

А. В. Слабкий

Практикум
до виконання практичних робіт і самостійної
роботи з дисципліни «Сучасні матеріали в
галузевому машинобудуванні»
зі спеціальності
«Галузеве машинобудування»

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

А. В. Слабкий

**Практикум
до виконання практичних робіт і самостійної
роботи з дисципліни «Сучасні матеріали в
галузевому машинобудуванні»
зі спеціальності
«Галузеве машинобудування»**

Електронний практикум

Вінниця
ВНТУ
2025

УДК [620.22+621.763] (075)

C47

Рекомендовано до видання Вченою Радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 8 від 30.01.2025 р.)

Рецензенти:

В. М. Гурський, доктор технічних наук, професор

В. І. Савуляк, доктор технічних наук, професор

С. І. Сухоруков, кандидат технічних наук, доцент

Слабкий, А. В.

C47 Практикум до виконання практичних робіт і самостійної роботи з дисципліни «Сучасні матеріали в галузевому машинобудуванні» зі спеціальності «Галузеве машинобудування» : практикум [Електронний ресурс] / Слабкий А. В. – Вінниця : ВНТУ, 2025. – (PDF, 123 с).

В практикумі подано інформаційні матеріали для поглибленого вивчення конструкційних та інструментальних матеріалів, що найбільше використовуються в сучасному вітчизняному виробництві. Запропоновано індивідуальні завдання для набуття практичних навичок роботи з конструкційними матеріалами.

УДК [620.22+621.763] (075)

ЗМІСТ

Практична робота № 1. Вибір сталей для деталей машин.....	4
Практична робота № 2. Хіміко-термічне оброблення матеріалів	30
Практична робота № 3. Проектування структури і властивостей композиційних матеріалів з дискретними волокнами	42
Практична робота № 4. Вивчення властивостей матеріалів отриманих методами порошкової металургії	54
Практична робота № 5. Вивчення системи вибору багатогранних пластин залежно від умов оброблення	67
Практична робота № 6. Вибір марки інструментального матеріалу для заданих умов оброблення.....	92
Практична робота № 7. Визначення параметрів токарного різця відповідно до різального матеріалу.....	102
Методичні рекомендації для планування і організації самостійної роботи здобувачів	119
Список використаних джерел	121

Практична робота № 1

ВИБІР СТАЛЕЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Мета роботи: вивчити методикку вибору сталей для деталей машин, класифікацію, маркування, властивості і область застосування сталей; ознайомитися з сортаментом та призначенням різних груп прокату; набути практичних навичок у виборі матеріалу під час проектування технологічних процесів виходячи з заданих умов.

Здобувач має знати: принципи вибору сталей для деталей машин, класифікацію та сфери застосування різних марок сталей;

Вміти: вибрати марку сталі для деталей, що працює в конкретних умовах експлуатації, і призначити режим термічної обробки для готової деталі.

Загальні відомості

У виробництві сучасного машинобудування застосовують такі конструкційні матеріали: сталь, чавун, кольорові метали і сплави, спечені матеріали, пластмаси, дерево, технічна гума, а також різні види покриттів. Вибір матеріалу насамперед визначається умовами експлуатації.

Деталі машин і приладів, що передають навантаження, необхідно, щоб мали жорсткість і міцність, достатні для обмеження пружною і пластичною деформацією за гарантованої надійності виробу. З різноманіття матеріалів найбільшою мірою ці вимоги задовольняють сплави на основі заліза – особливо сталі. Сталі мають високий, спадковий від заліза, модуль пружності ($E = 2,1 \cdot 10^6$ МПа) і високу жорсткість, поступаючись у цьому лише бору, вольфраму, молібдену, берилію, які через високу вартість використовуються тільки в спеціальних випадках. Висока жорсткість і доступність обумовлюють широке застосування сталей для виготовлення будівельних металоконструкцій, корпусних деталей, ходових гвинтів верстатів, різних валів, зубчастих коліс і багатьох інших деталей машин. Високу жорсткість сталі поєднують з достатньою статичною та циклічною міцністю, значення якої можна регулювати в широкому діапазоні зміною концентрації вуглецю, легувальних елементів і технології термічної і хіміко-термічної обробки.

Застосовувані в техніці сплави на основі міді, алюмінію, магнію, титану, а також пластмаси поступаються сталі у жорсткості, міцності або надійності. Крім комплексу цих важливих для роботоздатності деталей властивостей, сталі можуть мати і ряд інших цінних якостей, що роблять їх універсальним матеріалом. За відповідного легування та технології термічної обробки сталь стає зносостійкою, корозійностійкою, жаростійкою чи жароміцною, а також набуває особливі магнітні, теплові або пружні

властивості. Сталі також характеризуються гарними технологічними властивостями.

Вибір матеріалу для конкретного виробу визначається такими основними факторами:

- службовим призначенням деталі; наприклад, для ґрунтообробних знарядь необхідний зносостійкий матеріал, а для тертьових поверхонь – антифрикційний і т. д.;

- способом її з'єднання з іншими деталями; наприклад, не потрібно з'єднувати деталі з алюмінієвих сплавів сталевими деталями кріплення, оскільки це призводить до швидкого руйнування алюмінієвих виробів через активну електрохімічну корозію;

- умовами отримання заготовки, а з неї – деталі; наприклад, для деталей, одержуваних гнуттям з листа, зусилля гнуття має бути вище межі текучості σ_T матеріалу, але нижче межі міцності σ_B , а під час різання на пресових штампах зусилля преса має перевищувати σ_B і т. д.;

- конфігурацією виробу; наприклад, деталі складної конфігурації переважніше отримувати литтям, отже, для таких деталей необхідні матеріали, що дозволяють отримувати якісні виливки: сталь, чавун, силуміни і т. д.;

- в процесі вибору заготовки потрібно широко використовувати прокат, сортамент якого досить різноманітний.

Крім того, приступаючи до вибору матеріалу, необхідно враховувати, що, у загальному випадку, чорні сплави дешевші кольорових. Якщо у вимогах до виробу не міститься особливих умов, то має бути вибраний такий матеріал, вартість якого мінімальна. Тут також необхідно пам'ятати, що за масового і великосерійного способу виробництва вигідніше застосувати лиття і штампування, а за дрібносерійного й індивідуального – обробку різанням.

Таким чином, вибір матеріалу – це багатоваріантна задача.

Класифікація сталей

Сталлю називається сплав заліза з вуглецем (до 2,14% С). Крім вуглецю, в сталі містяться постійні домішки (кремній, марганець, фосфор і сірка).

Вуглець є найважливішою домішкою, що є визначальною для механічних, фізичних, хімічних, технологічних та експлуатаційних властивостей сталі. Вуглець визначає структуру сталі і, відповідно, викликає значну зміну її властивостей. Зі збільшенням в сталі вуглецю збільшуються межа міцності за розтягування σ_T і твердість, зменшуються відносне видовження δ , відносне звуження ψ , ударна в'язкість KCU і щільність γ , збільшується питомий електроопір ρ .

Кремній в вуглецевій сталі не перевищує 0,4%. Він розчиняється в фериті, підвищує міцність, твердість, пружність, знижує пластичність сталі, а головне – добре розкислює її.

Марганець в вуглецевій сталі становить 0,25-0,80%. Він розкислює сталь, розчиняється в фериті і частково утворює карбіди, і цим самим підвищує міцність, твердість, пружність, знижує пластичність сталі.

Вміст фосфору в сталі не має перевищувати 0,05%. Розчиняючись у фериті, він різко знижує його пластичність і викликає холодноламкість.

Сірка в сталі не перевищує 0,05%. Вона нерозчинна в фериті, але утворює сульфід заліза FeS, який викликає червоноламкість сталі.

Сталі класифікуються за способом виробництва, призначенням, хімічним складом, структурою і якістю.

За призначенням розрізняють конструкційні, інструментальні та спеціальні сталі. Конструкційні сталі об'єднують: машинобудівні, машинобудівні спеціального призначення, будівельні.

Спеціальні сталі: спеціальні з особливими фізичними властивостями та спеціальні з особливими хімічними властивостями.

За хімічним складом розрізняють вуглецеві і леговані сталі, за змістом вуглецю – маловуглецеві (до 0,25% C), середньовуглецеві (0,25-0,60% C), високовуглецеві (0,60-1,3% C).

За якістю сталі класифікують на сталі звичайної якості, якісні та високоякісні, що містять відповідно фосфору і сірки в сумарній кількості не більше 0,10; 0,08 і 0,05%.

За міцністю, оцінюваною тимчасовим опором, конструкційні сталі з деякою умовністю можна розділити на сталі нормальної (середньої) міцності ($\sigma_B \sim$ до 1000 МПа), підвищеної міцності ($\sigma_B \sim$ до 1500 МПа) і високоміцні ($\sigma_B \sim$ більше 1500 МПа).

Легованою називається сталь, яка містить один або декілька елементів, що помітно змінюють її структуру і властивості.

Низьколеговані сталі містять в сумі до 3% легувальних елементів, середньолеговані – від 3 до 10%, високолеговані – понад 10%. За структурою леговані сталі підрозділяють на 5 класів: феритний, перлітний, аустенітний, мартенситний і карбідний.

Легувальні елементи вводять для підвищення конструкційної міцності сталі. Леговані сталі виробляють якісними, високоякісними або особливо високоякісними. Їх застосовують після гарту і відпуску, оскільки в відпаленому стані вони за механічними властивостями практично не відрізняються від вуглецевих.

Поліпшення механічних властивостей обумовлено впливом легувальних елементів на властивості фериту, дисперсність карбідної фази, стійкість мартенситу при відпуску і, на прогартованість, розмір зерен.

Маркування та застосування вуглецевих сталей

Вуглецеві сталі підрозділяються на конструкційні та інструментальні. Конструкційні вуглецеві сталі, зі свого боку, – на сталі звичайної якості та якісні.

Вуглецева сталь звичайної якості призначена для виготовлення гарячекатаного прокату: сортового, фасонного, товстолистого, тонколистового, ширококутового та холоднокатаного тонколистового, а також злитків, блямів, слябів, заготовок катаної і безперервнолитих, труб, поковок і штамповок, стрічок, дроту, метизів та ін.

Вуглецева сталь звичайної якості відповідно до ГОСТ 380-2005 маркується літерами «Ст», що позначає «Сталь» і цифрою (від 0 до 6), яка позначає умовний номер марки залежно від хімічного складу. Якщо стоять після цифри буква «Г» (в деяких марках) і букви «кп», «пс», «сп», то це позначає: буква «Г» – марганець за його масовою часткою в сталі 0,80% і більше, літери «кп», «пс», «сп» – ступінь розкислення сталі: «кп» – кипляча, «пс» – напівспокійна, «сп» – спокійна.

Розкислення – процес видалення з рідкого металу кисню, що проводиться для запобігання крихкому руйнуванню сталі у разі гарячої деформації.

Спокійні сталі розкисляють марганцем, кремнієм і алюмінієм. Вони містять мало кисню і тверднуть спокійно без газовиділення. Киплячі сталі розкисляють тільки марганцем. Перед розливанням в них міститься підвищена кількість кисню, який під час затвердіння, частково взаємодіючи з вуглецем, видаляється у вигляді СО. Виділення бульбашок СО створює враження кипіння сталі, з чим і пов'язана її назва. Киплячі сталі дешеві, їх виробляють низьковуглецевими і практично без кремнію (менше 0,07%), але з підвищеною кількістю газоподібних домішок.

Напівспокійні сталі за ступенем розкислення займають проміжне положення між спокійними і киплячими. Хімічний склад сталі (основні елементи) з аналізу ківшової проби має відповідати нормам, зазначеним у табл. 1.1.

Вуглецеві якісні сталі

За ДСТУ ГОСТ 1050-88 ці сталі розділяються на дві групи: I-а – з нормальним вмістом Mn (до 0,6%) і II-а – з підвищеним вмістом Mn (0,8-1%). Сталі I-ї групи відрізняються від сталей звичайної якості зниженим вмістом сірки і фосфору (до 0,03%), а також дотриманням всіх металургійних стандартів якості сталі (обмежений вміст газів, неметалевих включень і т. д.). Максимальний вміст вуглецю в розглянутих сталях – 0,85%, мінімальний – 0,05%. Маркуються такі сталі відповідно до вмісту вуглецю в сотих частках відсотка 05, 08, 10, 15–85. Механічні властивості вуглецевих якісних сталей подано в табл. 1.2.

Із сталей цієї групи виготовляються найрізноманітніші деталі, що

піддаються термічній і хіміко-термічній обробці. Причому, сталі з вмістом вуглецю до 0,25%, як відомо, не гартуються, а їхні низькі міцнісні властивості не дозволяють використовувати їх для виготовлення деталей машин і конструкцій без додаткової зміцнювальної обробки. Як така обробка використовується холодне деформування або цементацію. Цементовані сталі піддаються ще й загартуванню з низьким відпусканням. Результат – вони мають високу твердість поверхні (60 *HRC* (на глибині до 1,5 мм) і не зміцнену серцевину з високою пластичністю і в'язкістю. Конструкційні якісні сталі з більш високим вмістом вуглецю зміцнюються термообробкою – поліпшенням (гарт і високе відпускання на сорбітну структуру з твердістю близько 25–30 *HRC* (відповідної високої в'язкості).

Сталі цієї групи знайшли широке застосування для виготовлення деталей машин завдяки не тільки своїм високим експлуатаційним характеристикам, але й гарним технологічним властивостям: сталі з низьким вмістом вуглецю добре штамнуються (05, 08, 10, 15кп) і зварюються (10, 15кп, 20кп, 25), а з більш високим – добре ллюються (30Л-70Л).

Таблиця 1.1 – Основний хімічний склад вуглецевих сталей звичайної якості

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів, %		
	Вуглецю	Марганця	Кремнію
Ст0	Не більше 0,23	-	-
Ст 1кп	0,06-0,12	0,25-0,50	Не більше 0,05
Ст 1пс	0,06-0,12	0,25-0,50	0,05-0,15
Ст 1сп	0,06-0,12	0,25-0,50	0,15-0,30
Ст 2кп	0,09-0,15	0,25-0,50	Не більше 0,05
Ст 2пс	0,09-0,15	0,25-0,50	0,05-0,15
Ст 2сп	0,09-0,15	0,25-0,50	0,15-0,30
Ст 3кп	0,14-0,22	0,30-0,60	Не більше 0,05
Ст 3пс	0,14-0,22	0,40-0,65	0,05-0,15
Ст 3сп	0,14-0,22	0,40-0,65	0,15-0,30
Ст 3Гпс	0,14-0,22	0,80-1,10	Не більше 0,15
Ст 3Гсп	0,14-0,20	0,80-1,10	0,15-0,30
Ст 4кп	0,18-0,27	0,40-0,70	Не більше 0,05
Ст 4пс	0,18-0,27	0,40-0,70	0,05-0,15
Ст 4сп	0,18-0,27	0,40-0,70	0,15-0,30
Ст 5 пс	0,28-0,37	0,50-0,80	0,05-0,15
Ст 5 сп	0,28-0,37	0,50-0,80	0,15-0,30
Ст 5Гпс	0,22-0,30	0,80-1,20	Не більше 0,15
Ст 6пс	0,38-0,49	0,50-0,80	0,05-0,15

Таблиця 1.2 – Механічні властивості вуглецевих якісних сталей

Марка сталі	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ ,%	Твердість за Брінеллем в стані поставки, <i>HВ</i>	Твердість за Брінеллем після відпалу, <i>HВ</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>Група I</i>					
05кп	–	–	–	–	–
08кп	300	180	35	131	–
08	330	200	33	131	–
10кп	320	190	33	137	–
10	340	210	31	137	–
15кп	360	210	29	143	–
15	380	230	27	143	–
20кп	420	250	25	156	–
20	420	250	25	156	–
25	460	280	23	170	–
30	500	300	21	179	–
35	540	320	20	187	–
40	580	340	19	217	187
45	610	360	16	241	197
50	640	380	14	241	207
55	660	390	13	255	217
60	690	410	12	255	229
65	710	420	10	255	229
70	730	430	9	269	229
75	1100	900	7	285	241
80	1100	950	6	285	241
85	1150	1000	6	302	255
<i>Група II</i>					
15Г	420	250	26	163	–
20Г	460	280	24	197	–
25Г	500	300	22	207	–
30Г	550	320	20	217	–
35Г	570	340	18	229	197
40Г	600	360	17	229	207
50Г	660	380	15	241	217
60Г	710	420	11	269	229
65Г	750	440	9	285	229
70Г	800	460	8	285	229

Цементовані вуглецеві сталі (10, 15, 20) після цементації застосовують для виготовлення деталей відносно невеликих розмірів, що працюють на

знос за малих навантажень, коли міцність серцевини не впливає на експлуатаційні властивості (втулки, вали, осі, шпильки та ін.). Із середньо вуглецевих сталей (35, 40, 45) виготовляють деталі, які відчувають невеликі напруги (сталь 35), і деталі, що потребують підвищеної міцності (сталі 40, 45). Зі збільшенням перерізу деталі механічні властивості знижуються, оскільки ці сталі мають низьку прогартованість. Середнє навантаження деталей із сталей 40, 45, не працюючих на знос (тяги, важелі, шатуни, гайки і ін.) піддають поліпшенню. Деталі, від яких потрібна підвищена твердість (шпинделі, вали, осі, шайби і т. д.) гартують і відпускають на твердість 40–50 HRC. Деталі, від яких потрібна висока поверхнева твердість, піддаються загартуванню з нагріванням СВЧ. Цей спосіб гарту набув значного поширення і дав можливість їх використовувати також для відповідальних деталей (колінчасті вали, розподільні вали, зірочки, зуби та ін.).

Сталі II-ї групи з підвищеним вмістом Mn (до 1%) відносяться до вуглецевої сталі. Серед конструкційних вуглецевих сталей можна виділити кілька функціональних груп сталей із спеціальними технологічними властивостями.

Сталі для виливків. Багато машинобудівних підприємств мають власні сталеливарні цехи. Специфіка такого виробництва не дозволяє виплавляти високоякісні конструкційні сталі. Такі сталі містять підвищену кількість сірки і фосфору (для електросталі – до 0,06%) і мають наприкінці маркування літеру «Л»: 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 45Л, 53Л, 65Л, 70Л.

Сталі цієї категорії йдуть на виготовлення різноманітних деталей, що підлягають механічній і термічній обробці. З них отримують, як правило, вироби складної конфігурації, які не сприймають великих знакозмінних навантажень і питомих тисків: кронштейни, головки шарнірів, зірочки і под. Водночас багато деталей піддають гарту СВЧ (зірочки зі сталі 35Л гартують на твердість HRC 40-50 на глибину 2–3 мм) або наплавленню спеціальними матеріалами.

Листова сталь для глибокої витяжки. Для штампування деталей з тонкого листа з глибокою витяжкою застосовують маловуглецеві сталі 05кп, 08кп, 10кп. Вони відрізняються зменшеним вмістом зміцнювальних домішок (до 0,03%), що значно підвищує пластичність і зменшує твердість. Ця сталь має ферито-перлітну структуру з дрібними включеннями перлітних зерен. Виділення третинного цементиту по межах зерен у цій сталі неприпустимо, оскільки веде до розривів під час штампування.

Істотне значення має і зернистість сталі: найкраще штампується сталь з дрібним зерном; під час штампування сталі з великим зерном отримуємо шорстку поверхню (дефект «апельсинова кірка»).

Найбільш уживаною з цієї категорії сталей є сталь 08кп. З неї виготовляють кузова автомобілів і тракторів, крила, фасонні панелі, насіннепроводи сівалок, бункери зернозбиральних комбайнів, різні кришки і ковпаки.

