоочистки электропечи является рукавный фильтр с импульсной регенерацией фирмы «Siemens», состоящий из 16 автономных отсеков (модулей). В каждом отсеке (модуле), представляющем собой прямоугольный металлический корпус со щелевым («траншейным») бункером, установлены 24 х 17 = 408 фильтровальных рукавов диаметром 127 мм, длиной 8 м.

Отсеки оборудованы системой регенерации рукавов осушенным сжатым воздухом, состоящей из 24 мембранных клапанов с соединительными трубопроводами и контроллера – таймера, снабжены входной заслонкой с ручным приводом на подводе грязного газа и выходной автоматизированной заслонкой с пневмоприво-

дом на отводе очищенного газа.

Выгрузка пыли из каждого бункера фильтра производится через винтовой (шнековый) конвейер и шлюзовый роторный питатель, являющийся пылевым затвором. Оба пылевыпускных механизма имеют общий электропривод.

Грязный газ поступает в рукавный фильтр по впускному газовому коллектору, который осуществляет распределение газа по 16 отсекам рукавного фильтра. Начальное сечение впускного коллектора 6100х3350 мм, которое уменьшается по длине по мере раздачи газа по отсекам.

Общая площадь фильтрования всех 16 отсеков рукавного фильтра – 20624 м². При количестве газов, поступающих на очистку – 1 700 000 м³/ч и одновременной работе всех 16 отсеков, удельная газовая нагрузка на фильтроматериал составляет 1,37 м³/м²·мин.

Фильтрующий отсек может находиться в одном из двух возможных режимов работы: режим фильтрования (онлайн) и режим изоляции, отключения (офлайн). В процессе работы печи и газоочистки только один отсек из 16 может находиться в режиме изоляции (отключения) для ремонта. При работе 15 отсеков фильтра удельная газовая нагрузка на фильтроматериал составляет 1,47 м³/м²·мин. Очищенный газ после рукавного фильтра тремя центробежными дымососами направляется на дымовую трубу.

Три дымососа фирмы «IAP» плюс один резервный (общий для двух печей) поставляются в комплекте с электродвигателями мощностью 1865 кВт, частотой вращения 1000 об/мин. Температурные датчики и датчики вибрации, установленные на двух основных подшипниках дымососа, подают аварийный сигнал на контроллер «Siemens S7-300» в случае перегрева или повышенной вибрации.

Каждый дымосос поставляется в комплекте со стопорным устройством, отключающими клапанами с электроприводами, используемыми только во время запуска дымососов, и гибкими вставками для исключения передачи вибрации на газоходы.

Электродвигатели центробежных дымососов оборудованы температурными и вибрационными датчиками в подшипниках и обмотках, подающими аварийный сигнал на контроллер «Siemens S7-300» в случае перегрева или повышенной вибрации.

Дымососы с электродвигателями расположены в помещении, образованном стеновыми ограждениями и перекрытием – отметкой установки рукавного фильтра, и таким образом защищены от атмосферных и климатических воздействий.

В таблице приведены технические характеристики и основные технологические параметры системы газоочистки электропечей ДСП-150 в ЭСПЦ ОАО «ОЭМК».

Характерной особенностью работы современных электросталеплавильных печей являются резкие колебания количества и температуры отходящих печных технологических газов. Количество газов, которое необходимо отводить из печи через сводовый патрубок, изменяется по ходу плавки в несколько раз.

В отсутствие системы автоматического регулирования интенсивность газоотвода поддерживается на постоянном уровне. При этом давление под сводом электропечи по ходу плавки может многократно и резко меняться в широких пределах. При падении давления в печь подсасывается много холодного воздуха, при возрастании давления значительно увеличиваются пылегазовые выбросы через электродные зазоры. В обоих случаях резко увеличиваются энергетические затраты.

Для исключения указанных недостатков фирмой «QUAD» разработана и реализована в системах газоудаления электропечей ДСП-150 в ЭСПЦ ОАО «ОЭМК» эффективная система регулирования давления под сводом электропечи и объемов отводимых газов, основным элементом которой является датчик давления, работающий в условиях интенсивного забрызгивания свода расплавом металла и шлака. Надежная работа датчика обеспечивается благодаря периодической автоматизированной шомпольной прочистке отверстия датчика давления.

Описанные выше системы автоматического регулирования давления под сводом ДСП, работающие на двух ДСП-150 в ЭСПЦ ОАО «ОЭМК», являются первыми такими системами в СНГ.

Отличительной особенностью газоочисток фирмы «QUAD» для ДСП-150 ОАО «ОЭМК» является модульный состав рукавных фильтров (16 полностью автономных отдельных секций), низкое давление сжатого воздуха – 2,4 бара, 8-метровая длина рукавов при диаметре 127 мм, компактное, эффективное спреерное охлаждение газов и другие отличия.

Газоочистка электропечи ДСП-150 № 3 введена в эксплуатацию в ноябре 2012 г., № 4 – в январе 2013 г. Газоочистки работают эффективно, обеспечивая остаточную запыленность выбросов не более 7–8 мг/м³.

ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» не только выполнены проектные работы по газоочисткам ДСП-150, но и произведена поставка ряда позиций оборудования и металлоконструкций (каркасы рукавов, компенсаторы и другое).

Благодаря практическому сотрудничеству с фирмой «QUAD» Центр (единственный в СНГ) освоил изготовление 8-метровых каркасов рукавов, современных элементов систем регенерации и других устройств, что значительно повысило уровень производимых рукавных фильтров.

Поступила 11.06.2013

◆

УДК 669.187.013.5

Производство

Степаненко А.Н., Богдан В.Н., Малик А.А., Уголков В.А., Попов В.П.
ГП «Укргипромез»

Строительство электрометаллургического завода и общезаводских объектов ООО «НЛМК-Калуга» в Калужской области. Сталеплавильное производство

Приведена техническая характеристика основного технологического оборудования, установленного в электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ) ООО «НЛМК-Калуга», пос. Ворсино, Калужской области, Россия. Представлены техническая характеристика основного технологического оборудования, устанавливаемого в ЭСПЦ; последовательность (схема) проведения в цехе операций по выплавке, внепечной обработке и непрерывной разливке стали; объёмно-планировочные решения по компоновке и размещению основного оборудования ЭСПЦ; марочный сортамент выплавляемых сталей. Кроме этого, в статье дана краткая техническая характеристика отделения перегрузки и подготовки лома (ОППЛ), обеспечивающего электросталеплавильный цех необходимым объёмом подготовленного металлолома. Ил. 3. Табл. 5.

Ключевые слова: *электросталеплавильный цех, дуговая сталеплавильная печь, двухпозиционная установка ковш-печь, восьмиручьевая сортовая криволинейная машина непрерывного литья заготовок, непрерывнолитая заготовка*

The technical characteristics of the main technological equipment installed at the electric plant (EAF) Ltd. "NLMK - Kaluga" , pos. Vorsino , Kaluga Region , Russia . The technical specifications of the main technological equipment used in EAF , the sequence (scheme) of the shop floor operations, smelting , processing furnace and continuous casting of steel, space-planning decisions by the layout and placement of major equipment EAF ; Grades of cast steel. In addition, the article provides a brief technical specification department overload and scrap yards (OPPL) providing the necessary amount of arc-furnace plant prepared scrap metal.