Сталі для зварних конструкцій. Масова частка зварних конструкцій в машинобудуванні становить понад 70% у загальній металоемності машин. Для зварних конструкцій використовуються сталі з невисоким вмістом вуглецю (до 0,35%). З вуглецевих конструкційних сталей – це 10, 15кп, 20кп, 25, 30, 35, а сталей звичайної якості – це Ст 3, Ст 5пс, Ст 4, Ст5. Однак зварюваність сталі значною мірою залежить від її хімічного складу. Для спрощеного оцінювання зварюваності вуглецевих сталей і сталей з невеликим вмістом марганцю та кремнію користуються зазвичай такою емпіричною залежністю:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{4} + \frac{Si}{4}, \quad (1.1)$$

де $C_{екв}$ – умовний еквівалент вуглецю.

Сталі, що мають $C_{екв} < 0,45$, відносяться до добре зварюваних.

Сталь Ст 3 групи А будь-якого ступеня розкислення частіше за інших застосовується для виготовлення різних кожухів, огорожень жолобів та інших мало відповідальних і слабо навантажених складальних одиниць. Сфери застосування вуглецевих якісних сталей наведено в таблиці 1.3.

Інструментальні вуглецеві сталі

Інструментальними сталями називають вуглецеві сталі, що мають високу твердість (HRC 60-64), міцність і зносостійкість та застосовуються для виготовлення різного інструмента. Зазвичай це сталі, структура яких після гартування і низького відпуску – мартенсит – надлишкові карбіди.

Інструментальні вуглецеві сталі нетеплостійкі і мають невелику прогартованість. Вуглецеві інструментальні сталі маркують буквою У, наступна за нею цифра (У7, У8, У10 і т. д.) показує середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Буква А в кінці (У10А) вказує, що сталь високоякісна.

Таблиця 1.3 – Призначення вуглецевих якісних сталей

Марка сталі	Приклади застосування
08 10	Для штампованих деталей, а також цементованих деталей, що не потребують високої міцності серцевини (втулки вушка ресори, шайби діафрагми, коромисла клапанів крана автомобіля, зубчасті колеса, фрикційні диски та ін.). Для деталей, яким необхідно мати високу пластичність (трубки, прокладки, шайби, вилки, тяги та ін.)
15 20 15Г 20Г	Для цементованих і ціанованих деталей, від яких потребується висока твердість поверхні і невисока міцність серцевини (фрикційні диски, поршневі пальці малопотужних двигунів, пальці ресор, невідповідальні шестерні і черв'яки). Для термічно необроблюваних осей, втулок, вкладишів, трубок, штуцерів. Для зварних та штампових деталей з невисокою міцністю і т. д.) (піддвигуневі рами, косинки)

Продовження таблиці 1.3

25	Для осей, муфт, валів, важелів, фланців, шайб та інших великих деталей. Застосовується в нормалізованому, термічно обробленому цементованому або ціанованому стані
30 35	Для деталей, що зазнають невеликих напруг (осі, вали, шпинделі, втулки, зірочки, тяги, траверси, важелі, циліндри пресів, вали, кріпильні деталі, шліцьові валики та ін.)
25Г,30Г 35Г	Для важелів зчеплення, вилок перемикачів передач, тяг, рульового керування, гальмівних педалей, фланців, кронштейнів, кріпильних деталей в нормалізованому стані
40 45	Для колінчастих валів, шатунів, зубчастих вінців маховиків, шестерень, розподільних валів, болтів, гайок, шпонок, храповиків, бандажів, фрикційних дисків, плунжерів, шпинделів, осей, муфт, зубчастих рейок, пальців траків гусениць і для інших нормалізованих, що поліпшуються і піддаються поверхневій термообробці, деталей, від яких потрібна підвищена твердість поверхні.
40Г 45Г	Для півосей вантажних автомобілів, розподільних валів, колінчастих валів, шатунів, передніх осей, карданних валів, гальмівних важелів, дисків тертя, шестерень безперервного зачеплення, шліцьових шестеренних валів, кріпильних деталей. Застосовуються в нормалізованому стані і після гартування та високого відпускання (поліпшення).
50Г	Для втулок підшипника кривошипа, зубчастого обода колеса, обода маховика, ресор, дисків тертя, шліцьових шестеренних валів. Застосовуються після термообробки (гартування і відпускання, іноді в нормалізованому стані)
50 55	Для шестерень, прокатних валків, штоків, валів, осей, бандажів, ексцентриків, малонавантажених пружин і ресор, відвалів та ін. Застосовується після гартування і відповідного відпускання і в нормалізованому стані
60	Для прокатних валків, ексцентриків, осей, шпинделів, бандажів, пружинних кілець, пружин амортизаторів, пружин зчеплення, замкових шайб, дисків зчеплення. Застосовується після гарту і відповідного відпускання, а також після нормалізації (для великих деталей). Має високі характеристики міцності і пружні властивості.
65 70 75 85	Для виготовлення пружин різних механізмів і машин: ресор, пружин клапанів двигунів автомобіля, плоских пружин прямокутного перерізу товщиною від 3 до 12 мм (сталь 65Г), пружин з дроту діаметром 0,14–8 мм з холодним навиванням пружин різних розмірів після гартування з подальшим середнім відпусканням за температури 300 °С.
60Г 65Г	Для виготовлення плоских і великих пружин, ресор, пружинних кілець, шайб гровера та інших деталей пружинного типу, від яких потрібні високі пружні властивості і підвищений опір зносу, робочі органи ґрунтообробних машин, сегменти різального апарату косарок після гартування та середнього відпускання

ДСТУ ГОСТ 1435-74 передбачає вісім марок якісної і вісім марок високоякісної вуглецевої інструментальної сталі. Високоякісні вуглецеві сталі містять менше сірки і фосфору та менш схильні до утворення тріщин під час загартування і шліфування.

Вуглецеві інструментальні сталі застосовуються для виготовлення інструментів, для яких потрібно наскрізне гартування товщиною або діаметром не більше 10–12 мм, а також для більш великих інструментів (товщиною 15–30 мм), у яких різальна частина припадає на поверхневий шар (напилки, зенкери та ін.). Призначення і загальну характеристику вуглецевих інструментальних сталей наведено в таблиці 1.4.

Твердість є однією з основних характеристик інструментальних сталей. Твердість вуглецевих інструментальних сталей після термообробки подано в таблиці 1.5.

Маркування легованих сталей

Марка легованих сталей складається з поєднання букв і цифр, що позначають її хімічний склад. За ДСТУ ГОСТ 4543-71 прийнято позначати хром – Х, нікель – Н, марганець – Г, кремній – С, молібден – М, вольфрам – В, титан – Т, ванадій – Ф, алюміній – Ю, мідь – Д, ніобій – Б, бор – Р, кобальт – К. Цифра, що стоїть після букви, вказує на приблизний зміст легувального елемента у відсотках. Якщо цифра відсутня, то легувального елемента менше або близько 1%.

Таблиця 1.4 – Призначення і загальна характеристика вуглецевих інструментальних сталей

Марки сталі	Орієнтовне призначення
У7, У7А	Для інструменту, що піддається ударам: зубила, штампи, ковальські та слюсарні молотки, теслярський інструмент (стамески, долота).
У8, У8Г, У8А, У8ГА	Для інструменту, що піддається ударам: штампи, матриці, пуансони, пробійники, слюсарний інструмент, пилки, зубила.
У9, У9А	Для інструменту, що потребує твердості і деякої в'язкості: кернери, столярний інструмент, зубила по каменю.
У10, У10А, У11, У11А	Для виготовлення різального і вимірювального інструменту: різці, калібри, плитки. Витяжні, обрізні та вирубні штампи невеликих розмірів і простої форми.
У12, У12А	Різальний і мірильний інструмент, хірургічний інструмент.
У13, У13А	Різці по твердому металу, бритви, гравіювальний інструмент, шабери, напилки

Таблиця 1.5 – Твердість вуглецевих інструментальних сталей після термообробки

Марки сталі	Режим гартування		Твердість після гартування, HRC	Твердість <i>HRC</i> після відпуску за температури, °C		
	Температура, °C	Охолоджувальне середовище		200	300	400
У7А	790-810	Спочатку у воді до температури 200–250 °C, а потім в мастилі до повного охолодження	62-64	60-62	52-56	48-52
У8А	780-800		63-65	61-63	52-56	48-52
У9А	770-790		63-65	61-63	52-56	48-52
У10А	770-790		62-64	61-63	54-58	48-52
У11А	770-790		62-64	61-63	54-58	48-52
У12А	770-790		62-64	61-63	54-58	48-52
У13А	770-790		62-64	61-63	54-58	48-52

Дві цифри на початку марки конструкційної легованої сталі показують вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Наприклад, сталь 20ХН3А в середньому містить 0,20% вуглецю, 1% хрому і 3% нікелю. Буква А в кінці марки означає, що сталь високоякісна. Особливо високоякісні сталі мають в кінці марки букву Ш, наприклад 30ХГСШ.

Такий самий принцип маркування характерний для інструментальних сталей. Однак на початку марки стоїть одна цифра, що показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. За вмісту в них 1% С або більше початкову цифру опускають. Наприклад, в сталі ХВ4 міститься більше 1% вуглецю, 1% хрому і 4% вольфраму.

Деякі групи вузькоспеціалізованих сталей містять додаткові позначення: марки підшипникових сталей починаються з літери Ш, електротехнічних – з букви Е.

Іноді в кінці деяких марок сталі індексами вказується вид додаткової поліпшувальної металургійної обробки: ЕШП – електрошлаковий переплав, ЕЛ – електронно-променевий переплав та ін.

Сталі експериментальних марок, не внесені в ГОСТ, позначаються буквами з номером, що присвоюється розробником. Наприклад, сталі, виплавлені заводом «Електросталь», маркують поєднанням букв ЕІ (електросталь дослідницька) або ЕП (електросталь пробна) і порядковим номером (наприклад, ЕІ415, ЕП716 і т. д.). Після промислового освоєння умовне позначення замінюють на марку, яка відображатиме приблизний склад сталі.

Поліпшення механічних властивостей обумовлено впливом легувальних елементів на властивості фериту, дисперсність карбідної фази, стійкість мартенситу під час відпускання, прогартованість, розмір зерна.

Під час взаємодії легувальних елементів з залізом і вуглецем можуть утворюватися механічні суміші, тверді розчини, хімічні та інтерметалеві з'єднання. Сталь трохи зміцнюється у разі утворення твердих розчинів і значно – у випадку утворення хімічних та інтерметалевих з'єднань.

Легувальні елементи, розчиняючись у фериті, підвищують його твердість, міцність, знижують пластичність. Такими елементами є кремній, марганець, хром, нікель, кобальт, вольфрам, молібден та ін. Нікель сильно зміцнює ферит, не знижуючи його в'язкості.

До основних елементів-карбідоутворювачів, утворених хімічним з'єднанням типу MeC, відносяться залізо, марганець, хром, вольфрам, молібден, ванадій, титан, тантал, ніобій, цирконій. Вони надають сталям високу твердість, міцність і зносостійкість.

Схильність до перегріву сталей збільшують бор і марганець, зменшують – алюміній, ванадій, вольфрам, хром, титан та ін.

Прогартовуваність сталей збільшують бор, вольфрам, кремній, марганець, нікель, хром, зменшують – алюміній, кобальт, титан.

Жароміцність сталей підвищують хром, бор, ванадій, вольфрам, кобальт, марганець, молібден, нікель, ніобій, титан.

Корозійну стійкість сталей покращують хром, кобальт, кремній, молібден, нікель, хром, титан, ніобій, погіршує – бор.

Конструкційні леговані сталі

Залежно від наявності легувальних елементів бувають хромисті, марганцеві, хромомарганцеві, хромокремнієві, хромонікелеві та інші леговані сталі; за ступенем легування – низько- (до 3%), середньо- (3-10%) і високолеговані (понад 10% легувальних елементів). Якщо в сталях вміст заліза менше 50% і вміст легувальних елементів більше, ніж заліза, то такі сталі називають сплавами.

Приклади марок деяких конструкційних легованих сталей: 10Г2, 40Г2, 50Г2, 55С2, 60С2, 70С2, 15Х, 38ХА, 45Х, 30ХС, 20ХНЗА, 30ХН2МА, 30ХРА, 30ХМА, 20ХГСА, 14Х2НЗМА, 18ХГТЦ, 20ХГНТР, 45ХН2МФА, 18Г2АФД, 38Х2МЮА.

З конструкційних сталей, легованих одним компонентом, найбільш широко в машинобудуванні застосовуються марганцеві, кременисті та хромисті сталі.

Марганцеві сталі. До цих сталей за ГОСТ 14959-79 входять якісні вуглецеві сталі групи II з підвищеним вмістом Mn. Для виготовлення деталей сільгоспмашин застосовуються конструкційні сталі з 1 або 2% Mn: 15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 50Г2, 65Г, 70Г. Вироби зі сталей 30Г і з великим вмістом вуглецю (50Г, 65Г, 70Г) піддаються гартуванню та відпусканню, а сталі 15Г, 20Г, 25Г попередньо проходять ще й цементацію.

Марганець в таких сталях знаходиться в твердому розчині. Він підвищує міцність і твердість, але особливо помітно збільшує пружні властивості сталі (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6 – Механічні властивості сталей 40, 40Г

Сталь	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	K_{CS} , кДж/м ²
40	540	300	17	400
40Г	640	320	28	1800

Марганець значно підвищує стійкість аустеніту, знижує температуру мартенситного перетворення і критичну швидкість гартування, тим самим збільшуючи прогартуваність сталі. За вмісту $Mn > 1,5\%$ у сталі з'являється схильність до незворотної відпускнуї крихкості, тому для таких сталей необхідно уникати температур відпускання більше 500 °С або проводити його з високою швидкістю охолодження.

З марганцевих сталей виготовляють:

- кільця, ресори, осі, втулки, болти, штовхачі, вали-шестерні (сталь 20Г) з цементацією за температури 920-950 °С на глибину 1,6 мм з наступним загартуванням з 810-830 °С в маслі і відпусканням за 180-200 °С на твердість *HRC* 56-63;

- ланки приводного ланцюга (сталь 30Г) з загартуванням від 850-870 °С у воді і відпусканням за 300-400 °С на твердість *HRC* 38-45;

- втулки, фланці, стакани, важелі, дискові зірочки (сталь 50Г) з загартуванням у воді від 840-850 °С і відпусканням за 450-600 °С на твердість *HRC* 25-40;

- ресори (сталь 50Г2) з загартуванням в маслі від 810-830 °С і відпусканням за 450-500 °С на твердість *HRC* 38-42;

- пружини, ресори; кільця стопорні (сталь 65Г) з загартуванням в маслі від 780-810 °С і відпусканням за 320-380 °С на твердість *HRC* 40-50; леза вирубного верстата гартуванням СВЧ робочих країв на твердість *HRC* 55-62.

Марганцеві сталі часто використовуються для зварних конструкцій. На виготовлення відповідальних зварних конструкцій (несучі бруси, підйомні стріли і т. д.) йдуть низковуглецеві марганцеві сталі 09Г2, 10Г2, 15Г, що мають гарну зварюваність ($\sigma_{екв} < 0,45$). Сталі марок 20Г, 25Г відносяться до задовільно зварювальних і застосовуються для маловідповідальних і слабо навантажених вузлів.

Крем'янисті сталі. У машинобудуванні набули поширення крем'янисті сталі 55С2, 60С2 і 70С2, що містять 1,5-2,0 % кремнію. У таких концентраціях кремній утворює твердий розчин з залізом, зменшує критичну швидкість загартування і підвищує прогартуваність сталі. Кремній підвищує міцність, твердість, пружність і знижує пластичність сталі.

Багатокомпонентні конструкційні сталі. Введенням в сталь декількох легувальних елементів можна в широких межах варіювати механічні властивості, домагаючись, зокрема, поєднання високих міцності, пластичних і пружних властивостей. Всі легувальні елементи, крім нікелю, підвищують міцність, але знижують в більшості випадків пластичність і в'язкість сталі. Нікель вводиться в сталь переважно для збереження високої ударної в'язкості. Тому нікелевмісні сталі рекомендується застосовувати для роботи в складно напружених умовах.

У машинобудуванні використовують цементовані сталі 12ХНЗМ, 30Х2Н4А для виготовлення шестерень, валів, черв'яків. Цементацию проводять за температури 930-950 °С, загартування – за 830-850 °С (в оливі), відпускання – за 180-200 °С на твердість не нижче HRC 58. Однак хромонікелеві сталі ще чутливіші до відпускнуої крихкості II роду, ніж хромисті сталі. Тому після відпускання їх охолоджують у воді або оливі. Але у великих деталях і цей захід може бути недостатнім через низьку швидкість охолодження серцевини. У цьому випадку необхідним є додаткове введення молібдену або вольфраму, яке різко збільшує прогартованість сталі не тільки цементувальність, але й покращення. Тому сталі, наприклад, 18ХНВА і 40ХНМА гартують на повітрі і виготовляють з них великогабаритні деталі, що працюють в умовах динамічних навантажень.

Хромонікелеві цементовані сталі 20ХН, 12ХНЗА, 12ХН2, аналогічно сталям 15Х, 20Х, мають в серцевині бейнітну структуру з високою міцністю (за невеликого перерізу виробу) та приймається для деталей, що працюють на знос за підвищених навантажень (втулки, валики, осі, шестерні, кулачкові муфти та ін.). Проте всі сталі, що містять нікель, схильні до утворення карбідної сітки, погано обробляються і мають у структурі залишковий аустеніт. Але часто нікель замінюють марганцем з добавками титану (0,05-0,12%). Титан сприяє отриманню дрібнозернистої будови і робить сталь технологічною. Такі сталі – 18ХГТ, 20ХГР, 30ХГТ – досить поширені.

Механічні властивості всіх зазначених типів цементованих сталей (12ХНЗА, 18 НВА, 18ХГТ) близькі за своїми значеннями: $\sigma_B=1000$ МПа; $\sigma_T=800$ МПа; $\psi \approx 50\%$; $\delta \approx 10\%$; $KC \approx 850$ кДж/м². Тому в процесі виготовлення складних деталей з технологічного погляду перевага надається сталі 18ХГТ перед сталлю 12ХНЗА, наприклад, для хрестовин карданних сполук (цементация на глибину 0,8-1,4 мм з загартуванням і відпусканням на твердість HRC 58-65).

Цементовані безнікелеві сталі 18ХГТ, 20ХГР, 30ХГТ піддають газовій цементации або нітроцементации за температури 950 °С на глибину 0,7-1,4 мм з об'ємним або індукційним загартуванням від 840-850 °С і відпусканням за температури 180-200 °С. Так, наприклад, вал-шестерня зі сталі 25ХГТ після такого комплексу операцій має твердість поверхні зуба НЯС 57-64, а серцевини – HRC 36-46.

Для цементованих сталей, що містять 3-4% Ni, щоб знизити кількість залишкового аустеніту, залежно від технологічного процесу проводять або високе відпускання після хіміко-термічної обробки, або обробку холодом після гарту.

Низьколеговані цементовані сталі часто застосовують для виготовлення відповідальних і важконавантажених зварних конструкцій і вузлів:

- 10Г2Б, 12Г2Б, 16Г2Б, 09Г2С, 09Г2ДТ, 12ГС – для зварних конструкцій машин взамін сталей Ст 3 і Ст 5;

- 17ХГ2САФР, 18Г2АФпс – рами, платформи, причепи, тяги, стійки, що сприймають високі напруги за циклічного і динамічного навантаження, особливо за знижених температур.

Всі розглянуті вище цементовані сталі мають твердість серцевини в межах HRC 35-45.

З поліпшених багатокомпонентних конструкційних сталей в машинобудуванні використовуються 40ХН, 45ХН (пальці, осі, поводки), 30ХН3А (втулки, фланці, стакани), 40ХНМА (великогабаритні деталі, що працюють з динамічними навантаженнями), 50ХФА і 60С2Н2А (важко навантажені ресори і пружини). Такі сталі піддають гарту за температури від 830-870 °С в маслі або на повітрі (40ХНМА) і відпускають за різних температур залежно від призначення виробу та необхідної твердості.

До цієї групи можна було б віднести і значно поширені сталі 35ХМФА, 38ХМЮА, 18Х2Н4ВА і под., що мають високу механічну міцність і піддаються азотуванню для підвищення зносостійкості і втомної міцності.

Сталі й сплави з особливими властивостями (ДСТУ ГОСТ 5949-75)

Зносостійкі сталі і сплави. Знос деталей машин полягає у зміні форми і маси зчленованих рухомих тіл під дією сил тертя. Він залежить від умов взаємодії тертьових пар і визначається впливом багатьох чинників. Однак характер та інтенсивність руйнування металу визначаються, як правило, домінуючим видом зносу.

За характером взаємодії тертьових тіл в сільськогосподарських машинах можна виділити шість видів тертя:

- ковзання з мастилом, коли механізм зносу полягає в стиранні оксидних плівок і деформації, який спостерігається в підшипникових парах (антифрикційний сплав-сталь);

- кочення з мастилом: контактні і корозійно-механічні пошкодження в кулькових і роликівих підшипниках (сталь по сталі);

- напівсухе тертя: стирання оксидних плівок, передеформування нерівностей в з'єднаннях механізмів машин (сталь по чавуну, сталь по сталі);

- ковзання з абразивним прошарком: в пальцях і траках гусениць (сталь по сталі);

- ковзання в абразивному середовищі (грунті): передеформування, стирання оксидних плівок і викришування під час роботи абразивних верстатів (сталь або твердий сплав по ґрунту);

- різання органічної маси: абразивний знос, стирання оксидних плівок, викришування (сегменти косарок, різальні пари машинок для стрижки газонів).

За будь-якого вигляду тертя механізм зносу визначається властивостями матеріалів тертьових пар та умовами взаємодії. Знаючи механізм зносу, можна робити необхідні висновки про методи зміцнення матеріалу, що підвищують його зносостійкість. Так, формуванні (зминанні) поверхневих шарів металу необхідно підвищувати межу міцності і твердість: у разі викришування – динамічну міцність, опір контактної втоми, у разі стирання окисних плівок – корозійну стійкість сплаву.

Графітізована сталь. Графітізована сталь являє собою заевтектоїдну сталь (1,2–1,7% С) з підвищеним вмістом кремнію (0,7–1,4%) і можливими невеликими добавками легувальних елементів. У литому і при гарячому деформуванні її структура нічим не відрізняється від вуглецевих заевтектоїдних сталей (пластинчастий перліт і карбіди, НВ 350). Після двох стадій графітізації (подібно ковкому чавуну) частина вуглецю з цементиту переходить в структурно вільний стан у вигляді округлих або витягнутих включень графіту.

Графітізована сталь зі структурою ферит+графіт (НВ 100-110) має низький коефіцієнт тертя. Така сталь з високим антифрикційними властивостями застосовується для втулок підшипників ковзання, сепараторів підшипників кочення, поршнів, стаканів гальмівних колодок і под.

Графітізована сталь за своїми ливарними властивостями близька до чавуну. У той самий час вона легко кується і прокочується (за вмісту графіту до 0,5%), добре обробляється різанням, оскільки на поверхні тертя знаходиться вільний графіт. Загартована графітізована сталь не схильна до схоплювання або налипання. Вона відрізняється гарною зносостійкістю і здатністю до поглинання вібрацій.

Цикл термічної обробки, що формує в цій сталі найкращий комплекс механічних властивостей і зносостійкості, складається з графітізувального відпалу на зернистий перліт, гарт з температурою 800–860 °С в маслі або воді і відпускання за температури 150–180 °С на твердість HRC 55.

У графітізовану сталь вводяться легувальні елементи: W і Мо, які сприяють подрібненню зерна; Si, Al, Сі, Ні прискорюють графітізацію; Сг і W підвищують зносостійкість; всі ці елементи, крім Al, підвищують її прогартованість.

Жаростійкі і жароміцні сталі та сплави. Жаростійкі (окалиностійкі) сталі та сплави мають стійкість проти хімічного руйнування поверхні в газових середовищах за температур вище 550 °С і працюють в ненавантаженому або низько навантаженому стані. Призначення і загальну характеристику деяких марок жаростійких сталей і сплавів наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Призначення і загальна характеристика марок жаростійких сталей і сплавів

Марки сталі	Рекомендована максимальна температура застосування протягом тривалого часу (до 1000 год), °С	Призначення
15X5	600-650	Труби
40X9C2 40X10C2M 30X13H7C2		Клапани випуску автомобільних, тракторних та дизельних двигунів, труби рекуператорів, теплообмінники, колосники
15X6C10	–	Труби, деталі котельних установок
15X25T 15X2B	950	Апаратура, деталі, чохла терморпар, електроди іскрових запальних свічок, труби піролізних установок, теплообмінники
08X20H14C2	–	Труби
20X20H14C2 36X18H25C2	1000	Пічні конвеєри, ящик для цементациї

Жароміцність – це здатність сталі або сплаву протистояти механічним навантаженням за високих температур (не змінювати характеристики міцності) тривалий час. Призначення і загальну характеристику деяких марок жароміцних сталей і сплавів наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Призначення і загальна характеристика деяких марок жароміцних сталей і сплавів

Марки сталі	Температура роботи, °С	Температура початку інтенсивного утворення окалини, °С	Призначення
40X9C2 40X10C2M 45X14H14B2M	650 650 650	850 850 850	Клапани автотракторних двигунів, кріпильні деталі
12X18H10T 12X18H12T	600 600	850 850	Деталі вихлопних систем.
12X25H16Г7А ХР38ВТ ХР60Ю ХН75МБТЮ ХН70Ю	950 1100 950 1100	1050-1100 1200 1050 1200	Листові деталі, газопроводи, що працюють за помірних напруг
20X23H18	1000	1050	Деталі установок в хімічній і нафтовій промисловості, газопроводи, камери згорання

До сплавів з особливими фізичними властивостями відносяться сплави високого електроопору (реостатні мідно-нікелеві сплави – манганин і константан; фехраль Х1304 та ніхром Х20Н80 для електронагрівачів), сплави з постійним коефіцієнтом лінійного розширення (інвар Н36), сплави з постійним модулем пружності (елінвар ЕІ25), магніто-тривкі сплави для постійних магнітів (ЕХ, ЕХ5К5, алніко, магніко), магнітом'які сплави для сердечників реле і трансформаторів (технічне залізо, електротехнічна сталь Е1, Е2, трансформаторне залізо Е3, Е4) і немагнітні сплави (аустенітні сталі Г13Л, Х18Н12 та ін.).

Інструментальні леговані сталі. Інструментальні леговані сталі, як і вуглецеві, мають високу твердість (HRC 60-64), міцність і зносостійкість, застосовуються для виготовлення різного інструмента.

Однією з головних характеристик інструментальних сталей є теплостійкість. Стійкість проти відпускання під час нагрівання інструменту в процесі роботи. Всі інструментальні сталі поділяють на три групи: нетеплостійкі (вуглецеві і леговані сталі, що містять до 3-4% легувальних елементів), напівтеплостійкі (що містять понад 0,6–0,7% С і 4–18% Cr) і теплостійкі (високолеговані сталі, що містять Cr, V, Mo, Co), що отримали назву швидкорізальних.

Іншою важливою характеристикою інструментальних сталей є прогартованість. Високолеговані теплостійкі і напівтеплостійкі сталі мають високу прогартованість.

Для інструменту, що потребує підвищеної в'язкості, наприклад, для штампів гарячого деформування, застосовують доєвтектоїдні сталі, які після гарту на мартенсит піддаються відпусканню за більш високої температури для отримання структури троститу і навіть сорбіту. Зносостійкість і твердість цих сталей нижче, ніж заєвтектоїдних.

Леговані інструментальні сталі Х, 9Х, 9ХС, 6ХВГ і т. д. маркують цифрою, що показує середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка, якщо його вміст менше 1%. Якщо вміст вуглецю ~ 1%, то цифра частіше відсутня. Букви означають легувальні елементи, а наступні за ними цифри – вміст (у цілих відсотках) відповідного легувального елемента.

Швидкорізальні сталі маркують буквою Р. Наступна за нею цифра вказує середній вміст головного легувального елемента швидкорізальної сталі – вольфраму (у відсотках). Середній вміст ванадію в сталі позначають цифрою, що проставляється за літерою Ф, кобальту – цифрою за буквою К і т. д. Середній вміст хрому в більшості швидкорізальних сталей становить 4% і тому в позначенні марки сталі не вказується.

Стандарт встановлює дві групи інструментальних легованих сталей:

1. Сталі для різального і вимірювального інструмента:
 - 1) неглибокої прогартованості – 7ХФ; 9ХФ; 11ХФ; 13Х; ХВ та ін.;
 - 2) глибокої прогартованості – Х; 9ХС; ХВГ; 9Х5Ф; 9Х5ВФ.
2. Сталі для штампового інструменту:

1) для деформування в холодному стані – 9Х; Х6ВФ; Х12; Х12М; Х12Ф1; Х12ВМ та ін.;

2) для деформування в гарячому стані – 4Х8В2; 7Х3; 8Х3; 5ХНМ та ін.;

3) для ударного інструменту – 4ХС; 6ХС; 5ХВ2С; 6ХВ2С; 6ХВНГ та ін.

У таблицях 1.9, 1.10 наведено сфери застосування та значення твердості найвикористовуваніших інструментальних легованих сталей, відповідно.

Таблиця 1.9 – Інструментальні леговані сталі

Марки сталі	Призначення
7ХФ	Для рамних, круглих і стрічкових пилок з плющенням й розведеними зубами, для деревообробних інструментів (сокири, долота), а також для інструментів, що працюють з ударними навантаженнями (зубила, пуансони)
9ХФ	Для пасових, стрічкових, круглих пил, для ножів під час холодного різання металу, для обрізних матриць і пуансонів під час холодного обрізування задирок, для кернів
11ХФ	Для мітчиків та іншого різального інструменту діаметром до 30 мм, гартувати з охолодженням в гарячих середовищах
13Х	Для бритвених ножів і лез, гострого хірургічного інструменту, шаберів, гравіювального інструменту
ХВ	Для різців і фрез під час обробки з невеликою швидкістю різання твердих матеріалів, для гравірувальних різців у випадку дуже напруженої роботи
Х	Для зубил, застосовуваних під час насичення напилків, для дуже твердих кулачків ексцентриків і пальців, для гладких циліндричних калібрів та каліберних кілець штемпелів, для токарних, стругальних і довбальних різців в лекальних та ремонтних майстернях
9ХС	Для свердел, розгорток, мітчиків, плашок, гребінок, фрез, машинних штемпелів, клейм для холодних робіт
ХВГ	Для вимірювальних та різальних інструментів, для яких підвищене жолоблення під час загартування особливо неприпустимо, для різьбових калібрів, протяжок, довгих мітчиків та розгорток, плашок та інших видів спеціального інструменту
9Х5Ф 9Х5ВФ	Для ножів, застосовуваних для фрезерування деревини, стругальних пил та інших деревообробних інструментів подібного типу
9Х	Для валків холодної прокатки, пробійників холодновисаджувальних матриць і пуансонів, для деревообробного інструменту

Продовження таблиці 1.9

X6ВФ	Для різьбонакатного інструменту (роликів і плашок), деревообробних інструментів, ручних ножовкових полотен, бритв, матриць, пуансонів, накатників та інших інструментів, призначених для холодної деформації
X12	Для холодних штампів високої стійкості проти стирання (переважно з робочою частиною округлої форми), що не піддаються сильним ударам і поштовхам, для волочильних дощок волок для калібрування пруткового металу під накатку різьблення, згинальних і формовочних штампів, складних секцій кузовних штампів, які під час загартування не мають піддаватися значним об'ємним змінам і викривленням, для матриць і пуансонів вирубних і просічних штампів
X12М X12Ф1 X12ВМ	Те саме, що для сталі марок X12, але коли потрібна велика в'язкість, для профіловочних роликів складних форм, складних отворопрошивних матриць під час формування листового металу, еталонних шестерень, накатних плашок, волок, для матриць і пуансонів вирубних та просічних штампів (зокрема суміщених і послідовних) зі складною конфігурацією робочих частин
4X8В2	Для матриць і пуансонів, що працюють у важких умовах нагріву, для пресформ, застосовуваних в процесі формування виробів з пластмас, для пресформ кольорового лиття під тиском
7X38X3	Для матриць під час гарячої висадки металевих машинних частин та болтів на пресах і горизонтально ковочних машинах зі змінними робочими вставками, для формувальних та прошивних пуансонів під час гарячого гнуття і обрізки, для холодних штампів

Таблиця 1.10 – Значення твердості найчастіше вживаних інструментальних легованих сталей після термообробки

Марки сталі	Температура гартування		Твердість за Роквеллом Після закалювання і низького відпуску, <i>HRC</i>
	°C	охладження	
7XФ	820-840	Олива	58
	800-830	Вода	58
9XФ	850-830	Олива	60
	820-840	Вода	60
11X	810-830	Олива	62
13X	780-810	Вода	64
XВ4	800-820	Вода	65

Продовження таблиці 1.10

X	840-860	Олива	62
9XC	840-860	Олива	62
XBG	830-850	Олива	62
9X5 Ф	950-1000	Олива	59
9X5BФ	950-1000	Олива	59
9X	820-850	Олива	62
X6BФ	980-1000	Олива	61
X12	950-1000	Олива	58
X12M	950-1000	Олива	58
X12Ф1	1050-1100	Олива	58
4X8B2	1025-1075	Олива	45
7X3	850-880	Олива	54
8X3	850-880	Олива	55
5XHM	830-860	Олива	47
4X5B2ФC	1030-1050	Повітря	50
4XC	880-900	Олива	47
6XC	840-860	Олива	56
8XBG	850-900	Олива	57
5XB2C	860-900	Вода	53
6XB2C	860-900	Олива	57

Швидкорізальні інструментальні сталі призначені переважно для виготовлення різальних інструментів, що працюють за температур 560–725 °С, містять 6-18% W, 3-4% Cr, 1-3% V та інші елементи. Марки швидкорізальних сталей, хімічний склад і технічні вимоги встановлено ДСТУ ГОСТ 19265-73 (таблиці 1.11).

За ТУ 14-1-2804-79 і ТУ 12-2998-80 поставляються порошкові швидкорізальні сталі марок Р6М5К5-МП і Р6М5Ф3-МП для виготовлення великогабаритного різального інструменту складної форми.

Швидкорізальні сталі у першій колонці таблиці 1.11 – помірної (нормальної) теплостійкості (615–625 °С), у другій і третій колонці – підвищеної теплостійкості (625–650 °С), високої теплостійкості (700-725 °С) – у четвертій колонці. Для обробки конструкційних сталей з твердістю до 220-230 НВ використовують швидкорізальні сталі помірної теплостійкості, а для різання конструкційних сталей з високою твердістю до 450 НВ аустенітних жароміцних і корозійностійких сталей застосовують швидкорізальні сталі підвищеної та високої теплостійкості.

Швидкорізальні сталі В3М12К23, В11М7К23 і т. д., розташовані в 4-й колонці табл. 1.11, мають інтерметалідне зміцнення і застосовують їх для різання титанових сплавів та інших важкооброблюваних матеріалів.

Таким чином, швидкорізальні сталі призначені для виготовлення різального інструменту (відрізні, різьбові, розточувальні, фасонні, стругальні і довбальні різці, свердла, мітчики, плашки, різні фрези, довбачі, шабери, пилки машинні та ручні для обробки деревини, ножівкові полотна, напилки та ін.), підшипників кочення, деталей дизельної паливної апаратури, важконавантажених штампів холодного деформування та інших деталей, що працюють за температур до 615-725 °С, що значно вище, ніж для інших інструментальних сталей.

Таблиця 1.11 – Теплостійкість швидкорізальних сталей

Нормальні теплостійкість	Підвищена теплостійкість		Висока теплостійкість
Р6М3	Р9Ф5	10Р8М3	В3М12К23
Р6М5	Р9К5	Р12Ф3	В11М7К23
Р8М3	Р9К10	Р12Ф4К5	В18М4К25
Р9	Р10К5Ф5	Р8М3К6С	В18М7К25
Р12	Р14Ф4	Р9М4К8Ф	3В20К16ХФ
Р18	Р18Ф2К5	Р12М3А2К8	25В20К25ХФ

ПРОТОКОЛ

Назва деталі (марка сталі)	Твердість	Режим термообробки				
		Відпал		Гартування		Відпуск
		$t_{нагріву},$ °С	Умови охолодження	$t_{нагріву},$ °С	Охолоджуючк середовище	$t_{нагріву},$ °С

Хід роботи

1. Відповідно до індивідуального завдання, користуючись рекомендаціями , вибрати марку сталі для деталей.

2. Відповідно до заданої твердості, користуючись рекомендаціями цих методичних вказівок і таблицями, для кожної деталі призначити режим термічної обробки. Всі дані внести в протокол.