Keywords: *arc-furnace plant, electric arc furnace , a two-position ladle furnace , vosmiruchevaya profiled curved continuous casting machine , continuous cast billet*

ГП «Укргипромез» (Днепропетровск), по заказу ООО «НЛМК-Калуга» и управляющей компании ОАО «НЛМК» была разработана проектная документация и в настоящее время заканчивается строительство первой очереди электрометаллургического завода по производству сортового проката производительностью до 1,0 млн. т в год. Площадка строительства электрометаллургического завода расположена в районе посёлка Ворсино Боровского района Калужской области, между магистральной железной дорогой Москва-Киев и автотрассой Москва-Киев. Занимаемая площадь в пределах ограждения 76,0 га.

Основополагающим критерием при выборе площадки в данной местности явилось наличие вблизи проектируемого комплекса авто- и железнодорожных путей, что позволяет обеспечить снабжение комплекса стальным ломом и необходимыми материалами, отгрузку готовой продукции потребителю, а также наличие источников электро-, водо- и энергоснабжения. Проектной документацией предусматривается строительство электрометаллургического завода в составе основных производственных цехов – электросталеплавильного (ЭСПЦ) с отделением перегрузки и подготовки лома (ОППЛ) и прокатного (ПЦ), а также объектов инфраструктуры. Сооружение электрометаллургического завода предусматривается в две очереди:

- I очередь – строительство сталеплавильного комплекса производительностью 1000 тыс. т/год непрерывнолитой заготовки в составе одной электродуговой сталеплавильной печи (ДСП-120), одной двухпозиционной установки ковш-печь (УКП-120) и восьмиручьевой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ № 1), отделения перегрузки и подготовки лома, отделения подготовки материалов, отделения переработки шлаков, и прокатного цеха в составе мелкосортного стана проектной мощностью 900 тыс. т в год для производства мелкосортного проката и арматуры;

- II очередь – строительство четырехручьевой комбинированной МНЛЗ № 2 и среднесортного стана.

Технологическое оборудование сталеплавильного и прокатного комплексов с системами управления поставляются фирмами «SIEMENS VAI» и «SMS-Meer».

Электросталеплавильный цех

Марочный сортамент ЭСПЦ ориентирован на обеспечение исходной литой заготовкой мелкосортного и среднесортного прокатных станов. К выплавке в ЭСПЦ предусматривается марочный сортамент для производства арматуры и мелкого профильного про-

© Степаненко А.Н., Богдан В.Н., Малик А.А., Уголков В.А., Попов В.П., 2013 г.

ката: углеродистая сталь; арматурная сталь; низколегированная сталь.

Строительство ЭСПЦ, также как и всего завода, предусматривается в две очереди, без увеличения указанной производительности цеха. В составе I-ой очереди сооружаются:

- дуговая сталеплавильная печь с массой плавки 120 т, работающая на 100 % металлолома, поступающего из отделения перегрузки и подготовки лома;
- двухпозиционная установка ковш-печь, включающая две рабочие позиции для обработки стали;
- 8-ручьевая машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ № 1) для отливки квадратных заготовок 125×125 мм, 150×150 мм, предназначенных для прокатки на мелкосортном прокатном стане А/С.

Во II-ой очереди сооружается 4-ручьевая комбинированная машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ № 2) для отливки квадратной заготовки сечением 160×160 мм, 205×205 мм и балочной заготовки ВВ1, предназначенных для прокатки на среднесортном стане.

Для приёма плавки, внепечной обработки и разливки стали используется сталеразливочный ковш ёмк. 120 т, оборудованный шиберным затвором и устройством для продувки аргоном через донные пористые пробки. Размещённое в ЭСПЦ оборудование организационно объединено в одну технологическую линию с последовательным расположением агрегатов, что является оптимальным решением и соответствует мировому опыту. Объёмно-планировочные решения по размещению и компоновке в ЭСПЦ основного технологического и подъёмно-транспортного оборудования приведены на рис. 1.

Ниже рассмотрена краткая техническая характеристика установленного в ЭСПЦ основного технологического оборудования.

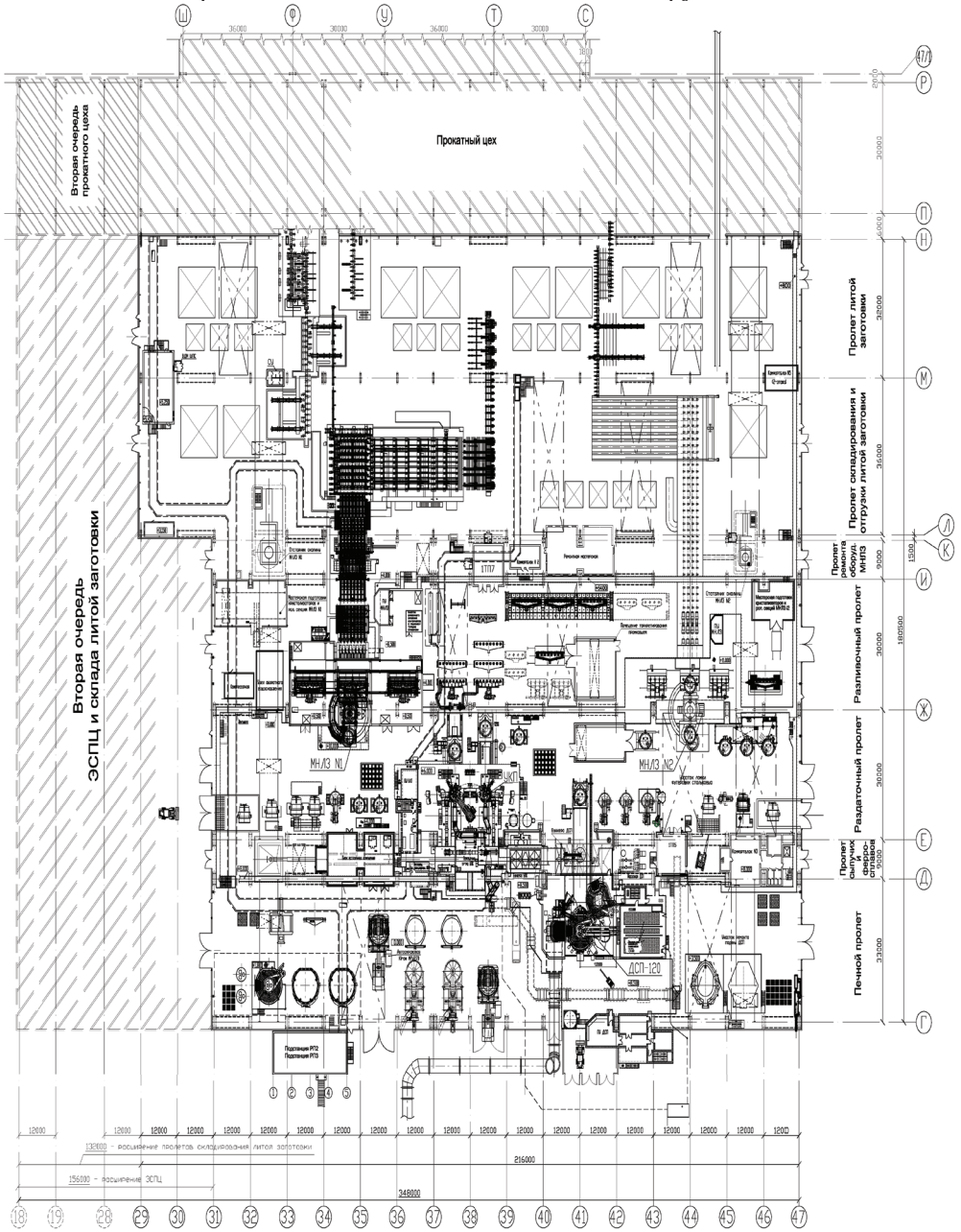


Рис. 1. Объёмно-планировочные решения по ЭСПЦ

Дуговая сталеплавильная печь ДСП-120

Работа печи осуществляется по технологии жидкого старта («на болоте»), с использованием в завалку, как выше указывалось, 100 % подготовленного лома.