3. Скласти звіт по роботі згідно з планом звіту:

План

1. Мета роботи.
2. Загальні відомості про вуглецеві і леговані сталі.
3. Протокол з результатами індивідуального завдання.
4. Висновки.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

№ варіанта	Ч.ч.	Найменування деталі (додаткові вимоги при експлуатації чи до матеріалу деталі)	Твердість HRC, (HB)	№ варіанта	№ п/п	Найменування деталі (додаткові вимоги при експлуатації чи до матеріалу деталі)	Твердість HRC, (HB)
1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	Палець поршневий	HRC 55-60	2	1	Вісь	HB 260-300
	2	Ресора	HRC 40-45		2	Кільце стопорне	HRC 35-40
	3	Шабер (вуглецева сталь)	HRC 61-63		3	Матриця (легована сталь)	HRC 58-62
	4	Матриця (легована сталь)	HRC 50-55		4	Мітчик (легована сталь)	HRC 58-62
	5	Внутрішнє кільце кулькового підшипника	HRC 58-62		5	Внутрішнє кільце роликового підшипника	HRC 58-62
3	1	Піввісь	HB 300-360	4	1	Шестерня	HRC 45-50
	2	Зубило (вуглецева сталь)	HRC 58-60		2	Ресора	HRC 40-45
	3	Пружина	HRC 40-45		3	Скоба (вуглецева сталь)	HRC 58-62
	4	Свердло (легована сталь)	HRC 58-60		4	Накатна плашка (легована сталь)	HRC 56-58
	5	Ролик підшипника	HRC 58-62		5	Кулька підшипника	HRC 58-62
5	1	Фланець	HRC 30-35	6	1	Втулка	HRC 25-

							30
	2	Леза ножиць для холодного різання металу	HRC 55-57		2	Калібр-скоба (вуглецева сталь)	HRC 58-60
	3	Пружина	HRC 40-45		3	Напилок (вуглецева сталь)	HRC 61-63
	4	Стругальний різець	HRC 56-58		4	Фреза пальцева	HRC 56-58
	5	Зовнішнє кільце голчастого підшипника	HRC 58-62		5	Ніж м'ясорубки	HRC 56-58
7	1	Шатун	HB 200-250	8	1	Болт шатуна	HB 250-300
	2	Пружина клапана	HRC 40-45		2	Ресора	HRC 45-50
	3	Стамеска (вуглецева сталь)	HRC 50-55		3	Пуансон (вуглецева сталь)	HRC 55-58
	4	Прошивний пуансон (легована сталь)	HRC 54-55		4	Матриця (легована сталь)	HRC 56-58
	5	Корпус гідро-розподільника	HRC 58-62		5	Внутрішнє кільце кулькового підшипника	HRC 58-62
9	1	Шток	HB 300-350	10	1	Важіль	HRC 35-40
	2	Пружина пласка	HRC 45-50		2	Пружина натяжна	HRC 40-45
	3	Пилка (вуглецева сталь)	HRC 48-52		3	Калібр (вуглецева сталь)	HRC 60-62
	4	Фреза (легована сталь)	HRC 58-62		4	Свердло (легована сталь)	HRC 58-60
	5	Зовнішнє кільце кулькового підшипника	HRC 58-62		5	Кулька кулькового підшипника	HRC 58-62
11	1	Зубчасте колесо	HRC 50-55	12	1	Болт шатуна	HB 250-300

	2	Ресора	HRC 40-45		2	Ресора	HRC 45-50
	3	Штамп вирубний (вуглецева сталь)	HRC 54-58		3	Пуансон (вуглецева сталь)	HRC 55-58
	4	Калібр (легована сталь)	HRC 58-62		4	Матриця (легована сталь)	HRC 56-58
	5	Зовнішнє кільце кулькового підшипника	HRC 58-62		5	Внутрішнє кільце шарового підшипника	HRC 58-62
13	1	Шпindelь	HВ 350-00	14	1	Вилка	HRC 35-45
	2	Пружина	HRC 40-45		2	Ресора	HRC 38-42
	3	Пробійник (вуглецева сталь)	HRC 50-55		3	Зенкер (вуглецева сталь)	HRC 61-63
	4	Ніж гільйотини (легована сталь)	HRC 58-60		4	Згинальний штамп (легована сталь)	HRC 56-58
	5	Зовнішнє кільце роликів підшипника	HRC 58-62		5	Ролик підшипника	HRC 58-62
15	1	Дискова зірочка	HRC 30-40	16	1	Шестерня	HRC 45-50
	2	Кільце стопорне	HRC 40-45		2	Пружина	HRC 40-45
	3	Ексцентрик (вуглецева сталь)	HRC 58-62		3	Розгортка (вуглецева сталь)	HRC 58-60
	4	Фреза по дереву (легована сталь)	HRC 58-62		4	Плашка (легована сталь)	HRC 58-62
	5	Сепаратор підшипника	HВ 220-280		5	Зовнішнє кільце шарико-підшипника	HRC 58-62
17	1	Плунжер гідравлічного насосу	HRC 42-45	18	1	Шестерня бетономішалки	HRC -50
	2	Пружина ударного пристрою	HRC 42-45		2	Вал гідро-розподільника	HRC 45-48
	3	Сверло по дереву	HRC 35-40		3	Ключ гайковий	HRC 32-25
	4	Зубчасте колесо	HВ 250-300		4	Пружина ударно-вібраційного механізму	HRC 38-42
	5	Ніж харчовий	HВ 200-250		5	Диск колісний	HВ 200-250

19	1	Корпус підшипника	HRC 25-30	20	1	Вал рульової колонки	HB 200-250
	2	Шабер	HRC 58-60		2	Зірочка приводна	HRC 40-45
	3	Кільцеве свердло	HRC 61-63		3	Шестерня дреля	HRC 50-55
	4	Ударник	HRC 56-58		4	Прижим інструментального патрона	HRC 54-55
	5	Вал трансмісійний	HB 320		5	Золотник гідророзподільника	HRC 58-62
21	1	Зуб ковша ескаватора	HRC 54-55	22	1	Ківш ескаватора	HRC 40-45
	2	Плунжер гідроцилінда	HRC 50-55		2	Матриця (інструментальна сталь)	HRC 56-58
	3	Штанга штовхача газорозподільного механізму	HRC 40-45		3	Пружина (робота за температури 350-400 °C)	HRC 50-55
	4	Гвинт регулювальний	HB 250-300		4	Гайка ходового гвинта токарного верстата	HB 320
	5	Вал карданний	HB 300-320		5	Прохідник гідравлічний	HB 250
23	1	Палець фіксації ковша ескаватора	HRC 40-45	24	1	Корпус підшипника ескаваторного ковша	HB 300-320
	2	Пуансон штампа	HRC 55-58		2	Шків	HRC 36-40
	3	Гвинт ходового гвинта токарного верстата	HRC 30-35		3	Пружина підвіски автомобіля	HRC 40-45
	4	Болт високоміцний	HRC 30-35		4	Вал приводний легкового авто	HRC 35-40
	5	Фланець посудини високого тиску	HB 200-250		5	Корпус насоса високого тиску	HRC 54-55

Практична робота № 2

ХІМІКО-ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: вивчити основні методи хіміко-термічного оброблення та обладнання для його здійснення; ознайомитись зі змінами в структурі та властивостями сталі після цементації.

Студент має знати: фізичну суть методів хіміко-термічного оброблення;

вміти: вибрати матеріал і спосіб поверхневого зміцнення деталі.

Загальні відомості

Більшість деталей сучасних машин працює під дією статичних і динамічних навантажень за звичайних і підвищених температур, що викликають швидке зношування, корозію, руйнування поверхневих шарів деталей. Роботоздатність техніки в умовах експлуатації визначають надійність її деталей.

Різного роду осередки руйнування металу деталей (мікротріщини, корозія і т. д.) зароджуються на їх поверхні через термодинамічну нестабільність, зумовлену порушеннями міжатомних зв'язків, наявністю точкових і лінійних дефектів, субмікротріщин, домішок та ін.

У зв'язку з цим виникає необхідність зміни стану поверхні металу в напрямку збільшення її стабільності і підвищення стійкості до руйнувань. Це досягається різними методами зміцнення поверхні деталі як під час її виробництва, так і під час відновлення. Класифікація методів зміцнення поверхні деталей машин передбачає дві принципові групи методів зміцнення (відновлення):

1) зміцнення без зміни хімічного складу поверхні, але зі зміною її структури;

2) зміцнення зі зміною хімічного складу поверхні і її структури.

Для обох груп зміцнення характерним є зміна стану поверхні, який є особливо актуальним для методів другої групи.

Зміцнення методами першої групи досягається поверхневим гартуванням, поверхневою пластичною деформацією і под.

Друга група зміцнення здійснюється різними методами хіміко-термічного оброблення (ХТО) і методами накладення захисних шарів. Ці методи здійснюються численними видами технологічних процесів (плазмове зміцнення, лазерне, іонно-плазмове, електроіскрове зміцнення та ін.).

Для зміцнення методами ХТО характерним є вплив теплової енергії на поверхню металу зміцнювальної речовини в молекулярно-атомарному стані, за якого дифузійний процес відбувається в межах всієї товщини захисного шару. Завдяки дифузійній природі захисного шару найбільш повно реалізуються міжатомні зв'язки. Внаслідок чого адгезійний зв'язок шару з

поверхнею виявляється дуже високим і сприяє забезпеченню надійності захисного шару.

У разі накладення захисних шарів розмір деталі збільшується на товщину нанесеного шару, що робить цей спосіб зміцнення особливо ефективним під час відновлення зношених або пошкоджених корозією поверхонь. За ХТО зміна розмірів менш помітна. Вона визначається різницею питомих обсягів фаз, що становлять дифузний шар і металеву основу деталі.

Тому метод ХТО потрібно рекомендувати, переважно, для зміцнення деталей під час їх виробництва, а для відновлення – тільки на проміжних (профілактичних) стадіях ремонту.

У практиці нині (з методів зміцнення без зміни хімічного складу поверхні, але зі зміною її структури) найбільш поширені методи поверхневого гартування і лазерного оброблення, а із способів зміцнення зі зміною хімічного складу поверхні і її структури – методи ХТО.

Вибір методу поверхневого зміцнення деталі залежить від марки вибраної сталі, умов її експлуатації, форми, розмірів і под.

Хіміко-термічне оброблення сталі

Хіміко-термічне оброблення металів – це оброблення металів нагріванням в хімічно активному середовищі. Під час таких процесів змінюється хімічний склад, структура і властивості поверхневого шару металу. Щоб поліпшити властивості серцевини і поверхневого шару, після або до, більшість процесів хіміко-термічного оброблення проводять термічне оброблення. ХТО залежно від особливостей дифундувального елемента, впливає на різні властивості металу – твердість, зносостійкість, втомну міцність, ерозійну стійкість, червоностійкість, може запобігати схоплюванню металів, покращувати протизадирні властивості, підвищувати опір поверхні металу впливу зовнішніх агресивних середовищ за нормальної і підвищеної температур.

ХТО полягає в насиченні поверхневого шару сталі різними елементами (С, N, Al, Cr, Si, В та ін.) шляхом їх дифузії в атомарному стані з насиченням середовища (твердого, газового, рідкого, газоподібного) за високої температури.

Фізичні основи хіміко-термічного оброблення полягають в:

- 1) утворенні активних атомів насичуваного елемента (дисоціація);
- 2) поглинання (розчинення) атомів насичуваного елемента поверхнею металу (адсорбція);
- 3) проникнення насичуваного елемента вглиб (дифузія).

Як результат – утворюється дифузійний шар, на поверхні якого концентрація дифундувального елемента найбільша.

Залежно від насичуваного елемента, існують такі різновиди хіміко-термічного оброблення:

- а) цементация – насичення сталі вуглецем;
- б) азотування – насичення сталі азотом;
- в) ціанування – одночасне насичення сталі вуглецем і азотом;
- г) борування – насичення сталі бором і т. д.

Насичення сталі металами називається дифузійною металізацією. Залежно від насичувального металу існують такі процеси:

- алютування (насичення алюмінієм);
- хромування (насичення хромом);
- силіціювання (насичення кремнієм) і т. д.

Практичне значення для машинобудування мають технологічні процеси цементации, азотування, ціанування, борування, алютування, дифузійного хромування. Але найбільш широко використовується цементация внаслідок економічності, та недефіцитності насичувального середовища.

Цементация

Цементация полягає в насиченні сталі вуглецем для надання деталям машин високої твердості і зносостійкості поверхні за умови збереження в'язкої і пластичної серцевини. Остаточних властивостей цементовані вироби набувають після гарту і низького відпуску. Цементуються деталі, виготовлені з маловуглецевої (негартованої) сталі з вмістом вуглецю 0,1-0,3%. Суть цементации – в створенні поверхневого шару з високовуглецевої сталі. Цементации піддаються деталі, що працюють в умовах контактного зносу і сприймають знакозмінні навантаження: середньорозмірні зубчасті колеса, втулки, поршневі пальці, кулачки, вали коробок передач автомобілів, окремі деталі рульового управління і т. д.

Залежно від стану насичуваного середовища, званого «карбюризатором», розрізняють цементацию в твердому, газовому і рідкому карбюризаторах. Температура цементации змінюється в інтервалі 880–1000 °С.

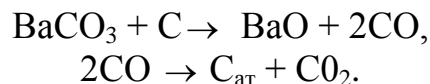
Цементация в твердому карбюризаторі. Цементовані деталі разом з карбюризатором завантажують в ящики, герметично упаковують, витримують за 930 °С. Швидкість насичення 0,1–0,2 мм/год. Після цементации ящики охолоджують на повітрі до 400–500 °С, а потім розкривають. Як карбюризатор застосовують суміш деревного вугілля або кам'яновугільного напівкоксу з вуглекислим барієм і кальцієм. Для контролю протікання процесу і товщини цементованого шару в ящик закладають свідки-зразки діаметром 10-15 мм з тієї ж марки сталі, які періодично виймають, і визначають глибину шару. Широко застосовують карбюризатор, що складається з деревного вугілля, 20-25% BaCO_3 і 3,5% CaCO_3 . Робоча суміш,

що застосовується для цементації, складається з 20-25% свіжого карбюризатора і 80-75% відпрацьованого.

У цементаційному ящику є повітря, кисень якого за високої температури взаємодіє з вуглецем карбюризатора, утворюючи оксид вуглецю. Оксид вуглецю в присутності заліза дисоціює за рівнянням:



Механізм дії активатора зводиться до збільшення кількості в ящику CO:



Істотним недоліком цементації в твердому карбюризаторі є велика тривалість процесу, неможливість регулювання вмісту вуглецю в шарі, необхідність прогріву малотеплопровідних мас карбюризатора, висока вартість підготовчих операцій (ручне укладення деталей в ящики, приготування карбюризатора і т. д.). Однак універсальність і простота цементації в твердому карбюризаторі обумовлює застосування її в дрібносерійному і одиничному виробництві.

Газова цементація. Цей процес здійснюють нагріванням виробу в середовищі газів, що містять вуглець. Газова цементація має ряд переваг порівняно з цементацією в твердому карбюризаторі. В цьому випадку можна отримати задану концентрацію вуглецю в шарі, швидкість процесу становить $\sim 0,2$ мм/год, що скорочує тривалість процесу. Водночас забезпечується можливість повної механізації і автоматизації процесів, включно й наступну термічну обробку деталей.

У випадку газової цементації як карбюризатор використовують природні гази, що складаються з метану (CH₄) і пропанбутанових сумішей. Також застосовують рідкі вуглеводні (гас, синтин, спирти та ін.). Краплями подаються в піч. Вуглеводневі сполуки за високої температури розкладаються з утворенням активного вуглецю і водню.

У серійному виробництві газову цементацію зазвичай проводять в шахтних печах. У великосерійному і масовому виробництвах газову цементацію проводять в безмуфельних печах безперервної дії.

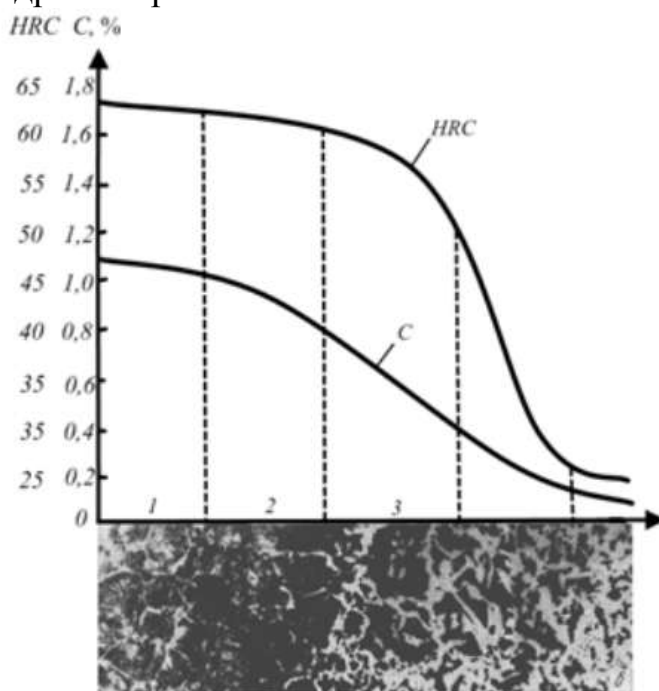
Розроблено нові методи цементації: високотемпературна вакуумна цементація; цементація в тліючому розряді (іонна цементація); цементація в киплячому шарі; цементація в розплавлених солях (рідинна цементація); цементація пастами. У той самий час найпоширенішим промисловим методом є газова цементація.

Структура цементаційного шару. Цементаційний шар має змінну концентрацію вуглецю по товщині, що зменшується від поверхні до серцевини деталі. Розрізняють три основні зони (рис. 2.1).

За глибину цементацийна шару беруть суму заевтектоїдної, евтектоїдної і половину доевтектоїдної зони, де кількість фериту і перліту становить по 50%.

Термічне оброблення цементованої сталі і властивості зміцнених деталей. Остаточні властивості сталевих деталей досягаються внаслідок термічного оброблення, виконуваного після цементації. Цією обробкою можна виправити структуру і, подрібнити зерно серцевини та цементованого шару, отримати високу твердість у поверхневому шарі (56-60 HRC) і гарні механічні властивості серцевини (26-40 HRC): усунути карбідну сітку в цементованому шарі, яка може виникнути за насичення його вуглецем до заевтектоїдної концентрації.

У більшості випадків, особливо за обробки спадково дрібнозернистих сталей, застосовують загартування вище точки A_{C3} (серцевини) за 820-850 °С. Це забезпечує подрібнення зерна і повне загартування цементованого шару та часткову перекристалізацію та подрібнення зерна серцевини. Після газової цементації часто застосовують загартування без повторного нагріву, а безпосередньо з цементованої печі після попереднього охолодження виробів до 840-860 °С, для зменшення викривлення оброблюваних виробів. Така обробка не виправляє структури цементованого шару і серцевини, тому безпосередньо загартування застосовують тільки в тому випадку, коли вироби виготовлені з дрібнозернистої сталі.



1 – заевтектоїдна зона, що складається з перліту і цементитної сітки; 2 – евтектоїдна зона, що являє собою перліт; 3 – доевтектоїдна зона, в якій із наближенням до серцевини зменшується кількість вуглецю, перліту, а кількість фериту зростає

Рисунок 2.1– Структура сталі після цементації

Для зменшення деформації цементованих виробів виконують також ступінчасте гартування в гарячому маслі (160-180 °С).

Внаслідок термічного оброблення поверхневий шар набуває структури дрібноголкового мартенситу та ізольованих ділянок залишкового аустеніту (не більше 15-20%). Велике значення має прогартуваність, під якою розуміють здатність сталі утворювати структуру мартенситу з *HRC* 59-62 на заданій відстані від поверхні (товщина шару до 0,8-1,1 мм). Карбіди зменшують прогартуваність, відіграючи роль готових центрів розпаду аустеніту, знижуючи його стійкість.

Заключною операцією термічного оброблення сталевих деталей після цементації у всіх випадках є низьке відпускання за 160–180 °С, що переводить мартенсит гартування в поверхневому шарі в відпущений мартенсит, що знімає напруження.

Вуглецеві якісні сталі, містять менше 0,25% С (сталі 10, 15, 20, 25), застосовуються для виготовлення цементованих деталей, від яких потрібна висока поверхнева твердість і допустима невисока міцність серцевини, та які використовуються порівняно рідко.

Хромисті сталі (15Х, 20Х, 20ХФ) застосовуються для невеликих деталей, що працюють на знос в умовах тертя, за середніх питомих тисків і швидкостей.

Хромомарганцеві сталі (18ХГТ, 25ХГТ, 20ХГР) додатково леговані Ті, Мп, В – застосовуються для виготовлення відповідальних деталей, що працюють на великих швидкостях, середніх і високих питомих тисках, за наявності ударних навантажень. Сталі схильні до внутрішнього окислення під час газової цементації, що знижує прогартуваність шару і межу витривалості. Марганець підвищує прогартуваність цементованого шару та усуває шкідливий вплив внутрішнього окислення.

Азотування

Азотуванням називають процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом. Азотування проводять за температур 500–1200 °С. Твердість азотованого шару помітно вища, аніж твердість цементованого, і зберігається під час нагрівання до високих температур (450-500 °С), тоді як твердість цементованого шару, що має мартенситну структуру, зберігається тільки до 200–225 °С. Внаслідок азотування поверхня стає стійкою до задирок і набуває високої опірності до зносу, високих меж витривалості і кавітаційної стійкості, гарної опірності корозії в таких середовищах, як атмосфера, прісна вода, пара тощо.

Залежно від температури азотування підрозділяється на низькотемпературне (до 600 °С) і високотемпературне (600-1200 °С). Низькотемпературне азотування проводять в різних насичуваних середовищах. Газове азотування проводять переважно в дисоційованому аміаку NH₃ (25-60%). На оброблюваність поверхні відбувається дисоціація

NH_3 з утворенням іонів азоту, які адсорбуються поверхнею і дифундують вглиб металу. У разі рідкого азотування використовують розплави ціанід-ціанатних солей.

Твердість азотованого шару становить HV 4500-5500 МПа. Тому азотуванню піддають середньовуглецеві сталі, леговані Cr, Mo, V, Al, які набувають високої твердості і зносостійкості під час азотування. У легованій сталі на поверхні утворюються леговані фази, що утворюють нітриди. Такі елементи, як Cr, Mo, V та інші водні розчини феритів (підшар), підвищують розчинність азоту в α -фазі і утворюють спеціальні нітриди. Комплексне легування хромом, алюмінієм, молібденом дозволяє підвищити твердість до 12 000 МПа. Під час низькотемпературного азотування товщина азотованого шару зазвичай 100–400 мкм, а час проведення процесу 20–60 год.

Під час високотемпературного азотування товщина шару зазвичай 250–400 мкм, а час проведення процесу 6–10 год. Залежно від марки азотованої сталі та умов експлуатації деталі, продукції, практикується термооброблення до або після азотування. Азотований шар добре піддається шліфуванню і поліруванню.

Сталі для азотування. Для деталей, що працюють в умовах тертя ковзання, схильних до викривлення (деформацій) і сприймають невеликі контактні навантаження, для поверхневого зміцнення рекомендується азотування. Азотуванню можуть піддаватися практично всі леговані сталі. Азотування виробів є одним з основних методів підвищення межі витривалості. Вплив азотування тим сильніший, чим менший поперечний переріз деталі і більше конструктивних або технологічних концентраторів напружень.

Стискальні залишкові напруги на поверхні азотованого шару досягають 600–800 МПа. Найвищого значення σ_1 досягає за порівняно невеликої товщини азотованого шару. У випадку подальшого збільшення товщини шару межа витривалості або не змінюється, або зменшується (на 10–20%) внаслідок зниженого рівня напружень стиску в шарі. Руйнування азотованих деталей зазвичай починається під шаром. Чим вища температура азотування, тим нижче абсолютне значення межі витривалості. Це пов'язано із знеміцненням серцевини і зменшенням залишкових напружень стиску в зміцненому шарі.

Контактна втомна міцність у конструкційних сталей після азотування нижча, ніж у цементованих, але вища, ніж у сталі, що пройшла поверхневе загартування під час індукційного нагрівання. За підвищених контактних напруг ефективна товщина азотованого шару (до HV 500) має бути не менше 0,45–0,5 мм. Азотування підвищує опір сталі до ерозії і фретинг-корозії. Твердість азотованого шару (на поверхні), залежно від складу сталі і режиму азотування, може коливатися в широких межах від HV 600 до 1200.

Зносостійкість азотованої сталі в 2–4 рази вище зносостійкості цементованої сталі. Для деталей, експлуатаційна надійність яких

визначається поверхневою твердістю і зносостійкістю, застосовують сталь 38X2MЮА, що забезпечує після азотування за 500–520 °С найбільшу твердість на поверхні (HV 1100-1200). Однак у цієї сталі є ряд недоліків. Зокрема, азотований шар на сталі 38X2MЮА нерідко крихкий за рахунок утворення на поверхні і по межах вихідних зерен легованої алюмінієм γ -фази $(Fe, Al)_4N$. Нині для деталей, що піддаються азотуванню, частіше застосовують сталі, що не містять алюмінію 20X13, 30X13, 30X3МФ1, 16X3НВФМВ, 40ХН2МА, 25X3НЗМФ і ін.

Азотування широко застосовують для мало- і середньонавантажених зубчастих коліс складної конфігурації, наприклад, з внутрішніми зубцями та т. п., шліфування яких важко здійснити. В цьому випадку зубчасті колеса виготовляють зі сталі 40Х (конічні) або 40ХФА (циліндричні). Після азотування на глибину 0,1–0,13 мм, внаслідок якого забезпечується мінімальна деформація, проводиться тільки притирання або хонінгування зубів.

Нітроцементация

Нітроцементацияю називають процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем і азотом за температури 840–860 °С в газовому середовищі, що складається з науглецьовувального газу та аміаку. Тривалість процесу 4–10 год. Установлено, що за одночасної дифузії вуглецю і азоту прискорюється дифузія вуглецю. Процес проводять за більш низької температури (840–860 °С замість 910–930 °С під час цементации). Після нітроцементации йде гартування безпосередньо з печі, рідше, після повторного нагріву, застосовують і ступінчасте гартування; після гартування проводять відпускання за 160–180 °С. Структура обробленого шару після нітроцементации, як і після цементации, складається з дрібнокристалічного мартенситу і залишкового аустеніту, але в ній присутня невелика кількість дисперсних, рівномірно розподілених карбонітридів. Азоту в шарі має бути 0,10–0,15%, а вуглецю 1,0–1,65%. Твердість шару після гарту і низького відпускання – HRC 58–60. Нітроцементации зазвичай піддають деталі складної конфігурації, схильні до жолоблення в великосерійному і масовому виробництві.

Борувания

Борувания – насичення поверхневих шарів металів і сплавів бором, яке проводять переважно з метою підвищення їх поверхневої твердості, зносостійкості, а також корозійної стійкості.

Борований шар складається з двох зон (рис. 2.2): зони боридів хімічних сполук бору і заліза (FeB і Fe_2B) і перехідної зони – твердого розчину бору в залізі. Боридна зона (боридний шар) має характерну голчасту будову. Голки боридів, злипаючись в основі, утворюють суцільний боридний шар.

Легувальні елементи в сталях не утворюють власних боридів, а легують бориди заліза.

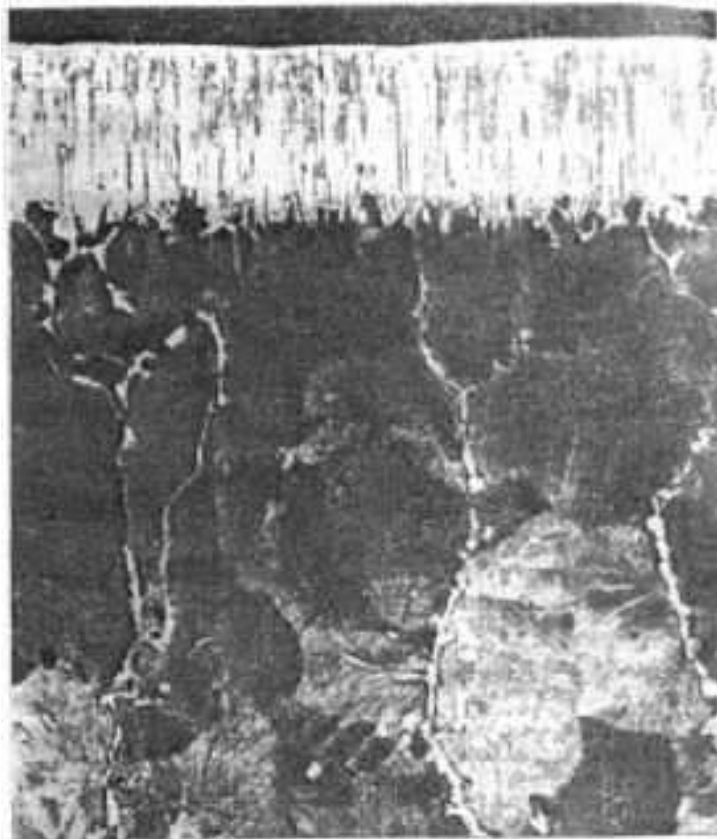


Рисунок 2.2 – Шар бору на поверхні деталі, виготовленої із сталі 20Х

Під боридною зоною розташовується перехідна зона, відрізняючись від серцевини за структурою. Вона складається з твердого розчину бору (вуглецю і легувальних елементів) в залізі. Характерною властивістю боридних шарів є висока твердість. Борид FeB в боридному шарі армко-заліза має твердість $H_{100} = 19500-21\ 000$ МПа, а борид Fe_2B твердість $H_{100} = 13800-14500$ МПа. Висока твердість боридів зберігається до температури $700\ ^\circ C$. Однак боридні шари мають високу крихкість, що може бути причиною сколювання під час видовження або стискання більше 1-2%.

Для захисту сталей від окислення недоцільно застосовувати борування. В цьому відношенні більш ефективні інші способи ХТО (хромування, алітування та ін.). Боровані сталі мають високу корозійну стійкість у водних розчинах соляної, сірчаної, фосфорної кислот.

У розчинах азотної кислоти боридні шари нестійкі і швидко руйнуються. Боровані сталі стійкі в розбавлених водних розчинах плавикової кислоти. За стійкістю в 50% оцтової кислоти боридні шари поступаються тільки хромовим і хромонікелевим покриттям. Борування виконують в порошках, в рідких і газових середовищах. Найбільш перспективні для промислового використання є методи і способи борування: в порошкоподібних сумішах з використанням герметичних контейнерів; в

розплавах солей і оксидів (електролізний і без електролізу); газове; з паст (обмазок).

Перед боруванням поверхню виробів очищають від окалини, іржі, мастила та інших забруднень. Місцевий захист поверхні деталей від насичення бором проводять шляхом нанесення гальванічних покриттів з міді, латуні, бронзи, хрому або шляхом нанесення обмазки на основу оксиду алюмінію.

Під час борування в порошкових сумішах як носій бору найчастіше застосовується технічний карбід бору (B_4C). В порошкових сумішах борування виконують за температури 860-1050 °C та витримки в печі 2-10 годин.

Електролізне борування найчастіше роблять у розплаві бури ($Na_2B_4O_7 \times 10H_2O$) за температури 880–980 °C протягом 2-5 годин. Газове борування здійснюють шляхом розкладання газоподібних з'єднань бору: диборана, трихлористого бору та інших боровмісних газів. Процес газового борування в суміші $B_2H_6 + H_2$ з помітною швидкістю йде, починаючи з 550 °C. Оптимальними вважають температури 800–950 °C.

Борування з обмазок (паст) доцільно застосовувати у разі необхідності зміцнення великогабаритних виробів або для місцевого борування окремих ділянок деталей. Найчастіше як основні складові суміші використовуються $B_2O_3 + Al$. Суміш виготовляється у вигляді пасти, а потім наноситься на деталь і підсушується. Підготовлені таким чином вироби можна нагрівати будь-яким відомим нині способом. Температура нагріву під час борування за допомогою паст 850–1100 °C.

Режим борування призначають, виходячи з необхідної товщини шару. Водночас необхідно пам'ятати, що для кожної групи сталей існує певна максимальна товщина боридного шару, перевищувати яку не рекомендується. Для нелегованих, низько- і середньолегованих маловуглецевих сталей ця товщина становить 0,25-0,30 мм, для нелегованих, низько- і середньолегованих сталей – 0,20-0,25 мм і для високолегованих, низько-, середньо- і високовуглецевих сталей – 0,05-0,10 мм.

Вибір методу борування диктується не стільки вартістю процесу, скільки його технологічністю, умовами виробництва, конфігурацією, розмірами, умовами роботи і можливим ступенем підвищення стійкості зміцнювальних виробів.

Середньо- і важконавантажені деталі після борування піддають термообробці (загартуванню та відпусканню). Загартування бажано виконувати з температури борування або з нижчих температур з попереднім охолодженням. Нагрівання під час термооброблення в пічках з повітряною атмосферою неприпустиме. Під час вибору режимів гартування і відпускання необхідно враховувати таке: небезпека утворення тріщин і відколів збільшується з підвищенням швидкості охолодження, товщини боридних шарів і розмірів виробів; за інших однакових умов кількість дефектів

зменшується в такій послідовності: об'ємне гартування на мартенсит, ізотермічне гартування, гартування струмами високої частоти. Температуру відпуску вибирають залежно від необхідних властивостей основного металу.

Боровані вироби механічному обробленню, як правило, не піддають. Однак, в разі необхідності, їх шліфують. Для шліфування борованих поверхонь доцільно використовувати алмазні або ельборові круги. Допускається також полірування алмазними пастами.

Завдання: Вибрати відповідно до індивідуального завдання спосіб хіміко-термічного оброблення та призначити режим термічного оброблення для заданих деталей.

Індивідуальні завдання

№ варіанта	Найменування деталі (марка сталі)			
1	Палець (3Х13)	Плунжер (40Х13)	Гільза (30Х3МФ)	Плунжер (38Х2МЮА)
2	Шток (40Х13)	Зубчаста муфта (50ХМ)	Ходовий гвинт (40ХН2МА)	Клапан (3Х13)
3	Вісь коромисла (45)	Колінчастий вал (38ХН3ВА)	Голка форсунки (38Х2МЮА)	Колесо зубчасте (40Х)
4	Вал (50Г)	Колесо зубчасте (40ХФА)	Колінчастий вал (45ХФ)	Шток (40Х)
5	Колесо зубчасте (20)	Напрямна (30Х3МФ)	Вал ступінчастий (18ХГТ)	Державка (40ХМЮ)
6	Вал (12ХН3А)	Шестерня (19ХГН)	Вал-шестерня (20ХН3А)	Вал коробки швидкостей (25ХГМ)
7	Шестерня (30ХГТ)	Штовхач (18ХГТ)	Золотник (15Х)	Палець (45)
8	Зубчасте колесо (20ХГНР)	Вал (12ХН4А)	Гільза (20)	Гвинт керування (25ХГТ)
9	Кулачок (20Х2Н4А)	Ротор гідропідсилувача (20ХГНТР)	Вал (45)	Болт (40Х)
10	Кільце (ШХ20СГ)	Важіль (30Х3МФ)	Голка (40ХМЮ)	Ударник (45)
11	Ударник 40ХФА	Шток(ШХ15СГ)	Важіль (20)	Гільза (20Х)

12	Поршень (18ХГТ)	Вісь (25)	Вал-шестерня (16Х3НВФМВ)	Напрямна (20ХФ)
13	Вал (20Х13)	Ударник (ШХ20СГ)	Болт (38ХАМЮ)	Вісь (15)
14	Приводний вал (16Х3НВФМВ)	Штовхач (45)	Голка розпилювача (30Х13)	Гайка приводна (25ХГМ)
15	Черв'ячний вал (15Х)	Гільза (40ХН2МА)	Штовхач (45Х)	Плунжер (20ХН3А)
16	Каток (20ХГСА)	Кулачок (30ХН2ВФА)	Вал (40Г2)	Зубчасте колесо (38Х2МЮА)
17	Важіль (45Г)	Кільце підшипника 20ХСГ	Напрямна (Сталь 45)	Ударник
18	Ролик підшипника (Р6М5)	Штовхач (20Х2Н4А)	Ходовий гвинт (45ХН)	Клапан (18ХГТ)
19	Голка (36Х2Н2МФА)	Гільза (50Х)	Шестерня (35ХГСА)	Палець (47ГТ)
20	Шток 12ДХН1МФЛ	Гвинт керування 20Н2М	Плунжер 30Х3МФ	Вал- шестерня 40Х2Н2МА
21	Пружина вита (60С2А)	Шток (18ХГТ)	Розподільний вал (65Г)	Вісь (20Х)
22	Пружина прорізна (50ХФА)	Корпус гідроапаратури (Сталь 45)	Гільза (40ХФ)	Кільце підшипника (ШХ20СГ)
23	Золотник (16Х3НВФМВ)	Корпус (Сталь 20)	Пружина тарілчаста (60С2А)	Ударник (У10А)
24	Напилок (У13)	Штопорне кільце (45ХН)	Зубчасте колесо (38ХМЮ)	Втулка (Сталь 35)
25	Вал швидкохідний (40Х2Н2МА)	Корпус форсунки (45ХН)	Колінвал (40ХНМА)	Кришка насоса (20Х)

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

ПРОЄКТУВАННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З ДИСКРЕТНИМИ ВОЛОКНАМИ

Мета роботи: вивчити метод вибору матеріалу компонентів, рецептури, розрахункові залежності композиційного матеріалу на прикладі композиту з хаотично орієнтованими дискретними волокнами.

Теоретичні відомості

Розробка виробів з композиційних матеріалів (КМ) пов'язана не тільки з формоутворенням і тепловим обробленням, але і з формуванням його структури та фізико-механічних характеристик, виконуваних на стадії проєктування КМ. Таким чином, створення деталей з КМ – наочний приклад втілення триєдності матеріалу, конструкції і технології, оскільки в процесах проєктування та виготовлення передбачається забезпечення основних властивостей матеріалу виробу. Найбільша ефективність використання КМ досягається під час вирішення завдань зменшення металоємності, виключення теплових операцій (енерговитрат), підвищення характеристик міцності, довговічності і надійності (питомої міцності), зниження ваги конструкцій та підвищення технологічної продуктивності в поєднанні з гнучкістю і універсальністю КМ.

Композиційними матеріалами (composite, англ. – складний, складений з чого-небудь) є штучно створені людиною матричні матеріали, які містять два або більше компоненти, гетерофазні за будовою, однорідні в макро- і неоднорідні в мікросхалі, що «володіють» адитивним комплексом фізико-механічних властивостей, обумовленим збереженням індивідуальності кожного утворюваного композита компонента.

У промислових масштабах композити отримують методами порошкової металургії, переробки полімерів та олігомерів.

Структурними елементами КМ є матриця та арматура, розміщена в неперервному (суцільному) середовищі першої. За внутрішньою архітектурою (структурою) КМ класифікують на неперервно армовані (сітки, тканини, фольги, джгути і системи ниток) і дискретні (частки, плівки, короткі волокна і повсть). Крім того, за орієнтацією арматури поділяють на хаотично орієнтовану і спеціально орієнтовану (анізо- та ізотропну, ортогонально армовану і т. п.).

Принцип комбінування компонентів композиційних матеріалів. Наукову основу проєктування КМ становить принцип комбінування. Він

оснований на сукупності двох принципів: поєднання властивостей фізико-хімічної та механічної сумісності.

Принцип поєднання має на увазі складання фізичних властивостей компонентів адитивним чином. Другий принцип дає межі можливості поєднання компонентів і має на увазі збереження всіх характерних ознак КМ під час його виготовлення і експлуатації.

Основними математичними виразами принципів комбінування компонентів в КМ є:

а) залежність структурних співвідношень компонентів. Наприклад, аналітичні вирази для КМ, що мають пори, які відображають зв'язок між уявними і справжніми частками волокон та матриці, а також вирази, що інтерпретують діаграми стану компонентів і закони дифузії;

б) залежність концентраційних співвідношень компонентів.

в) залежно від фізико-механічних співвідношень матеріалів компонентів.

Наприклад, правило підбору матеріалу волокна за відомим матеріалом матриці: $\sigma_{\text{пит.матр.}} < \sigma_{\text{пит.волокна}}$, де $\sigma_{\text{пит.матр}}$ і $\sigma_{\text{пит.волокна}}$ – питомі міцності матриці і волокна;

г) залежно від того, що відображають технологічні процеси створення композитів і що впливає на їх проектування.

Виконання правил комбінування. Стадією, що передуює чисельному проектуванню і підбору компонентів КМ, є огляд науково-технічної літератури, який виконується як аналіз відомого матеріалу в сфері КМ. Одночасно відбувається переклад даних літературних, довідкових джерел та технічного завдання в магматичний опис (математичну модель), що відображає зміну і будову в сукупності використаних в описі параметрів в часі, поле температури та середовища.

Конкретизація об'єктів проектування. Проектування КМ проводиться за критеріями (обмеженнями) отриманої під час створення сукупної характеристики умов роботи виробу. По-перше, за готовими кресленнями і проектною конструкторською документацією на технічний об'єкт (автомобіль, літак і т.п.) Визначають тип конкретної деталі, оцінюючи її форму, наприклад: ОБОЛОНКА (лист, циліндр, профіль); ТІЛО ОБЕРТАННЯ (шестерня, вал, кулачок); БАЛКА (стрижень, панель, моноліт), і встановлюють призначення деталі. По-друге, визначають габарити виробу та ступінь розвиненості форми (кількість переходів, сполучених поверхонь і їх вид). На цьому етапі відбувається попередній розгляд, призначення способу і технології отримання виробу з композиту. По-третє, встановлюють схему головних напружень, характер і вид механічного навантаження (циклічні, статичні, динамічні, вигину, крутіння); знаходять критичний (небезпечний) переріз і тензор напружень. По-четверте, встановлюють умови експлуатації (температура, середовище, вимоги до поверхні виробу – чинити

опір ерозії і корозії, світлостійкості, тертя). На кожному етапі отримуються дані, ґрунтуючись на яких створюють загальну математичну модель композиту. На початку проектування КМ механічні властивості матеріалу вважають ізотропними. Критерії міцності для оцінення роботоздатності конструкцій розглянуто в курсі «Опір матеріалів».