Таблица 1. Техническая характеристика дуговой сталеплавильной печи переменного тока ДСП-120

Наименование параметра	Единица измерения	Величина	Примечание
Общий объем корпуса печи	$м^3$	210	
Общая масса расплава	т	160	
Масса плавки	т	120	
Жидкий остаток («болото»)	т	40	
Диаметр нижней части кожуха	мм	7700	
Диаметр верхней части кожуха	мм	7800	
Емкость сталеразливочного ковша	т	120	
Свободный борт ковша	мм	450	
Система выпуска стали	-	-	эркерная
Угол наклона печи для выпуска плавки	градус	20	максим.
Комбинированные модульные блоки: - инжекторы кислорода, совмещенные с газокислородными горелками - инжекторы углеродного порошка Дополнительные стеновые горелки	 шт. шт. шт.	 5 4 2	 всего 11 шт.
Установленная мощность печного трансформатора	МВА	150	
Номинальное первичное напряжение	кВ	35	+10 %
Количество фаз	фаза	3	
Частота тока	Гц	50	
Номинальный ток	А	2500	
Ток короткого замыкания	кА	31,5	
Максимальный ток вторичной цепи	кА	78	
Диапазон вторичного напряжения: - максимальная мощность - максимальный ток	 В В	 1350-1110 1110-740	
Диаметр электродов	мм	711	
Диаметр распада электродов	мм	1425±50	
Ход электродов	мм	6400	
Ход подъема свода	мм	600	
Длительность плавки, средняя	мин	53	
Температура стали на выпуске, средняя	°С	1610	
Выход годной стали, средний	%	90,5	
Насыпная плотность скрапа, средняя	$т/м^3$	0,75	
Количество загрузочных корзин на плавку	шт.	1	
Объем загрузочной корзины	$м^3$	182	
Количество плавок в сутки	плавок/сут.	27	
Годовой фонд рабочего времени	ч	7680	320 сут.

Конструкция электропечи и технология выплавки стали соответствуют современному уровню электросталеплавильного производства и обеспечивают получение качественной стали. Основные функции печи:

– расплавление твёрдой металлошихты и нагрев расплава;

– окисление углерода, кремния, марганца, фосфора и других примесей, содержащихся в металлошихте;

– слив металла в сталеразливочный ковш и легирование стали в ковше на выпуске на нижний предел допустимого содержания элементов.

Краткая техническая характеристика ДСП-120 приведена в табл. 1.

Двухпозиционная установка ковш-печь (УКП)

Установка ковш-печь предназначена для комплексной доводки стали в ковше емк. 120 т до заданных параметров по химсоставу и температуре путем нагрева металла электродуговым способом с одновременным перемешиванием инертным газом через донные пробки и подачей в ковш дозированных порций сыпучих материалов и ферросплавов.

Таблица 2. Техническая характеристика УКП

Наименование параметра	Единица измерения	Величина	Примечание
Масса металла в ковше, номинальная	т	120	
Свободный борт ковша	мм	450	
Размеры крышки (свода): - диаметр - высота	 мм мм	 ~3710 ~1150	
Скорость нагрева металла, средняя	°С/мин	4,0	
Установленная мощность трансформатора	МВА	20	
Номинальное первичное напряжение	кВ	35	+10 %
Количество фаз	шт.	3	
Частота тока	Гц	50	
Диапазон вторичного напряжения	В	200-275-320	
Расчетный ток на вторичной обмотке	кА	42	
Ход крышки (свода)	мм	400	
Угол поворота электрододержателей от оси портала (на каждое постановочное место)	градус	45	
Диаметр графитированных электродов	мм	450	
Диаметр распада электродов	мм	750±25	
Ход электродов	мм	4000	
Система подачи в ковш присадочной проволоки ø 5-16 мм	шт.	2	двухручьевой трайб-аппарат
Количество устройств отбора проб	шт.	2	
Длительность обработки ковша	мин	53	соответствует циклу плавки
Годовой фонд рабочего времени	ч	7680	320 суток

На УКП выполняются следующие технологические операции:

– усреднение стали по химсоставу и температуре в объеме ковша;

– нагрев стали до заданной температуры;

– корректировка химсостава стали по углероду и содержанию основных элементов;

– микролегирование и модифицирование стали;

– рафинирование и десульфурация стали;

– отбор проб и замер температуры;

– теплоизоляция зеркала металла в ковше.

С учетом выполнения буферной функции (для обеспечения стабильного графика разливки серии плавок на МНЛЗ), УКП предусмотрена двухпозиционной – с 2-мя не зависимыми сталевозами и одной системой нагрева с механизмом поворота электрододержателей в каждую рабочую позицию.

Техническая характеристика УКП приведена в табл. 2.

Восьмиручьевая сортовая МНЛЗ № 1

Восьмиручьевая сортовая криволинейная МНЛЗ № 1 предназначена для разливки стали с получением непрерывнолитой квадратной заготовки сечением 125×125 мм, 150×150 мм, длиной 12 и 6 м. Заготовка предназначена для прокатки на мелкосортном стане А/С. Техническая характеристика МНЛЗ № 1 приведена в табл. 3.

Четырёхручьевая комбинированная МНЛЗ № 2

Четырёхручьевая комбинированная МНЛЗ № 2 предназначена для разливки стали с получением непрерывнолитой квадратной заготовки сечением 160×160 мм, 205×205 мм и балочной заготовки ВВ1, длиной до 12 м. Заготовка предназначена для прокатки на среднесортном стане. Техническая характеристика МНЛЗ № 2 приведена в табл. 4.

Схема работы ЭСПЦ

В ЭСПЦ предусматривается выполнение следующих технологических операций:

- загрузка материалов в электродуговую сталеплавильную печь;
- выплавка стали;
- внепечная обработка стали;
- непрерывная разливка стали на МНЛЗ;
- слив и уборка шлака.

Ниже приведена краткая технологическая схема (последовательность) проведения в цехе вышеперечисленных операций.

Таблица 4. Техническая характеристика МНЛЗ № 2

	Наименование параметра	Единица измерения	Величина	Примечание
1	Размеры литой заготовки: - сечение - длина	мм мм м	160×160 205×205 ВВ1 до 12,0	
2	Количество ручьев	шт.	4	
3	Расстояние между ручьями	мм	~1450	
4	Тип ручья	-	-	криволинейный
5	Базовый радиус МНЛЗ	мм	~10000	
6	Металлургическая длина МНЛЗ	м	~33	
7	Емкость промежуточного ковша	т	~39	
8	Тип кристаллизатора	-	-	радиальный
9	Высота медной части кристаллизатора	мм	800-1000	
10	Частота качания кристаллизатора	кач./мин	20-300	
11	Тип вторичного охлаждения	-	-	водо-воздушное
12	Тип затравки	-	-	жесткая
13	Скорость разливки	м/мин	~1,0-1,5	
14	Масса плавки	т	120	
15	Время разливки одной плавки, среднее	мин	50	
16	Количество плавок в серии	плавок	10-14	
17	Время подготовки МНЛЗ к разливке	мин	~30	среднее
18	Выход годного, средний	%	~98	
19	Годовой фонд рабочего времени	ч	7680	320 сут.

Загрузка материалов в электропечь

Подготовленный металлолом из ОППЛ передается в ЭСПЦ загрузочными корзинами емк. 182 м^3, установленными на автоскраповозах. Перед подачей в ДСП, корзины с металлошихтой подвергаются сушке на двух специальных установках, расположенных в печном пролёте цеха. Металлошихта загружается в ДСП грейферной корзиной при помощи мостового электрического завалочного крана с тензометрическими весами на главном подъёме грузоподъемностью 260(300)+63/20+8 т. Завалка производится одной корзиной. Порожние корзины автоскраповозами отправляются в ОППЛ. Загрузка шлакообразующих материалов в электропечь (по ходу плавки), а также ферросплавов в ковш (на выпуске плавки) производится из расходных бункеров, расположенных в пролёте сыпучих и ферросплавов, через механизированную систему подачи материалов.

Таблица 3. Техническая характеристика восьмиручьевой сортовой МНЛЗ № 1

Наименование параметра	Единица измерения	Величина	Примечание
Размеры литой заготовки: - сечение - длина	мм мм м	125×125 150×150 12,0 и 6,0	
Количество ручьев	шт.	8	
Расстояние между ручьями	мм	1100	
Тип ручья	-	-	криволинейный
Базовый радиус МНЛЗ	мм	8000	
Металлургическая длина МНЛЗ	м	~29	
Емкость промежуточного ковша	т	39	перелив – 43 т
Тип кристаллизатора	-	-	радиальный
Высота медной части кристаллизатора	мм	900	
Частота качания кристаллизатора	кач./мин	30-300	
Тип вторичного охлаждения (в составе 4-х независимых зон)	-	-	водо-воздушное
Тип затравки	-	-	жесткая
Скорость разливки, максимальная: - для сечения 125×125 мм - для сечения 150×150 мм	 м/мин м/мин	 2,5-4,0 1,7-2,8	
Масса плавки	т	120	
Время разливки одной плавки, среднее	мин	50	
Количество плавок в серии	плавок	10-14	
Время подготовки МНЛЗ к разливке	мин	~30	среднее
Выход годного, средний	%	98	
Годовой фонд рабочего времени	ч	7680	320 сут.

Выплавка стали

После загрузки в ДСП металлошихты и сыпучих, зажигается электрическая дуга и включаются газокислородные горелки, начинается процесс выплавки стали. По достижении заданной температуры и хим-

состава, сталь через эркерное отверстие ДСП сливается в сталеразливочный ковш ёмк. 120 т, который установлен на сталевозе.

Перед выпуском плавки производится предварительный разогрев стальковша до температуры 1000-1100 °С на установке разогрева, размещаемой над путями сталевоза ДСП. После выпуска плавки, сталеразливочный ковш самоходным сталевозом ДСП подаётся в раздаточный пролёт, в зону действия литейного крана г/п 200+63/20 т – для транспортировки на внепечную обработку (установку ковш-печь). Длительность процесса выплавки стали, включая выпуск 53 мин. Управление процессом выплавки стали и механизмами ДСП осуществляется из поста управления.

Внепечная обработка стали

Внепечная обработка стали осуществляется на двухпозиционной установке ковш-печь. Ковш с металлом литейным краном г/п 200+63/20 т устанавливается на один из двух сталевозов ковша-печи, которым подаётся в рабочую позицию под крышку установки – для проведения комплексной доводки металла. Время обработки ~53 мин. Управление процессом доводки осуществляется из поста управления. По достижении заданной температуры и химсостава, ковш с металлом со сталевоза ковша-печи литейным краном передаётся для разливки на одну из двух МНЛЗ.

Непрерывная разливка стали на МНЛЗ

Ковш с металлом, поступающий на разливку, литейным краном г/п 200+63/20 т устанавливается на подъемно-поворотный стенд. Ковш накрывается крышкой и поворотом стенда переводится в рабочую позицию. Промежуточный ковш также занимает рабочее положение. Начинается процесс непрерывной разливки стали. Металл из стальковша через промежуточный ковш поступает в кристаллизаторы МНЛЗ. После разливки одного ковша, другой ковш с металлом, находящийся в резервной позиции на свободном коромысле поворотного стенда, переводится в рабочую позицию разливки. Полученная на МНЛЗ непрерывнолитая заготовка поступает либо на приёмный стеллаж склада заготовок, либо к передаточному рольгангу прокатного стана.

Продолжительность проведения операций разливки, включая порезку непрерывнолитых заготовок на мерные длины и передачу заготовок в пролёт складирования или в прокат, составляет ~50 мин. Управление процессом и механизмами МНЛЗ осуществляется из поста управления.

Слив и уборка шлака

Шлак, являющийся побочным продуктом технологических процессов, образуется на следующих участках ЭСПЦ:

- выплавки (печной шлак);
- внепечной обработки (шлак ковша-печи).

Слив печного шлака на участке выплавки

Слив шлака из ДСП производится после каждой плавки, за счёт наклона печи в сторону рабочего окна. Избыточный шлак сливается самотёком через порог рабочего окна в конечной стадии расплавления шихты и по ходу рафинирования. Слив шлака из печи производится без использования шлаковых чаш – на пол специально оборудованного отсека для приёма жидкого шлака, расположенного непосредственно под ДСП. Уборка шлака ДСП с участка скачивания (шлакового коридора) осуществляется в короб, с помощью шлакоуборочного погрузчика фирмы «DRESSTA», Чехия. Транспортировка короба со шлаком из шлакового коридора на шлаковый двор, находящийся за пределами ЭСПЦ, осуществляется с помощью спецавтотранспорта фирмы «VOLVO».

Слив шлака на участке разливки

По окончании разливки металла на МНЛЗ сталеразливочный ковш с остатками жидкого металла и шлака ковша-печи краном г/п 200+63/20 т транспортируется к одному из двух закромов для слива шлака, расположенных в торцах раздаточного пролёта