Обмеження під час проектування композитів. Проектування КМ обмежене конструкторською та технологічною можливостями. Під конструкторською можливістю розуміють здатність такої форми деталі, структури і сукупності вибраних компонентів задовольняти вимоги до виробу (ТЗ). Під технологічною можливістю розуміють наявність техніки і технології, що дозволяють отримати спроектований матеріал. Все це відбивається в проектуванні нових композитів.

ПРИКЛАД

Дано: одновісне розтягнення стержня масою $m = 0,1$ кг, довжиною $L = 0,45$ м, перерізом $S = 10^{-4}$ м², силою $F=80$ кН, за температури 570 К. Визначимо розрахункову щільність проектованого КМ за формулою:

$$\gamma^{\max} = \frac{m}{V} = \frac{m}{SL} = \frac{0,1}{0,4510^{-4}} = 2222 \text{ кг} / \text{м}^3, \quad (3.1)$$

Визначаємо нижнє значення розрахункової щільності проектованого КМ для пористості 9%:

$$\gamma^{\min} = \gamma^{\max} - \frac{\gamma^{\max}}{100\%} 9\% = 2022 \text{ кг} / \text{м}^3, \quad (3.2)$$

Визначаємо розрахункове напруження розтягу в стержні:

$$[\sigma^p] = \frac{F}{S} = \frac{80000}{10^{-4}} = 8 \cdot 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 800 \text{ МПа}; \quad (3.3)$$

Визначаємо верхнє і нижнє значення питомої міцності проектованого КМ:

$$\sigma_{\text{nut}}^{\min} = \frac{\sigma^p}{\gamma^{\max}} = \frac{800}{2222} = 0,360 \text{ МДж} / \text{кг}, \quad (3.4)$$

$$\sigma_{\text{nut}}^{\max} = \frac{\sigma^p}{\gamma^{\min}} = \frac{800}{2022} = 0,396 \text{ МДж} / \text{кг}. \quad (3.5)$$

Таким чином, щільність проектованого КМ має знаходитися в діапазоні від 2022 до 2222 кг/м³, а питома міцність – в діапазоні від 0,360 до 0,396 МДж / кг.

Стадії проектування композитів. Під тиском техніко-економічних причин, головна з яких – розширення сировинної бази машинобудування, здійснюють проектування нових матеріалів, здебільшого КМ. Проектування КМ здійснюють послідовним виконанням таких стадій.

Вибір, розробка структури і рецептури матеріалу. Перша стадія проектування КМ на початку свого виконання передбачає орієнтовний вибір методу отримання композиту без конкретизації технологічних параметрів. Насамперед орієнтовно вибирають спосіб формоутворення композиту. Його легко визначити, оскільки кожен спосіб обмежений у своїх можливостях формою, розмірами, точністю (допусками) і якістю одержуваної поверхні. Крім того, чинний технологічний критерій звужує область вибору компонентів композиту, особливо матриці, за пластичними властивостями. Відбувається призначення температурного інтервалу формоутворення. Оскільки кожному виду формоутворення властива своя специфіка анізотропії властивостей, наприклад орієнтації волокон, здійснюється вибір структури композиту. Для всіх варіантів завдання способом формування стержня є гаряче пресування. Енергетичні витрати за екструзії КМ з металевою матрицею в 1,5...1,7 рази більше, ніж у КМ з полімерної матрицею і становить 2 МДж / кг.

Вибір матричного матеріалу КМ. В цьому розділі конструктивні вимоги створюють обмеження, які розглядаються в послідовності:

- обмеження за щільністю виробу (ваги конструкції);
- обмеження за питомими показниками міцності і пружними характеристиками;
- обмеження за міцністю, жорсткістю і довговічністю;
- обмеження за поверхневими властивостями виробу;
- обмеження за часом експлуатації виробу;
- обмеження за робочою температурою виробу;
- обмеження за вартістю.

Розрахунковим чином визначають матеріал матриці та альтернативні варіанти, проводять першу конкретизацію способу отримання виробу та орієнтовний економічний розрахунок. Вибирають найбільш прийнятні варіанти матеріалу матриці і технологій. Нині фахівці матеріалознавці і конструктори КМ в процесі пошуку матеріалів використовують електронні довідкові інформаційні системи. У цій роботі використовуються дані, наведені в довідкових таблицях. Алгоритм пошуку, наведений вище, може бути доповнений іншими обмеженнями. Під час вибору матричного матеріалу можливі два випадки:

1. Відомі матеріали без армування не відповідають конструкційним критеріям. Тут відбувається перехід до композиту;

2. Відомі матеріали для матриць задовольняють вимоги і конструкційної і технологічної можливості. В такому випадку проектування КМ не переривають, а розглядають варіанти менш міцних (жорстких) і більш дешевих матричних матеріалів. Наприклад, якщо була обрана матриця з пластичної маси, то з'являється можливість ввести наповнювачі (крейда, паперові відходи і т. п.), що позначається позитивно на собівартості виробів. Застосування дешевих армувальних елементів (сталевий дріт, скляних

ниток, волокон і тканин) в композиті – аналогу матричного матеріалу в такому випадку достатня умова для виконання вимог щодо конструкторських і технологічних обмежень.

ПРИКЛАД. Під час вибору матричного матеріалу КМ за таким параметром як щільність, враховують адитивне правило:

$$\gamma^{KM} = \gamma_f V_f + \gamma_m (1 - V_f), \quad (3.6)$$

де γ^{KM} , γ_m і γ_f – щільності КМ, волокна і матриці,

V_f – об'ємна частка волокна.

Можна вибрати важку матрицю і легкі волокна, а можна – навпаки і отримати необхідний композит.

Вибираємо з таблиці 3.1 два найбільш близьких за щільністю матеріали:

Фторопласт $\gamma = 2150 \text{ кг/м}^3$ і алюмінієвий сплав АК-4 $\gamma = 2750 \text{ кг/м}^3$. Енергетичні витрати на виготовлення приблизно однакові. Робоча температура Ф становить 560 К, а АК-4 600 К, що близько до значенням ТЗ.

Розраховуємо їх питому міцність, підставляючи чисельні значення, отримуємо: $\sigma_{AK-4} = 0,177 \text{ МДж/кг}$; $\sigma_{\Phi} = 0,016 \text{ МДж/кг}$. Розрахункова питома міцність вибраних матеріалів нижча за необхідне значення. Виникає необхідність в армуванні матриці.

Таблиця 3.1 – Властивості матричних компонентів композиційних матеріалів

Матеріал	Щільність, $\gamma \text{ кг/м}^3$	Міцність, $\sigma_{\text{в}}, \text{ МПа}$	Робоча температура $T, \text{ }^\circ\text{C}$	Питомі енергетичні витрати на виготовлення матеріалу, кДж/кг
АД-1	2700	410	660	180
АК-4	2650	430	600	200
АЛ-1	2750	470	560	210
В-95	2800	600	470	300
ПТЭ-1 (Ті)	4700	1650	500	250
Берилій	1300	1360	500	240
НП-2 (Ni)	8900	450	1100	540
ХН70Ю	7800	750	1400	600
Полістирол	950	40	300	160
ЕД-10	1160	35	370	180
Фенилон	1350	120	400	200
Поліетилен	1050	35	320	220
Фторопласт Ф	2150	35	560	120
СП90-3 (Fe-C)	7800	700	400	300

Вибір армувального матеріалу КМ. Першим використовується обмеження за типом армувального елемента (безперервні волокна, плівки, тканини і т. п.). Вони продиктовані формою, геометрією виробу і схемою напруженого стану. Кількість альтернативних варіантів зменшує правило: орієнтація структурних елементів арматури КМ (схема армування) має строго відповідати напрямкам сил (схемою) зовнішнього механічного навантаження. Практичний досвід показує, що великогабаритні вироби, виключаючи довгомірні, типу непологих оболонок, корпусів, судин, інерційних накопичувачів прийнято виготовляти з безперервних волокон укладанням або намотуванням стрічок, ниток, тканин, джгутів. Для підвищення жорсткості такі вироби комбінують зі стрижнями і каркасами. Вироби малих геометричних розмірів типу тіл обертання і монолітів прийнято армувати дискретними волокнами, фольгою, плівками.

Подальший вибір арматури обмежений:

- 1) робочим температурним інтервалом експлуатації виробів;
- 2) термодинамічною і термокінетичною сумісністю компонентів, типом міжкомпонентного зв'язку. Обмеження за гетерофазністю і наявністю, як мінімуму, механічного зв'язку та, як максимуму, прояву сил змочування або слабкої розчинності компонентів в заданому температурному інтервалі експлуатації та виготовлення КМ, дозволяє вибрати хімічний склад арматури, конкретизувати дані про температуру і тривалості операцій, пов'язаних з нагріванням, або гарячої обробки тиском.

Нині прийнято матриці з пластмас армувати скляними, органічними і вуглецевими волокнами, матриці з металів та їх сплавів – керамічними, вуглецевими та металевими волокнами.

ПРИКЛАД. З таблиці 3.2 вибираємо для матриці АК-4 керамічні волокна з Al_2O_3 діаметром 501 мкм, оскільки вони мають мінімальні енергетичні затрати на їх виготовлення. Для матриці з фторопласту – вуглецеві волокна ВМН діаметром 6 мкм;

- 3) питомою міцністю. Якщо питома міцність волокон нижче питомої міцності матриці, тоді зміцнення КМ не настає. В такому випадку переходять до іншого волокна або матричного матеріалу з відповідними характеристиками питомої міцності. Крім того, враховують тип арматури і можливість переробки армувальних напівфабрикатів безпосередньо в зміцнювальну фазу і аналізують поведінку арматури в процесі формування.

ПРИКЛАД. Перевіряємо виконання умови питомої міцності. Для матриці з фторопласту і волокон ВМН:

$$\sigma_{\phi} = 0,016 < \sigma_{ВМН} = \frac{1470}{1700} = 0,865 \text{ МДж / кг};$$

$$\sigma_{AK-4} = 0,170 < \sigma_{Al_2O_3} = \frac{4140}{3960} = 1,045 \text{ МДжс / кг.}$$

Умова питомої міцності виконується.

ПРИКЛАД. Визначити критичну довжину волокна. Критична довжина волокна – це довжина, за якої настає зміцнення під час введення арматури в матрицю. У той самий час це мінімальна довжина волокна, в яку допускається переробка вихідної сировини арматури, наприклад безперервної нитки. Вона розраховується за формулою:

$$L_{кр} = \frac{d_f \sigma_{ef}}{2\tau_{cp}}, \quad (3.7)$$

де $L_{кр}$ – критична довжина дискретного волокна;

d_f – діаметр волокна;

σ_{bf} – міцність за розтягування волокна;

$\tau_{гр}$ – міцність межі «волокно–матриця».

Для утруднення розрахунку $L_{кр}$ припускаємо, що руйнування матриці відбувається від зсувних напруг, що визначають межу міцності ($\tau_{cp} = \sigma_m \cos(45^\circ)$); $\sigma_{vm(AK-4)} = 430$ МПа, отримуємо:

$$\tau_{гр(AK-4)} = 304 \text{ МПа; } \sigma_{vm(\Phi)} = 35 \text{ МПа, } \tau_{гр(\Phi)} = 25 \text{ МПа.}$$

$$L_{кр}(Al_2O_3) = \frac{501 \cdot 3960}{2 \cdot 304} = 3263 \text{ мкм};$$

$$L_{кр}(BMH) = \frac{6 \cdot 2210}{2 \cdot 25} = 265 \text{ мкм}$$

БІЛЬШ КОРОТКІ ВОЛОКНА Є КРАЩИМИ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПОЗИТІВ МЕТОДОМ ГАРЯЧОЇ ЕКСТРУЗІЇ, АЛЕ ВОНИ ДОРОГІ.

Розробка рецептури композиційного матеріалу. Пошук концентраційних співвідношень (рецептури) КМ можливий за двома варіантами:

- з використанням розрахунку міцності КМ за властивостями компонентів;
- із застосуванням розрахунку пружних констант КМ за властивостями компонентів.

Пошук концентрації компонентів зводиться до проведення зворотних обчислень по залежностям, що зв'язує адитивну властивість КМ з властивостями окремих компонентів через їх частки, концентрацію арматури.

Таблиця 3.2 – Властивості армувальних компонентів композиційних матеріалів

Матеріал	Діаметр волокна, d_f мкм	Щільність, γ кг/м ³	Міцність, σ_B МПа	Робоча темпера- тура T, К	Питомі енергетичні витрати на виготовлення матеріалу W, кДж/кг
КЕРАМІЧНІ ВОЛОКНА					
Al ₂ O ₃	127	3960	2410	1300	950
	280		3400	1300	950
	501		4140	1400	1000
TiC	280	4910	1540	1500	1380
СТАЛІВІ ВОЛОКНА					
Ст. 35	140	7700	3150	600	1200
	220		3100		1160
	400		3000		1140
	800		2950		1120
	1000		2800		1100
09X13H13 М	40	7800	3600	700	1300
	90		3400		1250
	120		3000		1220
	1170		3100		1180
СКЛЯНІ ВОЛОКНА					
СВ	6	2580	1250	400	600
	7		1950		590
	10		3500		580
	20		5000		500
ОРГАНІЧНІ ВОЛОКНА					
ОВ	10	1430	2500	420	350
Оксалон	15	1450	2950	420	400
ВУГЛЕВОДНІ ВОЛОКНА					
ВМН	6	1700	2210	2200	1146
	7		1470		1440
	9		1143		1400

Наприклад, рівняння для визначення міцності композиту з безперервними волокнами:

$$\sigma_{вкм} = \sigma_{ef} V_f + \frac{\sigma_{em}}{1 - V_f}. \quad (3.8)$$

Рівняння для розрахунку модуля Юнга дискретного КМ:

$$E = E_m (1 + V_f \cdot n \frac{L_{кр}}{d_f}) \cdot (1 - n V_f), \quad (3.9)$$

де $n = \left(\frac{E_f}{E_m} - 1 \right) / \left(\frac{E_f}{E_m} + \frac{L_{кр}}{d_f} \right),$

E_f, E_m – модулі Юнга волокна і матриці.

Із формул визначають концентрацію волокон, підставляють чисельні значення, тим самим визначають рецептуру КМ.

ПРИКЛАД.

Міцність композиту, армованого дискретними волокнами, з урахуванням кінцевих ефектів арматури оцінюється виразом:

$$\sigma_{екм} = (L_{кр} \frac{\tau_{сп}}{d_f}) V_f + \sigma_{em} (1 - V_f), \quad (3.10)$$

Звідси концентрація волокон V_f :

$$V_f = \frac{\sigma_{екм} - \sigma_{em}}{\frac{L_{кр} \cdot \tau_{сп}}{d_f} - \sigma_{em}}. \quad (3.11)$$

Підставляючи чисельні значення, отримуємо:

$$V_f (Al_2O_3) = \frac{800 - 430}{\frac{3263 \cdot 304}{501} - 430} = 0,21(\text{частка});$$

$$V_f (ВМН) = \frac{800 - 35}{\frac{265 \cdot 25}{6} - 35} = 0,71(\text{частка}).$$

У деяких випадках розв'язання виразу (3.11), наприклад, за $L_{кр}/d_f < 1$ і з врахуванням пористості значення V_f виходять більше одиниці, крім того, V_f обмежена можливостями методів змішування і формоутворення. Так, концентрація можлива за екструзії механічної суміші, що не перевищує 0,7. У таких випадках змінюють або $L_{кр}$, або d_f , вважаючи, що V_f дорівнює

значенням ТЗ або технології, а також враховують обмеження діаметра і довжини волокон, наприклад, d_f обмежена товщиною екструдованого виробу. Діаметр волокна d_f має бути в 100 разів меншим за діаметр екструдованого стрижня. Крім того, застосування $V_f < 0,05$ в КМ економічно і технологічно неефективно, і об'ємна частка арматури не перевищує 0,75.

Для цих випадків доцільно виразити з формули (3.10) $L_{кр}$ і продовжити розрахунок концентрації V_f новою критичною довжиною волокна.

ПРИКЛАД. Приймаємо рішення для КМ $\Phi + \text{ВМН}$ змінити $L_{кр}$ за умови збереження всіх інших параметрів і концентрації $V_f = 0,21$:

$$L_{кр}(\text{ВМН}) = \frac{([\sigma] - \sigma_{см} + \sigma_{см} V_f) d_f}{\tau_{zp} V_f} = \frac{([800] - 35 + 35 \cdot 0,21) \cdot 6}{25 \cdot 0,21} = 882 \text{ мкм}$$

Проводимо уточнення вибору компонентів і рецептури проєктованих КМ за питомими енергетичними затратами на виготовлення матеріалів, що їх утворюють.

Розраховуємо загальні енергетичні витрати:

$$W_{км} = W_f V_f + W_m (1 - V_f), \quad (3.12)$$

де W_m і W_f – питомі енергетичні витрати на виготовлення матричного і волоконного компонентів (див. довідкові таблиці 1 і 2). Підставляючи чисельні значення, отримуємо:

$$W_{км}(AK_{-4} + Al_2O_3) = 1000 \cdot 0,21 + 200(1 - 0,21) = 368 \text{ кДж/кг}$$

$$W_{км}(\Phi + \text{ВМН}) = 1460 \cdot 0,21 + 120(1 - 0,21) = 401 \text{ кДж/кг}$$

Розробка раціональної конструкції виробу з композиту. Ця стадія проводиться з метою урахування вимог до форми деталі, що виникли на етапі проєктування структури, властивостей і складу КМ. У разі, якщо замінюється застарілий матеріал на композит з кращими характеристиками, в кресленик вводять необхідні зміни, наприклад сполучення і конусність для технологічності формоутворення пресуванням; припуски на механічну обробку і радіус кромки за литтєвого способу. В кресленик проставляються нові базові поверхні. Якщо в кресленику вже закладено КМ, то цю стадію не виконують.

Уточнення стадій проєктування композиційного матеріалу. На цьому етапі відбувається повторний розрахунок за всіма зазначеними етапами з використанням нових отриманих даних і, головне, перевіряється дотримання умов і вимог, закладених в технічному завданні.

ПРИКЛАД. Визначити щільність КМ для кожного проєктованого варіанта за формулою:

$$G_{км} = G_f V_f + G_m (1 - V_f),$$

де G – щільність КМ і компонентів. Підставивши числові значення отримуємо:

$$G_{\text{км}}(AK-4 + Al_2O_3) = 3960 \cdot 0,21 + 2700 \cdot (1 - 0,21) = 2965 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

$$G_{\text{км}}(\Phi + BMH) = 1700 \cdot 0,21 + 2150 \cdot (1 - 0,21) = 2055 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Для матеріалу КМ (AK-4+Al₂O₃) не витримується обмеження за щільністю, а для (Φ+BMH) розрахункова величина щільності входить в інтервал щільності (див. вище).

Проводимо розрахунки питомих енергетичних витрат на виготовлення стержня за двома варіантами проєктованого КМ, враховуючи, що енергетичні витрати під час екструдуювання КМ з металевими матрицями в 1,5 – 1,7 рази більше, ніж для полімерних КМ використовуючи формулу:

$$W_{(\text{км_загальне})} = W_{\text{км}} + W_{\text{екструдуювання}}, \quad (3.13)$$

де $W_{(\text{км_загальне})}$ – загальні енергетичні витрати на виготовлення деталі;

W_m – енергетичні витрати КМ з вибраних компонентів;

$W_{\text{екструдуювання}}$ – енергетичні витрати процесу екструдуювання.