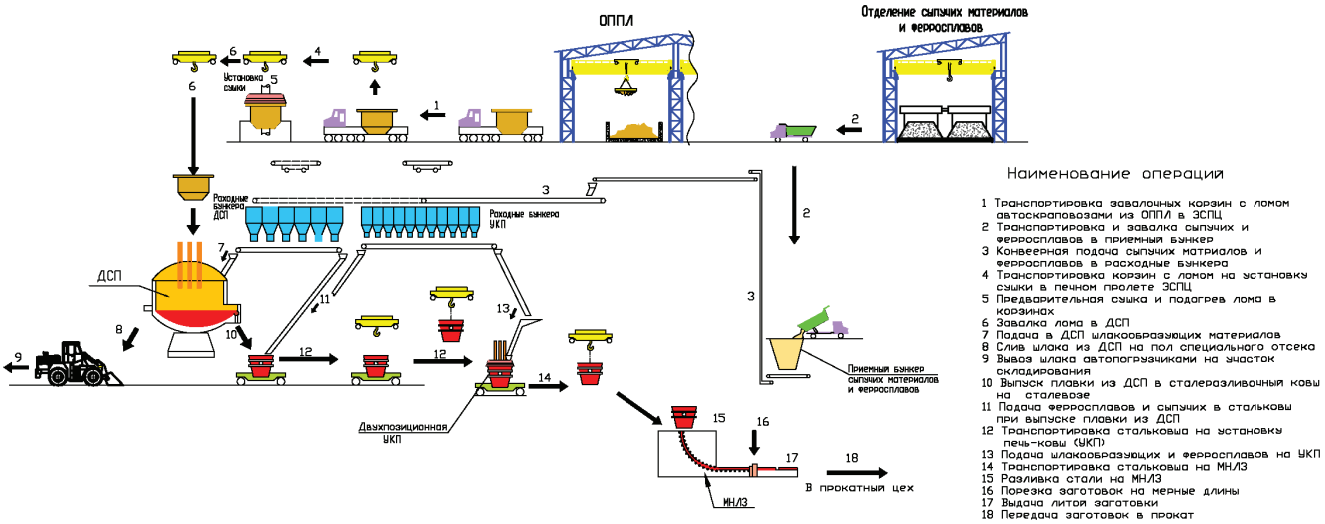


Рис. 2. Технологическая схема производства непрерывнолитой заготовки в ЭСПЦ

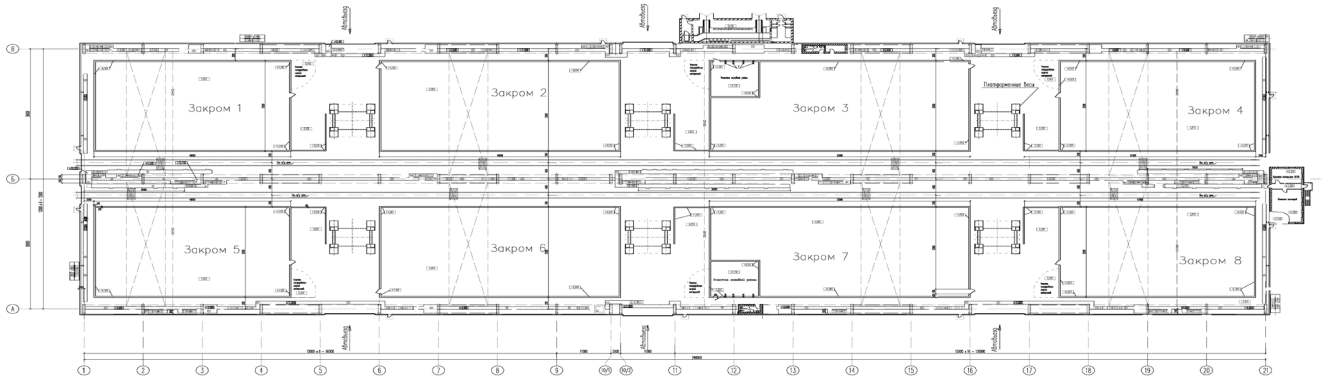


Рис. 3. Объёмно-планировочные решения по размещению и компоновке в ОППЛ технологического и подъёмно-транспортного оборудования

ЭСПЦ, где и производится слив шлака на пол закрома. Уборка шлака из закромов и транспортировка его на шлаковый двор осуществляется с помощью шлакоуборочного погрузчика фирмы «DRESSTA». Технологическая схема производства непрерывнолитой заготовки в ЭСПЦ приведена на рис. 2.

Краткая техническая характеристика отделения перегрузки и подготовки лома

Как указывалось выше, для обеспечения ЭСПЦ подготовленным ломом необходимой насыпной плотности, предусматривается сооружение крытого здания отделения перегрузки и подготовки лома (ОППЛ). В отделение поступают:

- подготовленный стальной лом со стороны;
- оборотный лом (обрезь от МНЛЗ, из прокатного цеха и др. производственных подразделений, скрап из отделения непрерывного литья заготовок, а также брак, стружка, отработанные инструменты).

Таблица 5. Годовой объем переработки и складирования металлошихты в ОППЛ

Наименование показателей		Количество
1	Поступающая металлошихта, всего, тыс. т/год в том числе:	1133,0
	- подготовленный габаритный стальной лом со стороны	1065,4
	- оборотный лом (ЭСПЦ, прокатный цех, производственные подразделения)	67,6
2	Подготовленный габаритный лом, передаваемый в ЭСПЦ, всего, тыс. т/год	1133,0

Потребность ЭСПЦ в металлоломе обеспечивается поставкой предприятиями «Втормет». Годовой объем переработки и складирования металлошихты в отделении приведен в табл. 5.

В ОППЛ предусматривается выполнение следующих технологических операций:

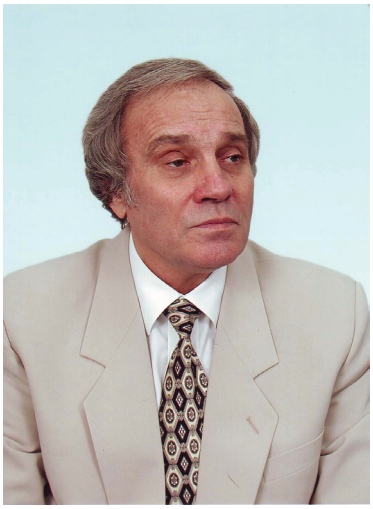
- приём и сортировка подготовленного металлолома, поступающего в железнодорожных вагонах и автотранспортом;
- огневая резка негабаритного металлолома;
- складирование и хранение текущего и части страхового запаса металлошихты;
- загрузка завалочных корзин ёмк. 182 м^3 металлоломом и сыпучими материалами с помощью мостовых кранов;
- передача завалочных корзин с металлоломом автоскраповозами в ЭСПЦ.

Доставка подготовленного металлолома в пролёты ОППЛ предусматривается железнодорожным и автомобильным транспортом со стороны. Доставка в ОППЛ оборотного лома от производственных подразделений завода (ЭСПЦ, прокатного цеха и др.) и сыпучих материалов из отделения подготовки материалов – предусматривается автомобильным транспортом. В состав ОППЛ входит два пролета для приёма, складирования и переработки подготовленного лома. Для складирования и хранения подготовленного лома в пролётах ОППЛ предусматриваются закрома с отметкой пола ±0,00 м и ограждающими бортами. Для огневой резки негабаритного металлолома в пролётах организовано по участку огневой резки негабаритного лома с постами ручной газовой резки. В каждом пролёте установлены платформенные весы (по 3 шт.) для взвешивания грейферных корзин ёмк. 182 м^3 гружённых металлоломом, всего 6 шт. Для приёма и разгрузки прибывающих со стороны составов с подготовленным металлоломом в пролёты ОППЛ заведены по одному тупиковому железнодорожному пути. Пролёты оснащены двумя мостовыми специальными магнитно-грейферными кранами грузоподъемностью 16/16+5 т (по одному в каждом пролёте) и шестью мостовыми специальными магнитно-грейферными кранами грузоподъемностью 40(20+20)+5 т (по три в каждом пролёте). Отметка подкрановых рельсов в пролётах +16,0 м.

Объёмно-планировочные решения по размещению и компоновке в ОППЛ технологического и подъёмно-транспортного оборудования приведены на рис. 3.

Поступила 09.11.2012

◆



К 75-ЛЕТИЮ ВЛАДИМИРА ВАСИЛЬЕВИЧА ПАРУСОВА

В.В. Парусов - доктор технических наук, профессор, заведующий отделом термической обработки металла для машиностроения Института черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины.

В.В. Парусов известный ученый и организатор науки. С 1961 г. он работает в Институте черной металлургии, где прошел путь от инженера, научного работника, заведующего лабораторией до заведующего отделом. Научные работы В.В. Парусова посвящены проблемам термической и термомеханической обработки металла для машиностроения и широкого внедрения научных достижений в производство. Им развиты научные основы рекристаллизации аустенита при высокотемпературной термомеханической обработке, что обеспечивает увеличение пластичности проката, предназначенного для холодной высадки и прямого волочения катанки-проволоки.