Підставляючи чисельні значення отримуємо:

$$W_{(\text{км_загальне})}(AK-4 + Al_2O_3) = 2000 + 1,5 \cdot 368 = 2552 \text{ кДж} / \text{кг};$$

$$W_{(\text{км_загальне})}(\Phi + BMH) = 2000 + 401 = 2401 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Видно, що загальні питомі енергетичні витрати на виготовлення КМ з полімерної матрицею нижчі, ніж у металевого КМ.

Розраховуємо питомі міцності двох варіантів КМ (формулу наведено вище):

$$\sigma(AK-4 + Al_2O_3)_{\text{уд}} = \frac{800}{2965} = 0,27 \text{ МДж} / \text{кг};$$

$$\sigma(\Phi + BMH)_{\text{уд}} = \frac{800}{2055} = 0,39 \text{ МДж} / \text{кг}.$$

ВИСНОВОК. Розрахунок питомої міцності показує, що для КМΦ + BMH виконується обмеження за інтервалу ТЗ питомої міцності.

Таким чином, для виготовлення стержня необхідно вибрати матрицю з фторопласта, арматуру на вуглецевих волокнах, діаметром 6 мкм і довжиною 882 мкм з концентрацією 0,21.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Здобувач отримує і виконує один з варіантів заданого викладачем завдання.

ЗАВДАННЯ: вибрати матеріали матриці і волокон двокомпонентного композиту з хаотичною дискретною армувальною фазою, дати оцінку енергоємності виготовлення можливих варіантів проектованого матеріалу. Для спроектованого матеріалу розрахувати щільність, міцність, питому міцність і енергоємність виготовлення. Для всіх варіантів завдань вихідними даними є: одновісне розтягнення стрижня довжиною $L = 0,45$ (м), перерізом $S=10^{-4}$ (м²), масою M (кг), силою N (Н) в нейтральному середовищі за температури $T \sim 293$ К.

Фактори терміну служби в розрахунку не враховуються. Щільність проектованого композиту може бути нижче на 10% необхідної величини. Чисельні значення задаються викладачем.

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

№	Маса, кг	Сила, кН	№	Маса, кг	Сила, кН
1	0,10	80	16	0,13	90
2	0,12	120	17	0,14	120
3	0,36	90	18	0,10	155
4	0,23	110	19	0,32	75
5	0,34	70	20	0,40	110
6	0,40	56	21	0,37	180
7	0,15	89	22	0,10	190
8	0,31	180	23	0,31	150
9	0,28	130	24	0,29	170
10	0,37	70	25	0,25	110
11	0,4	100	26	0,76	150
12	0,5	120	27	0,85	200
13	0,6	130	28	0,92	250
14	0,7	150	29	0,46	100
15	0,8	140	30	0,25	80

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

Мета роботи: ознайомитися з основними принципами одержання деталей методами порошкової металургії і сфери їх застосування, а також зі структурними особливостями порошкових матеріалів.

Теоретичні відомості

Порошковою металургією називають область техніки, що охоплює сукупність методів виготовлення порошків металів і металоподібних з'єднань, півфабрикатів і виробів з них або їх сумішей з неметалевими порошками без розплавлення основного компонента.

Порошкові матеріали (найчастіше їх називають спеченими матеріалами) – це консолідовані матеріали, отримані з порошків, а порошки – сукупність частинок твердої речовини або їх агрегатів з розмірами від +0001 до 1 мкм.

Перевагами порошкової металургії, як методу виготовлення матеріалів та виробів, є:

- можливість виготовлення матеріалів і виробів, які практично не вдається отримати традиційними способами (пористі матеріали, жароміцні, інструментальні композиції, матеріали зі спеціальними властивостями);
- можливість використання відходів металургійного і машинобудівного виробництва у вигляді окалини, стружки гальванічних зламів і т. д. як вихідної сировини для виробництва порошкових виробів;
- можливість істотного зниження відходів за рахунок виробництва виробів з розмірами, близькими до остаточних, без застосування оброблення різанням.

Типова технологічна схема отримання виробів методами порошкової металургії містить такі операції:

- виробництво порошків металів та інших матеріалів;
- формування заготовки з порошку зі зв'язкою або без неї шляхом пресування або вільного насипання;
- спікання заготовки за температури нижче температури плавлення основного компонента;
- додаткова обробка спеченого виробу;
- механічне оброблення, просочення, нанесення покриттів, калібрування і ін.

Наведена технологічна схема дозволяє, по-перше, виготовляти порошкові матеріали та вироби з такими складом, структурами і властивостями, які неможливо отримати традиційними методами металургії

(литтям, обробкою тиском, термообробкою) і, по-друге, виготовляти вироби із заданими складом, структурою і властивостями, але з істотно меншою витратою матеріалів і більш точними розмірами.

До недоліків порошкової металургії можна віднести:

– обмеженість у виборі форм і розмірів виготовлюваних виробів і заготовок;

– порівняно невисоке рафінування за домішками, що, наприклад, перешкоджає використанню методів порошкової металургії у виготовленні монокристалів і напівпровідників.

Однак ці недоліки можуть бути усунені за рахунок виготовлення складових виробів або застосування комплексу технологічних процесів, що містять поряд з порошковою металургією інші технології.

Методи отримання металевих порошків і їх властивості

Всі сучасні методи отримання порошків можна умовно поділити на механічні та фізико-хімічні.

Механічні методи – це такі технологічні процеси, під час яких вихідний матеріал під впливом зовнішніх сил подрібнюється без істотної зміни хімічного складу. До механічних методів належать: дроблення і подрібнення в різних млинах, розпорошення струменя розплавленого металу водою або струменем стисненого газу, обробка металу різанням з отриманням частин, а не зливної стружки.

Фізико-хімічні методи – це такі технологічні процеси, під час яких отримання порошку пов'язано зі зміною хімічного складу вихідної сировини. У цьому випадку кінцевий продукт – порошок, як правило, відрізняється від вихідного матеріалу за хімічним складом. До фізико-хімічних методів належать: відновлення порошку оксидів і інших з'єднань, електроліз водних розчинів та розплавлених солей, дисоціація карбонілів під час нагрівання та ін. У таблиці 4.1 наведено основні промислові і дослідно-промислові методи отримання порошків, використовуваних в технології порошкової металургії.

Області застосування порошкових матеріалів і виробів. Порошкові матеріали за призначенням можна умовно розділити на антифрикційні, фрикційні, електротехнічні, конструкційні, інструментальні. У деяких випадках належність порошкових матеріалів до тієї чи іншої групи – умовні, оскільки матеріал за певними ознаками може одночасно належати до кількох названих вище груп.

Порошкові антифрикційні матеріали. Антифрикційні матеріали – матеріали, використовувані в несучих або напрямних вузлах, що мають підвищену зносостійкість і низький коефіцієнт тертя. Антифрикційні порошкові матеріали широко використовуються в машинобудуванні у вузлах, що працюють в різних умовах експлуатації.

Таблиця 4.1 – Методи отримання порошків

Спосіб отримання порошку	Вихідна сировина	Матеріал порошку
Механічні методи		
Дисперсування твердих металів		
Дроблення	Електролітичні осадки, продукти відновлення металів	Залізо, титан, мідь, нікель
Злам	Металева стружка, шматочки дроту, лусочки	Залізо, сталь, бронза
Диспергування розплавів		
Розпилення стисненим повітрям (RZ-метод), аргонном, азотом	Розплав розпиленого металу	Мідь, бронза, корозійно стійкі сталі
Розпилення водою під тиском (W-метод)	Розплав розпиленого металу	Мідь, бронза, корозійно стійкі сталі
Фізико-хімічні методи		
Відновлення газом (Водень, конвертований природний газ, ендогаз, генераторний газ, дисоційований аміак), вуглецем (сажа, графіт, деревне вугілля, кокс)	Окалина, рудний концентрат, хімічні сполуки, чисті оксиди, їх суміші	Залізо, вольфрам, молібден, нікель, мідь, високолеговані сталі і сплави
Металотермічне відновлення натрієм, магнієм, кальцієм або гідридом кальцію	Оксиди, галогеніди металів, суміш залізного порошку з оксидами металів	Титан, високолеговані сталі і сплави
Електроліз водних розчинів	Розчини сульфатних солей металів	Мідь, нікель, залізо, вольфрам, молібден, сплави Fe-Ni, Fe-Ni-Mo, Ni-Cu
Розкладання карбонилів	Відновлена губка відповідного металу	Нікель, залізо, сплави Fe-Ni-Mo, Fe-Ni-Co, Fe-Ni-Mn

Антифрикційні матеріали залежно від умов роботи необхідно, щоб мали:

– гарне початкове притирання в роботі – час, необхідний для зниження коефіцієнта тертя між підшипником і валом до заданої величини, має бути мінімальним;

– високі триботехнічні властивості;

– здатність витримувати навантаження, швидкість і температуру без руйнування та зміни форми і функціональних властивостей;

– здатність утворювати самозмащувальні або легко притирочні продукти стирання колоїдного характеру (плівки), які можуть зберегти шийку вала від зносу навіть за утрудненого змащування;

– меншу твердість, ніж у шийки вала, причому твердість має знижуватися якомога менше в процесі нагрівання;

– високу теплопровідність для гарного відведення теплоти тертя;

– достатню витривалість або опір втоми;

– достатню в'язкість в разі ударного навантаження;

– гарні технологічні властивості;

– мікропористість чи мікрокапілярність, що сприяє утриманню мастила на поверхні антифрикційного матеріалу;

– гарні антикорозійні властивості.

Матеріалами, що задовольняють наведені вимоги, довгий час були литі матеріали на основі міді, переважно, олов'яні бронзи, проте вони не завжди відповідають експлуатаційним характеристикам сучасних машин і механізмів.

Нині існує значна кількість порошкових антифрикційних матеріалів, які широко використовуються у виробках загального машинобудування, які працюють в звичайних умовах, і у виробках спеціального призначення, що експлуатуються в складних умовах.

Значне поширення у виробництві отримали пористі підшипники ковзання на основі порошоків заліза і міді, одержувані за традиційною для порошкової металургії технологією. Пористі антифрикційні матеріали на основі заліза є найпоширенішими. Вони успішно конкурують з литими сплавами типу бабітів і бронзи.

Пористе залізо – це найбільш простий тип матеріалів, що має структуру фериту. За інтенсивного мащення забезпечується довготривала роботоздатність пористого заліза за умови навантажень 2,0-2,5 МПа і швидкості ковзання 1–2 м/с. В процесі експлуатації робоча температура підшипника з пористого заліза не має перевищувати 70-80 °С.

Пористе залізо після просочення порів мастилом застосовують для прядильних кілець, підшипників апаратури, приладів, лічильно-обчислювальних пристроїв і т. д.

Залізографітні матеріали. Застосування залізографітних матеріалів у парах тертя особливо за недостатнього мащення або неприпустимості застосування мастильних матеріалів в умовах сильної запиленості середовища, частих пусків і зупинок механізмів, за великих навантажень і

малих швидкостей ковзання, наприклад, напрямні втулки, підшипники валів зі зворотно-поступальним рухом.

Основними компонентами для виготовлення залізографітних матеріалів є: залізний порошок, графіт і в невеликих кількостях мідь, сірка та фосфор. У залізографітні матеріали вводять переважно від 1 до 4% графіту. Графіт в антифрикційних матеріалах виконує подвійну дію: розчинившись в залізі, збільшує міцність металевої основи, а нерозчинений графіт виконує функцію твердого мастила.

Антифрикційні властивості залізографітних матеріалів визначаються їх самозмащуванням, зносостійкістю, міцністю. Самозмащування відбувається за рахунок мастила, що виступає в процесі тертя з порових каналів, що вигідно відрізняє пористі антифрикційні матеріали від литих. Виступання мастила на поверхню тертя пояснюється різним об'ємним тепловим розширенням мастила і металевої основи матеріалу, а вбирання в порові канали міжмолекулярними силами, що діють в рідині у випадку, якщо температура не перевищує критичних значень. Високий ефект самозмащення пористих вкладишів, просочених мастилом, обумовлює утворення на поверхнях тертя граничних шарів мастила, суцільність яких залежить від середньої температури процесу.

Тривалість роботи підшипників з залізо-графітових матеріалів визначається умовами їх роботи і не перевищує 3–5 тисяч годин. Їх застосовують в тепловозобудуванні, в парах тертя сільськогосподарських машин, для виготовлення втулок вугільних транспортерів, деталей автомобілів, свердлильних верстатів, втулок прокатних станів і т. п.

Для роботи в умовах обмеженого мащення рекомендуються композиції з підвищеним вмістом графіту (4–15%) і міді (4–12%). Матеріал ЖГр4Д7 (4% С і 7% Сu) забезпечує роботоздатність пар тертя в режимі самозмащування за швидкості ковзання 0,94 м/с і навантаження 1,0–4,5 МПа з коефіцієнтом тертя 0,1. Композиції залізо-мідь і залізо-мідь-графіт здатні витримувати статичні навантаження до 60–790 МПа. Подальше поліпшення залізографітних матеріалів досягається під час їх легуванні фосфором, марганцем, цинком, оловом. Розроблено сплави на основі заліза з підвищеними антифрикційними і антикорозійними властивостями для деталей, працюючих за великих навантажень.

У парах тертя з високими швидкостями ковзання навіть за невеликих навантажень можуть розвиватися значні температури, які разом з силами інерції сприяють видаленню мастила з області тертя, що створює труднощі під час використання рідких або консистентних мастил. Для таких пар, що працюють в умовах сухого тертя, однією з обов'язкових умов роботоздатності пар тертя є створення і постійна регенерація на їх поверхні захисних роздільних плівок, що виключають контакт металевих поверхонь і подальше схоплювання.

Для поліпшення триботехнічних властивостей матеріалів, що працюють в таких умовах, широко використовують різні речовини, які завдають на поверхні тертя як твердого мастила. До них відносяться сульфіди, селеніди, йодиди, хлориди, фториди, нітриди і оксиди металів.

Тонкі шари твердих мастил наносяться на поверхню деталей, що труться, але вони порівняно легко змиваються рідинами або видаляються під час механічного впливу. Ефективним методом утворення стабільної роздільної плівки на поверхнях, що труться, є введення твердого мастила безпосередньо в матеріал. Однак застосування твердих мастил в спечених залізо-графітних матеріалах обмежена, оскільки під час спікання за високих температур можливо їх розкладання.

Першими порошковими антифрикційними матеріалами на основі міді, які почали застосовуватися в промисловості, були олов'яні бронзи. Оптимальні антифрикційні і механічні властивості забезпечуються за 9-11% Sn. Пористість зазвичай становить $\Pi = 15-35\%$; $\sigma_B = 76-140$ МПа; $\delta \approx 5\%$; $P_v = 1,5-2,5$ МПа м/с.

Пористі бронзи застосовують для виготовлення підшипників, працюючих в легких умовах, що характеризуються малими швидкостями ковзання менше 1,5 м/с і невеликими навантаженнями 0,5–1,0 МПа. В умовах додаткового змащення граничне навантаження може становити 8 МПа за $v = 1$ м/с. З підвищенням швидкості ковзання до 6 м/с навантаження знижується до 1 МПа.

Значне поширення отримали спечені самозмащувальні підшипники ковзання з композицій бронза-графіт, в яких вміст графіту зазвичай становить 2–4%; 8–10% Sn і 86–90% Cu (за масою).

Перспективними триботехнічними матеріалами для підшипників ковзання є зносостійкі спечені хромоолов'яні і хромонікелеолов'яні бронзи з твердими мастилами.

Під час роботи в особливих умовах внаслідок значної зносостійкості для пар тертя застосовують тугоплавкі метали і сполуки.

На основі карбиду вольфраму виготовляють кільця, кульки і сідла клапанів з такими властивостями: твердість HV 9,5-18 ГПа, $\gamma = 11,5-15$ г/см³, $\sigma_B = 120-280$ МПа і $\alpha = (5-6) \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ з підвищеною твердістю, міцністю, в'язкістю, стійкістю до абразивного зносу, термічною стабільністю та інертністю до агресивних середовищ має новий клас матеріалів на основі боридів титану, цирконію і гафнію, що містять 87,5-70% боридів і 12,5-30% порошку металу цієї групи.

Для підшипників ковзання, що працюють за підвищених температур, застосовують композиції W-BN. Зносостійкість композицій визначається вмістом бориду BN.

Фрикційні матеріали. Нині більшість машин і механізмів оснащено фрикційними пристроями того чи іншого призначення. Рух машини, її

зупинення і маневрування, зміна режиму експлуатації механізму і його управління неможливі без застосування фрикційних гальмівних або передавальних пристроїв, робота яких багато в чому визначає їх технічні характеристики. З огляду на жорсткі умови роботи гальмівних пристроїв сучасних машин потрібно, щоб фрикційні матеріали мали:

- високу фрикційну теплостійкість – збереження стійкого значення коефіцієнта тертя і низького зносу в широкому діапазоні температур;

- достатню стійкість проти стирання – рівень необхідної зносостійкості встановлюється залежно від умов експлуатації і знаходиться в межах від 0,01–0,02 до 0,10–0,15 мкм за робочий цикл;

- достатню корозійну стійкість і здатність не кородувати з сполученими деталями.

Крім того, елементи фрикційної пари не мають схоплюватися (зварюватися) як в процесі, так і після гальмування. Для таких матеріалів досить істотним є повне використання поверхонь тертя (отримання максимально можливої контактної поверхні). У такому випадку видима площа тертя має становити не менше 80% номінальної, а поверхні тертя мають бути гладкими, без задирок.

Особливі вимоги висувають до фрикційних матеріалів також і щодо фізико-механічних властивостей – необхідно, щоб вони мали високу механічну міцність за робочих температур. В процесі експлуатації не має відбуватися сколювання і розшарування, з'являться глибокі тріщини і викришування компонентів матеріалу, які можуть порушити нормальну роботу.

З усіх відомих нині матеріалів найбільш повно всім цим вимогам відповідають порошкові фрикційні матеріали, які складаються з металевих і неметалевих компонентів. Металеві компоненти надають матеріалу міцність, неметалеві підвищують коефіцієнт тертя і зменшують схильність до заїдання. Завдяки таким особливостям, ці матеріали можуть працювати в умовах високих навантажень і швидкостей ковзання, та характеризуються більш високою зносостійкістю, ніж інші фрикційні матеріали.

Застосування порошкових матеріалів у фрикційних парах забезпечує плавність їх включення, стабільність коефіцієнта тертя і підвищення довговічності.

Для роботи в мастилi застосовують різноманітні порошкові фрикційні матеріали, в яких як металеві зв'язки використовують мідь, леговану, переважно, оловом або алюмінієм. Для роботи у важких умовах експлуатації (тертя без змащення) застосовують порошкові фрикційні матеріали на залізній основі. Ці матеріали характеризуються більш високими фрикційними і механічними властивостями порівняно з матеріалами на основі міді.

Основні сфери застосування порошкових фрикційних виробів можна класифікувати таким чином:

– передавальні пристрої, що працюють всуху: легко навантажені (транспортні засоби, верстати та ін.), середньо навантажені (чеканки і штампувальні преси, промисловий транспорт), гальма для роботи без мастила, важко навантажених (літаки);

– зчеплення, що працюють з мастилом: середньо навантажені (автоматичні трансмісії, верстати, управління тракторів) і важко навантажені (силові трансмісії в тракторах).