Под научным руководством В.В. Парусова разработаны и освоены технологические процессы термомеханической обработки катанки широкого марочного сортамента, уникальная технология производства металлокорда из высокоуглеродистой стали, микролегированной бором, технология производства катанки из легированных сталей, используемых при изготовлении проволоки для сварки магистральных газо- и нефтепроводов. Разработанные новые технические решения внедрены на комбинате «АрселорМиттал Кривой Рог», Енакиевском, Молдавском и Белорусском металлургических заводах, что позволило увеличить эффективность термомеханической обработки проката и обеспечить экономию металла и энергетических ресурсов.

За разработку высокоэффективной технологии производства арматурного проката В.В. Парусов в 1986 г. удостоен Государственной премией УССР, за разработку и внедрение новых технологических процессов термической и термомеханической обработки проката награжден 2-мя серебряными и 3-мя бронзовыми медалями ВДНХ СССР, почетным дипломом ВДНХ УССР. Удостоен звания «Лучший изобретатель черной металлургии СССР». За разработку и внедрение новых технологических процессов термической обработки проката награжден премией Международной Инженерной Академии им. Академика К.Ф. Стародубова. Лауреат Государственной премии Приднестровской Молдавской республики 2007 г. за «Разработку и внедрение в условиях СЗАО ММЗ эксклюзивной технологии производства катанки из легированных сталей, используемых при изготовлении омедненной проволоки для полу- и автоматической сварки в среде защитных газов корпусов речных и морских судов, магистральных газо- и нефтепроводов».

В.В. Парусов автор 7 монографий, 305 научных работ, 53 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Под его научным руководством защищены 1 докторская и 14 кандидатских диссертаций.

Редакция журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность», коллеги по работе поздравляют В.В. Парусова с юбилеем и от всей души желают доброго здоровья, личного счастья, новых творческих достижений и свершения всех Ваших планов и замыслов. Сохраните на долгие годы Ваш оптимизм, целеустремленность, жизнерадостность, отзывчивость и сердечность.

◆

Вниманию подписчиков, авторов, рекламодателей !

Журнал публикует материалы, связанные с памятными датами предприятий и юбилеями известных ученых-металлургов, руководителей предприятий.

Просим заблаговременно представлять материалы в редакцию.

к.т. 0562-46-12-95
факс 0562-46-12-95



Центральная государственная научно-техническая библиотека горно-металлургического комплекса Украины

Новые поступления в фонд библиотеки

МЕТАЛЛУРГИЯ

669.1 Г70 Горошкова, Л.А. Механізми підвищення економічної безпеки чорної металургії : монографія / Л.А. Горошкова. - Запоріжжя: ЗНУ, 2012. - 417 с.

669.162 Г80 Грес, Л.П. Теплообмебнники доменных печей / Л.П. Грес, С.А. Карпенко, А.Е. Миленина, С.А. Карпенко, А.Е. Миленина; под ред. Л.П. Греса. - Дн-ск: Пороги, 2012. - 492 с.

669.18 І-18 Іванченко, В.В. Сталеплавильний шлак в сучасному геологічному середовищі / В.В. Іванченко, С.М. Тиришкціна, П.І. Оторвін П.І.. - К: ДНУ ВМГОР, 2011. - 147 с.

669.187 Л19 Лакомский, В.И. Азот в жидких сталях и шлаках / В.И. Лакомский, В.В. Лакомский. - К: Наукова думка, 2012. - 144 с.

ГОРНОЕ ДЕЛО

662.75 Б77 Бойченко, С.В. Вступ до хіммотології палив та олив. Ч. 2 / С.В. Бойченко, Й.А. Любінін, В.Г. Спіркін; за ред. І.Г. Фукса. - Одеса: Астропринт, 2010. - 276 с.

622.272 Г36 Геотехническая механика : межведомственный сборник научных трудов : Вып. 95. - Дн-ск: ИГТМ НАН Украины, 2011. - 192 с.

622.24 Д81 Дудля, М.А. Промивальні рідини в бурінні / М.А. Дудля. - вид. 3-тє, доп. - Дн-ськ: НГУ, 2011. - 542 с.

622.33 З-24 Залознова, Ю.С. Формування та розвиток системи управління персоналом вугільних шахт : Монографія / Ю.С. Залознова. - Донецьк: ІЕП НАНУ, 2010. - 444 с.

622.7 З-41 Збагачення корисних копалин : науково-технічний збірник : вип. 39(80). - Дн-ськ: НГУ, 2009. - 139 с.

622.24 К58 Кожевников, А.А. Гравийные фильтры буровых скважин : монография / А.А. Ко-жевников, А.К. Судаков. - Дн-*ск: НГУ, 2011. - 186 с.*

622.24 Л64 Литвин, О.М. Математичне моделювання розподілу корисних копалин методами інтерлінації та інтерфлетації функцій / О.М. Литвин, Н.І. Штепа, О.О.Литвин; За ред. І.В. Сергієнка. - К: Наукова думка, 2011. - 228 с.

622 М54 Метаногенерация в угольных пластах / А.Ф. Булат, С.И. Скипочка, Т.А. Паламарчук, В.А. Анциферов. - Дн-ск: Лира ЛТД, 2010. - 328 с.

622.235 Н16 Нагорный, В.П. Спектры и их приложения к задачам взрывного дела / В.П. Нагорный, И.И. Денисюк; под ред. В.П. Нагорного. - К: Ин-т геофизики НАНУ, 2010. - 184 с.

622.271 Н34 Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений : монография / Г.Г. Пивняк, И.Л. Гуменик, К. Дребенштедт, А.И. Панасенко. - Дн-ск: НГУ, 2011. - 566 с.

622.271 П79 Проектування кар'єрів : методичні вказівки. - К: НТУУ «КПІ», 2010. - 44 с.

622.235 Р64 Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на карь»єрах України / під ред. В.П. Купріна, І.Л. Коваленка. - Дн-ськ: УДХТУ, 2012. - 244 с.

622.273 Т38 Технология отработки угольных целиков камерами в условиях шахт Западного Донбасса : монография / В.И. Бузило, В.Н. Яворский и др. - Дн-ск: НГУ, 2011. – 96 с.

622 Ф80 Форум гірників - 2011 : матеріали міжнародної конференції (12 - 15 жовтня, 2011 р.). - Дн-ськ: ДВНЗ «НГУ», 2011. - 262с.

622.24Ш24 Шаповал А.А. Научное обоснование использования технических средств контроля для автоматизации и оптимизации бурения разведочных скважин : Монография / А.А. Шаповал. - Ивано-Франковск: Галицкая академия, 2011. - 304 с.

ЭКОЛОГИЯ

574 Д70 Досвід і поблеми вдосконалення екологічного законодавства : матеріали Міжнародного круглого столу (14 грудня, 2012, м. Дніпропетровськ). - Дн-ськ: НГУ, 2012. - 164 с.

628.511 Л33 Лебедева, Е.А. Охрана воздушного бассейна от вредных технологических и вентиляционных выбросов / Е.А. Лебедева. - Нижний Новгород: ННГАСУ, 2009.- 196с.

574 П81 Промышленная экология / Е.А. Алябышева, Е.В. Сарбаева, Т.И. Копылова, О.Л. Воскресенская. - Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. - 110 с.

574 П81 Промышленная экология /под ред. В.В. Денисова. - Ростов на Дону; М.: Феникс; МарТ, 2009. - 4720 с.

574 С30 Семенова, И.В. Промышленная экология / И.В. Семенова. - М: Академия, 2009. - 528 с.

574 Т52 Толок, А.О. Безпека життєдіяльності / А.О. Толок, О.А. Крюковська. - Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012. - 234 с.

Наш адрес: г. Днепропетровск, ул. Дзержинского,23, ГУ «ЦГНТБ ГМК Украины»
Т.: (80562) 46-12-91; (8056) 770-23-12, 744-87-26; e-mail:bibliot@ukr.net; www.cgntb.dp.ua


МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА
www.expometeor.com
промышленного оборудования, металлообработки, литья и энергетики
15 -18
октября
2013
Ukraine, Dnepropetrovsk
МАШПРОМ
ЛитЭкс
ЭНЕРГОПРОМ
Выставочный комплекс «ТАКО» ул. Героев Сталинграда, 31д
При поддержке:
Партнёры «Машпром»:
Партнёры «ЛитЭкс»:
Медиа-партнер:
Интернет-партнер:
PROM.UA
Xmeteo.ua
056 ua
ООО Экспо-центр «Метеор»™
49008, Украина,
г. Днепропетровск, ул. им. А.М. Макарова, 27а
+38 (056) 373-93-70, +38 (056) 373-93-75, +38 (0562) 357-357
mashprom@expometeor.com litex@expometeor.com energoprom@expometeor.com
METEOR EXPOCENTER
ufi Member

XII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ – 2013

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

МЕТАЛЛО-ОБРАБОТКА
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ

УКРПЛАСТ ТЕХ
ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТМАСС

ГИДРАВЛИКА ПНЕВМАТИКА

УКРПРОМ АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

ОБРАЗЦЫ, СТАНДАРТЫ, ЭТАЛОНЫ, ПРИБОРЫ
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ЛАБОРАТОРНОЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА
СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ, БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

УКРМАШ ТЕХ
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ

УКРВТОР ТЕХ
КОМИСИОННАЯ ТЕХНИКА, ОБОРУДОВАНИЕ

ПОДШИПНИКИ

УКРСВАРКА
ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ СКЛАДСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

СУБКОНТРАКТЫ
РАЗМЕЩЕНИЕ ЗАКАЗОВ ПО КООПЕРАЦИИ

Генеральные информационные партнеры:

Технический партнер:

RentMedia

ufi Approved Event



ОРГАНИЗАТОР
Международный выставочный центр
ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:
Государственного агентства Украины по управлению государственными корпоративными правами и имуществом Украинской Национальной Компании "Укрстанкоинструмент"

19–22 НОЯБРЯ 2013 г.

+38 044 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58
e-mail: lilia@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
Украина, Киев, Броварской пр-т, 15
Ⓜ "Левобережная"

Содержание

Шурма Р. МК "Запорожсталь" – 80 лет опыта и профессионализма"..... 1

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Русских В.П., Семакова В.Б., Шапиро-Никитин Д.Е., Лялюк В.П., Волков В.В. Рациональное использование шламов в составе агломерационной шихты..... 3

КОКСОХИМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Панов Е.Н., Васильченко Г.Н., Чирка Т.В., Лазарев Т.В. Оценка теплопроводности сыпучих углеродистых материалов по величине удельного электрического сопротивления..... 6

Коверя А.С. Взаимосвязь спекающей способности углей и их смесей с внешней удельной поверхностью..... 9

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Ботштейн В.А., Рудюк А.С., Гахеладзе Г.С., Чичкарев Е.А., Попов Е.С., Костыря И.Н. Раскисление и внепечная обработка кислородно-конвертерной рельсовой стали К76Ф 12

Харахулах В.С., Зражевский А.Д., Охотский В.Б. Развитие контроля окисленности стали..... 14

ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ

Корниевский В.Н., Кийко С.Г., Сальников А.С., Логозинский И.Н., Шибеко П.А. Повышение эффективности производства коррозионностойких сталей за счет снижения удельного расхода легирующих элементов и улучшения качества..... 18

Есаулов Г.А., Климчик Ю.В. , Жаданос А.В., Гасик М.И., Кукушкин О.Н. Математическое моделирование теплоэнергетических процессов в агрегате ковш-печь в условиях ООО МЗ «Днепросталь»..... 23

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Усенко Р.В., Мазорчук В.Ф., Репях С.И., Жегур А.А. Огнеупорная суспензия буферных слоев керамических оболочковых форм для литья по выплавляемым моделям..... 28

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Штода М.Н., Ершов С.В., Мельник С.Н., Нагорный С.Е. Классификация ящичных калибров по виду напряженно-деформированного состояния..... 30

Николаев В.А., Жученко С.В. Оценка неравномерности распределения погонных сил по ширине прокатываемой полосы 34

Грушко А.В. Построение динамической кривой упрочнения металла при холодной деформации с использования методов твердости по Либу и Бринеллю..... 37

Боровик П.В., Петров П.А. Теоретическое определение силы резки ножницами фасонных профилей..... 41

ТРУБНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Рахманов С.Р., Крышин С.М., Орещенко В.Ф., Вышинский В.Т., Журавлев А.В Расчет конструкции рабочей клети стана холодной прокатки труб..... 45

Кузнецов Д.Е. Анализ методов расчета ширины калибров станов ХПТ..... 50

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМООБРАБОТКА

Калинин В.Т., Калиновская А.Е., Калинина Н.Е., Вилищук З.В., Борисенко А.Ю. Повышение качества и свойств многокомпонентных сплавов модифицированием тонкодисперсными композициями..... 52

Большаков Вл.И., Дергач Т.А., Панченко С.А., Балев А.Е. Управление процессами структурообразования при изготовлении горячепрессованных труб из ферритно-аустенитных сталей..... 55

Узлов О.В., Дрожевская А.В. Формирование структурного состояния высокопрочных сталей для инновационного железнодорожного подвижного состава..... 60

ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Шустов О.О. Дослідження організації роботи земснарядів при розкритті глибоких суттєво обводнених родовищ корисних копалин..... 63

Говоруха В.В. Динамические процессы взаимодействия большегрузных рельсовых транспортеров и путевой структуры наклонных подъемников автомобилей..... 67

Судаков А.К. Результаты исследования физико-механических свойств криогенно-гравийного композита..... 71

Темченко А.А. Исследование факторов, влияющих на конкурентоспособность горно-обогатительных предприятий..... 74

ПРОТИВОКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

Воробьева В.И., Чигиринец Е.Э., Черепкина Р.И., Сыдор В.И. Исследование защитной эффективности ингибированной бумаги для защиты металлопродукции на период транспортировки и хранения..... 79

МАШИНОВЕДЕНИЕ

Большаков В.И., Иванча Н.Г., Муравьева И.Г., Вишняков В.И. Методика определения рациональных параметров формирования железорудных смешанных порций при загрузке шихтовых материалов в доменную печь..... 83

Сидоров В.А. Исследования причин износа опорного кольца механизма поворота свода электродуговой печи..... 88

Койнаш В.А., Крупко В.Г. Теоретические исследования влияния геометрических параметров гусеничных звеньев на работоспособность ходового оборудования землеройных машин..... 92

ТЕПЛОТЕХНИКА

Бирюков А.Б. Оценка параметров работы двухвалковой МНЛЗ на основе анализа процесса теплопередачи..... 97

Яковлева И.Г., Назаренко И.А. Влияние внешнего подогрева пека на параметры работы системы циркуляционного нагрева..... 100

СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Сокуренко В.П., Абросимова Т.Н., Фридман В.М., Островский И.П. Основные принципы создания автоматизированной системы идентификации и прослеживаемости продукции, оперативного контроля.... 103

АВТОМАТИЗАЦИЯ

Вайнер А.И., Буртовой В.А., Ткаченко Г.И., Мохнатый А.В., Хижняк В.Я. Стенд для послеремонтных испытаний электрических машин постоянного тока методом динамического нагружения..... 107

Кийко С.Г., Дружинин Е.А., Коба С.А., Гайдабрус Б.В. Математическое обеспечение информационной технологии интеграции процессов при планировании проектов с учетом влияния факторов риска..... 112

ЭКОНОМИКА

Горянская Т.В. Металлургическая отрасль Украины: состояние, перспективы и стратегия внешнеторговых отношений..... 115

Галасюк В.В. О концептуальных основах мирового финансового кризиса..... 117

ЭКОЛОГИЯ

Прейсман М., Швец М. Н. Реконструкция систем газоудаления и газоочистки электропечей ДСП-150 в ЭСПЦ ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат»..... 121

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Степаненко А.Н., Богдан В.Н., Малик А.А., Уголков В.А., Попов В.П.. Строительство электрометаллургического завода и общезаводских объектов ООО «НЛМК-Калуга» в Калужской области..... 125

ИНФОРМАЦИЯ

К 75-летию В.В.Парусова..... 131

Новые поступления в фонд ЦГНТБ 132

Contents

R.Shurma MK "Zaporizhstal" - 80 years of experience and profenssional..... 1

BLAST-FURNACE PRACTICE

Russcih V.P., Semakova V.B., Shapiro-Nikitin D.E., Lyalyuk V.P., Volkov V.V. Rational use of sludge in the sinter mix..... 3

COKE PRODUCTION

Panov E.N., Vasilchenko G.N., Chirka T.V., Lazarev T.V. Evaluation of thermal conductivity of bulk carbon materials largest electrical resistivity..... 6

Koverya A.S. Interconnection sintering ability coals and mixtures thereof with the external surface area..... 9

STEELMAKING

Botshtein V.A., Rudyuk A.S., Gaheladze G.S., Chichkarev E.A., Popov E.S., Kostyrya I.N. Deoxidation and out-of-furnace processing of basic oxygen rail st eel..... 12

Kharakhulakh V.S., Zrazhevsky A.D., Okhotsky V.B. The development of control of oxidation were..... 14

ELECTROMETALLURGY

Kornievsky V.N., Kiyko S.G., Sal'nikov A.S., Logozinsky I.N., Shibeko P.A. Improving the efficiency of production of corrosion-resistant steels by reducing the specific consumption of alloying elements and improve the quality of..... 18

Yesaulov G.A., Klimchik Y.V., Zhadanos A.V., Gasik M.I., Kukushkin O.N. Mathematical modeling of heat and power processes on the ladle furnace aggregate in the metallurgical plant LTD «Dneprostal»..... 23

FOUNDRY

Usenko R.V., Mazorchuk V.F., Zhegur A.A., Repyakh S.I. Refractory slurry buffer layers of ceramic shell molds for casting..... 28

ROLLING

Shtoda M.N., Ershov S.V., Melnik S.N., Nagornyi S.E. Classification by type of box-caliber stress-strain state.. 30

Nikolaev V.A., Zhuchenko S.V. Evaluation of uneven distribution of forces running the width of the rolled strip..... 34

Grushko A.V. Construction of a dynamic curve metal hardening during cold deformation with the use of methods Hardness Lieb and Brinell..... 37

Borovik P., Petrov P.A. Theoretical determination of shearing forces shaped sections..... 41

PIPE & TUBE PRODUCTION

Rakhmanov S.R., Kryshin S.M., Oreshchenko V.F., Vyshinsky V.T., Zhuravlyov A.V. Optimization of a design of a working cage of a camp of cold rolling of pipes..... 45

Kuznetsov D.E. Analysis of methods for calculating the width of the gauge mill HPT..... 50

METAL SCIENCE & HEAT TREATMENT

Kalinin V.T., Kalinovskaja A.E., Kalinina N.E., Vilischuk Z.V., Borisenko A.Y. Improving the quality and properties of multicomponent alloys by modifying the finely dispersed compositions..... 52

Bolshakov Vl.I., T. Dergach T.A., Panchenko S.A., Balev A.E. Management of processes of pattern formation manufacture of hot-extruded pipe of ferritic-austenitic steels..... 55

Uzlov O.V., Drozhevskaya A.V. Formation of the structural state of the high-strength steels for innovative rolling stock..... 60

ORE MINING

Shustov O.O. Research carried out by the disclosure of the dredge depth significantly watered Mining..... 63

Govorukha V.V. The dynamic processes of interaction of heavy-rail conveyors and track structure inclined lifts cars..... 67

Sudakov A.K. Results of the study of physical and mechanical properties of the composite cryogenic gr avel..... 71

Temchenko A.A. The study of factors affecting the competitiveness of the mining and processing ente rprises..... 74

ANTICORROSIVE PROTECTION OF METALS

Vorobieva V.I., Chigirinets E.E, Cherepkina R.I, Sydor V.I. Study of the protective efficacy of inhibited paper to protect steel products during transport and storage..... 79

SCIENCE OF MACHINES

Bolshakov V.I., Ivancha N.G., Muraveva I.G., Vishnjakov V.I. Methods of determining the rational parameters of the formation of iron mixed batches loading charge material in the blast furnace..... 83

Sidorov V.A. Research the causes of deterioration of the support ring slewing arc furnace roof..... 88

Coynash V.A., Krupko V.G. Theoretical study of the effect of geometrical parameters on the performance track links navigating equipment earthmoving machinery..... 92

HEAT ENGINEERING

Biryukov A.B. Estimation of the parameters of the two-roll caster based on the analysis of heat transfer process.. 97

Yakovleva I.G., Nazarenko I.A. The influence of external heating on the pitch paremtry Time circulating heat ing..... 100

STANDARDIZATION

Sokurenko V.P., Abrosimova T.N., Fridman V.M., Ostrovsky I.P. Basic principles of automated product identification and traceability, operational control of the wall thickness of pipes for pipe-rolling units installedl..... 103

AUTOMATIZATION

Wainer A.I., Burtovoy V.A. Tkachenko G.I., Mohnatyi A.V., Khizhnyak V.J. Stand for post-repair tests dc electrical machines by dynamic loading..... 107

Kiyko S.G., Druzhinin E.A. , Coba S.A., Gaydabrus B.V. Software of information technology integration processes when planning for the effects of risk factors..... 112

ECONOMICS

Goryanskaya T.V. Metallurgical industry of Ukraine: condition, perspectives and strategy of foreign trade relations..... 115

Galasyuk V.V. On the conceptual foundations of the global financial crisis..... 117

ECOLOGY

Preisman M., Shvets M. N. Reconstruction of systems for gas collection and gas cleaning of electric furnaces AF-150 in steel-making shop at «Oskol electrometallurgical plant»..... 121

CONSTRUCTIONAL DESIGN

Stepanenko , A.N., Bogdan V.N., Malik A.A., Ugolkov V.A., Popov V.P. Construction of steel plant and enterprise facilities of " NLMK -Kaluga " in the Kaluga region. Steelmaking..... 125

INFORMATION

The 75th anniversary of V.V. Parusova..... 131

Recent additions to the Central State Scientific and Technical Library 132