Порошкові конструкційні матеріали. Найбільш поширеними видами порошкових виробів є конструкційні деталі, які використовують в машинах, механізмах і приладах. Залежно від умов роботи порошкові конструкційні деталі поділяють на ненавантажені, мало-, середньо- і сильнонавантажені. Типовими деталями з порошкових конструкційних матеріалів є шестерні, кулачки, зірочки, зубчасті колеса, накладки, шайби, ковпачки, заглушки, храповики, накладні і спеціальні гайки, кришки, фланці, сидла і корпусу клапанів, статори, диски і ротори насосів, муфти, кільця, обмежувачі, деталі вимірювальних інструментів та інші деталі складної конфігурації, що застосовуються в різних галузях машинобудування і приладобудування. Деталі можуть бути випущені у вигляді готових виробів або заготовок, які потребують незначного обсягу механічної обробки. Незважаючи на істотні переваги, питання про виготовлення деталей машин і приладів методами порошкової металургії визначається, виходячи, переважно, з економічних міркувань, і головну роль тут відіграє висока вартість прес-форм. Економічно доцільно виготовляти конструкційні деталі методами порошкової металургії лише за масового їх виробництва, тобто під час виробництва близько 50 000 штук на 1 прес-форму.

Ненавантажені і малонавантажені конструкційні деталі виготовляють з вуглецевої сталі. Їх отримують з суміші порошоків заліза і графіту. Під час виготовлення шестерень традиційними методами лиття та механічної обробки в стружку йде до 60% високоякісного металу. Метод порошкової металургії дозволяє переважно усунути зазначені недоліки і навіть має деякі додаткові переваги, які полягають у виготовленні шестерень з певною пористістю (5-15%) і додатковому захисті їх мастилом, яке з вільним графітом, наявним в спеченій шестерні, утворює колоїдно-графітове мастило, утримуване в порах силами поверхневого натягу. Завдяки наявності пор, просочених мастилом, зменшується знос і знижується шум шестерень під час роботи.

До високотемпературних матеріалів відносяться матеріали з тугоплавких порошоків або з'єднань і порошкові матеріали на їх основі. Тугоплавкими прийнято вважати метали, температура плавлення яких вища,

ніж у заліза. Найбільше застосування як високотемпературні матеріали знайшли матеріали з порошків вольфраму, молібдену, танталу, ніобію, титану. Порошковий вольфрам, тантал, ніобій, молібден застосовуються в атомній енергетиці, радіотехніці, порошковий вольфрам і молібден – у виробництві ниток розжарювання. Порошковий молібден використовується для виготовлення нагрівальних елементів електричних печей. Порошковий титан і його сплави, завдяки високій питомій міцності і корозійної стійкості, знаходять широке застосування для деталей ракет, літаків, в суднобудуванні, для деталей хімічного машинобудування і в медицині.

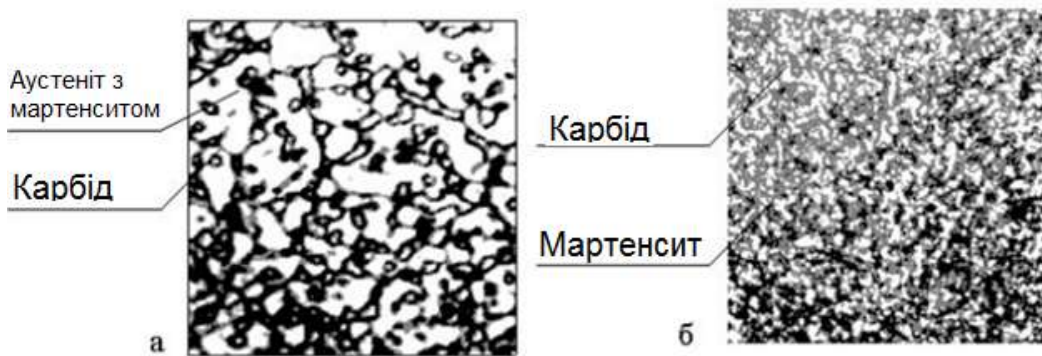
Порошкові інструментальні матеріали. Інструментальні матеріали – матеріали, призначені для виготовлення деяких видів інструментів або їх робочих частин. Необхідними властивостями інструментальних матеріалів є висока зносостійкість і твердість, водночас бажано, щоб вони мали достатню в'язкість, жароміцність, жаростійкість та механічну міцність. До традиційно використовуваних інструментальних матеріалів відносять інструментальні сталі.

Сучасні тенденції в інструментальному виробництві створили передумови до розробки і виготовлення різального інструмента з порошкових інструментальних матеріалів.

Порошкові швидкорізальні сталі відрізняються від звичайних швидкорізальних сталей технологією виготовлення. Вона складається з двох етапів: одержання металевих порошків і подальшого компактування їх в щільні заготовки.

Порошок цих сталей отримують розпиленням рідкої сталі заданого хімічного складу в інертному газовому середовищі азоту або, рідше, аргону. Струмінь рідкого металу розбивається на краплі газом, який подається через форсунки під тиском 2-3 МПа. Як результат – виходить порошок з розмірами 50-600 мкм. Щільні заготовки виготовляють методами гарячого компактування. Для цього попередньо вакуумовані капсули з порошком піддають ізостатичному пресуванню під тиском 100-200 МПа за температури 1100-1200 °С з наступним куванням. Для невеликих за розміром заготовок використовують більш простий метод – гарячу екструзію капсул з подальшим куванням.

Порошкові швидкорізальні сталі відрізняються від сталей, отриманих за традиційною технологією, дисперсною структурою. У них відсутній основний недолік швидкорізальних сталей – карбідна неоднорідність, карбіди в них дрібні 1–2 мкм і розподілені майже по балу 1 карбідної неоднорідності (рис. 4.1, б), зерно відповідає 12-13 балу (рис. 4.1, а).



a – після гартування; *б* – після гартування і відпуску
 Рисунок 4.1 – Структура порошкових швидкорізальних сталей

Дисперсна структура цих сталей виходить вже на етапі виготовлення порошків за рахунок охолодження крапель гарячого металу з великою швидкістю 103-106 град/с під час розпилювання. Це забезпечує більший ступінь переохолодження сплавів, а значить високу швидкість кристалізації. Як результат – в структурі порошків розмір карбідної фази менше 1 мкм, а бал зерна аустеніту відповідає 14-15. Під час компактування порошку в щільні заготовки структура успадковує ці позитивні особливості.

Перед обробкою різанням заготовки порошкових сталей для зниження твердості піддають ізотермічному відпалу за стандартним режимом, рекомендованим для традиційних швидкорізальних сталей.

Остаточні властивості порошкових швидкорізальних сталей досягаються загартуванням в маслі за температури 1160-1180 °С і подальшим дворазовим відпусканням за температури 540-550 °С по 1 годині щодня. Температури термічної обробки порошкових сталей мало залежать від хімічного складу і порівняно зі звичайними – знижені. Це пояснюється особливістю структури, їх фазового складу.

Завдяки дисперсній структурі і особливостям фазового складу – високий ступінь пересичення твердих розчинів, знижений обсяг карбідної фази – порошкові швидкорізальні сталі порівняно зі звичайними мають кращі комплексні механічні властивості (міцність і ударна в'язкість підвищується на 40-50%), підвищену теплостійкість (до 650-700 °С) і вторинну твердість (HRC 65-70), істотно кращі технологічні властивості (в 2-3 рази підвищуються гаряча пластичність і в 5-10 разів – шліфованість). Під час кування висококобальтових і шліфування високованадієвих порошкових швидкорізальних сталей труднощів не виникає і, до того ж, вихід придатного металу становить не менше 95%, тобто ця технологія практично безвідходна.

Нова технологія виготовлення швидкорізальних сталей відкриває перспективу для впровадження в промисловість високопродуктивних, високолегованих, зокрема високовуглецевих, високованадієвих, висококобальтових сталей, які за звичайною технологією отримати

практично неможливо, тому порошкові швидкорізальні сталі є інструментальними сталями майбутнього.

За ДСТУ ГОСТ 28393-89 випускаються прутки і смуги зі швидкорізальної сталі, отримані методами порошкової металургії з таких марок Р6М5Ф3-МП, Р7М2Ф6-МП, Р12МФ5-МП, Р6М5К5-МП, Р9М4К8-МП, Р12М3К5Ф2-МП. Методи порошкової металургії виключають утворення карбідних неоднорідностей, а також дозволяють вводити до складу сталі до 7% ванадію а також вуглецю з «пересиченням» до 1,7%. Порошкові сталі мають кращу шліфувальність (порівняно з непорошковою сталлю того самого складу), менше деформуються під час загартування, мають більшу міцність і продуктивність різання, показують більш стабільні експлуатаційні властивості, дозволяють формувати менший радіус округлення різальної кромки, але дорожчі.

Технологія порошкової металургії також використовується для отримання карбідосталі, яка за своїми властивостями може бути класифікована як проміжна між швидкорізальною сталлю і твердими сплавами.

Карбідосталь відрізняється від звичайної швидкорізальної сталі високим вмістом карбідної фази, переважно карбідів титану. У відпаленому стані твердість карбідосталі становить 40 ... 44HRC, а після гартування і відпускання 68... 70HRC (85 ... 87 HRA). Карбідосталі випускаються на основі двох сталей Р6М5-Кт20 і Р6М5К5-Кт20 з масовою часткою TiC 20% у вигляді заготовок різного перерізу. У ряді випадків карбідосталі є повноцінним замінником твердих сплавів.

Із зарубіжних марок швидкорізальної сталі за DIN EN ISO 4957 найбільшу застосовність мають HS6-5-2, HS6-5-3, HS6-5-2-5, HS10-4-3-10, HS2-9-2 і HS2-9-1-8. Позначення і масова частка легувального елемента після букв HS (High Speed steel) йде в такій послідовності: W-Mo-V-Co.

Особливості дослідження будови матеріалів, одержуваних методами порошкової металургії

Вироби з порошків відрізняються від звичайних матеріалів, насамперед, наявністю порів. Саме пористість в поєднанні з особливостями контакту металевих частинок між собою визначає специфічні властивості порошкових матеріалів. Для налагодження контролю технологічного процесу виготовлення таких матеріалів використовують макроаналіз – візуальний контроль зламів. У цьому випадку за зломом визначають розмір часток порошку, раковини, розшарування, судять про рівномірності спікання і однорідності будови виробів по перерізу, про наявність оплавлення, окислення і зневуглецювання.

Однак у багатьох випадках макроаналіз не дозволяє отримати вичерпну інформацію про будову і структуру порошкових матеріалів. Тоді вдаються до більш тонкого методу – вивчення мікроструктури. Мікроструктура

порошкових матеріалів, як і литих металів та сплавів, може бути однофазною або являти собою суміш двох чи більше фаз. Особливістю мікроструктури може бути наявність спеціальних неметалевих включень (графіт, азбест та ін.), а також пор.

Вивчення мікроструктури спечених матеріалів здійснюється за допомогою оптичних або електронних мікроскопів. Приготування шліфів для цієї мети виконують методами, відомими з металографії. Деяко відрізняється приготування шліфів з твердих сплавів і пористих матеріалів. У разі приготування шліфів з твердих сплавів шліфування проводиться на чавунному диску, на який наносять змочений в гасі порошок карбиду бору (тобто без використання абразивного паперу). У випадку ж приготування шліфів з пористих металів найпершою операцією є просочення пор зразків епоксидною смолою. При металографічному аналізі встановлюються розміри і форма частинок порошку, фазовий склад, наявність пор і неметалевих включень, їх розмір і характер розподілу.

Устаткування, інструмент і матеріали

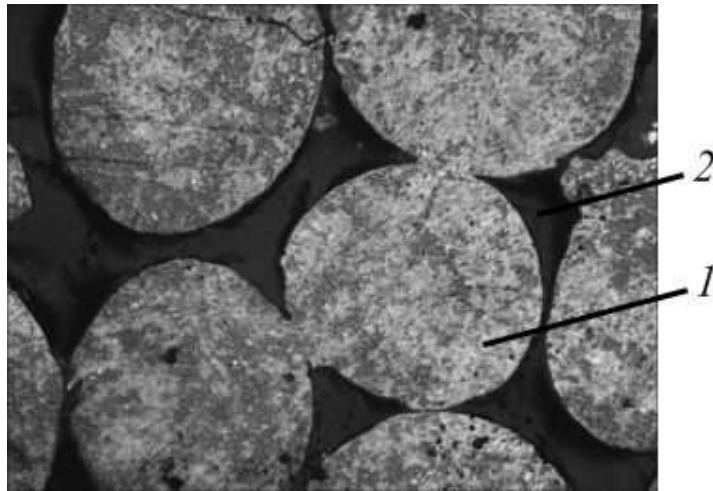
1. Обладнання, інструменти, матеріали: металографічний мікроскоп, шліфувально-полірувальний верстат, травильний розчин, набір мікрошліфів.
2. Плакати, стенди: зразки порошоків, отриманих різними методами; деталі і матеріали, отримані методами порошкової металургії.

Послідовність виконання роботи

Для проведення експериментальних досліджень, які полягають в дослідженні мікроструктури матеріалів, одержуваних методами порошкової металургії, здобувачам надається набір мікрошліфів. Набір містить зразки таких матеріалів: фільтри з порошоків корозійностійкої сталі 10X18H10T і бронзи марки БрОФ 10-1, фрикційні матеріали на мідній і залізній основі, конструкційні матеріали на залізній основі та на основі міді, тверді різальні сплави. Шліфи попередньо підготовлені і протруєні.

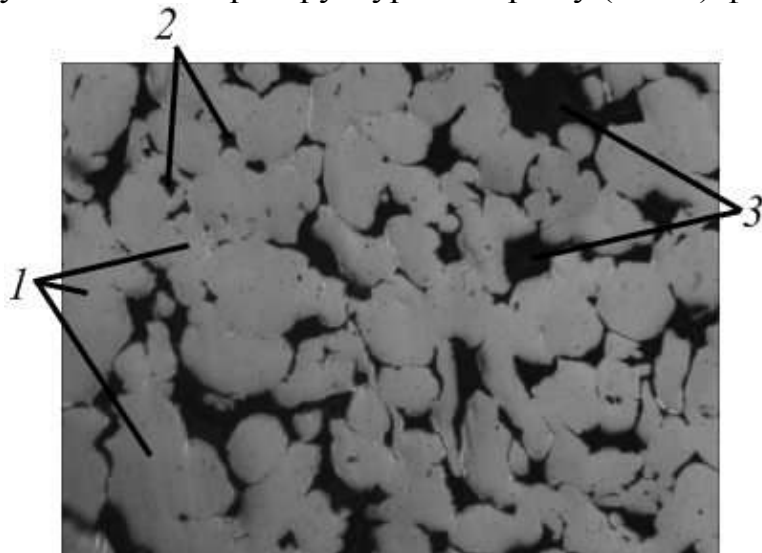
На мікроскопі за збільшення в 240 разів розглядаються мікроструктури поданих мікрошліфів. Під час проведення мікроструктурних досліджень здобувачі звертають увагу на взаємне розташування частинок порошку, наявність порів і неметалевих включень (графіту, оксидів, карбідів).

На рисунку 4.2 як приклад подано мікроструктуру матеріалу фільтра з порошку бронзи марки БрОФ 10-1, а на рисунку 4.3 – відповідно мікроструктуру антифрикційного матеріалу з порошоків заліза і графіту. Необхідно зарисувати схеми мікроструктур аналізованих матеріалів і описати їх властивості та застосування.



1 – частинки порошку; 2 – пори

Рисунок 4.2 – Мікроструктура матеріалу (× 240) фільтра



1 – частинки порошку; 2 – між частинного включення; 3 – внутрішньочастинні пори

Рисунок 4.3 – Мікроструктура антифрикційний матеріал (× 240)

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Загальні відомості технології отримання матеріалів методами порошкової металургії.
3. Зведення про основні області застосування матеріалів, одержуваних методом порошкової металургії.
4. Схематичне зображення розглянутих мікроструктур порошкових матеріалів, їх аналіз, властивості і застосування.
5. Висновки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ВИВЧЕННЯ СИСТЕМИ ВИБОРУ БАГАТОГРАННИХ ПЛАСТИН ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ ОБРОБЛЕННЯ

Мета роботи: вивчення принципів маркування багатогранних непереточуваних пластин та вивчення області їх застосування.

Теоретичні відомості

Поява змінних багатогранних пластин (ЗБП) знаменує новий етап у інструментальному забезпеченні верстатів. Переваги змінних багатогранних пластин наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Особливості використання змінних багатогранних пластин	Техніко-економічний ефект
Багатократне використання державки	Зменшення вартості інструменту. Підвищення якості та надійності інструменту
Усунення переточок	Підвищення якості пластин. Зменшення заточного обладнання, площ, числа робітників-заточників. Зменшення вартості експлуатації інструменту. Зменшення витрат абразивних матеріалів.
Усунення пайки	Підвищення якості пластин. Зменшення вартості і трудомісткості виготовлення інструменту.
Зменшення часу заміни інструменту	Зниження періоду економічної стійкості. Інтенсифікація режимів різання і підвищення продуктивності праці
Формування передньої грані на стадії виготовлення пластини	Забезпечення сталого дроблення стружки. Підвищення якості інструменту. Скорочення вартості експлуатації
Можливість зміцнення пластин	Підвищення якості пластин. інтенсифікація режимів різання і підвищення продуктивності праці

Згідно з ДСТУ ГОСТ 19042-80 багатогранні пластини розділяються на різальні, опорні і стружколомні. Перші використовують для виготовлення робочої частини інструментів, другі є опорою різальних пластин, забезпечують їх точне базування і тривалий термін служби державки.

Різальні пластини розрізняються за конструкцією, розмірами, точністю виготовлення, виконанню, геометрії і т. д. Вся ця інформація наводиться у позначенні пластини. У світі прийнято буквено-цифрове позначення пластин. Для позначення СМП застосовується 13-розрядний код, 10 розрядів якого є обов'язковими (рис. 5.1). Перші чотири розряду – літери.

S	N	G	N	12
1.	2.	3.	4.	5.
Основна форма	Задній кут	Клас допуску	Різновидність передньої поверхні та кріплення	Розмір
07	16	T	(N)	02020MT
6.	7.	8.	9.	10.
Товщина	Радіус при вершині	Форма різальної кромки	Напрямок різання	Додатковий код виготовлення

Рисунок 5.1 – Позначення різальних багатогранних непереточуваних пластин

1 – Буква, що позначає форму пластини

За формою пластини бувають:

– *рівносторонні рівнокутні:*

- H – шестигранні;
- O – восьмигранні;
- P – п'ятигранні;
- R – круглі;
- S – квадратні;
- T – трикутні;

– *рівносторонні нерівнокутні:*

- C – ромбічні з кутом при вершині 80°;
- D – ромбічні з кутом при вершині 55°;
- E – ромбічні з кутом при вершині 75°;
- M – ромбічні з кутом при вершині 86°;
- V – ромбічні з кутом при вершині 35°;
- W (02) – шестигранна з кутом при вершині 80°;

– *нерівносторонні рівнокутні:*

- L – прямокутні;

– *нерівносторонні нерівнокутні:*

А – паралелограм з кутом при вершині 85° ;
 В – паралелограм з кутом при вершині 82° ;
 К(08) – паралелограм з кутом при вершині 55° ;
 F(07) – паралелограм з кутом при вершині 84° .

На рисунку 5.2 показані форми багатогранних непереточуваних пластин і їх позначення.



Рисунок 5.2 – Форми непереточуваних пластин

2 – Буква, що позначає величину заднього кута

Різальні пластини можуть виготовлятися із заднім кутом певної величини або таким, що дорівнює нулю. У разі нульового заднього кута під час установлення на державку пластину розгортають на необхідний задній кут. Ці пластини більш універсальні, але потребують більш складного налаштування під час складання. Позначення і відповідні значення задніх кутів наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Значення задніх кутів БНП

Позначення	A	B	C	D	E	F	G	N	P	O
Задній кут, $^\circ$	3	5	7	15	20	25	30	0	11	інші

3 – Буква, що позначає клас допуску на розміри пластини

За ДСТУ ГОСТ 19042-80 встановлено такі класи точності пластин: А, F, C, H, E, G, J, K, L, M, N, U. Відповідні допуски на розміри пластин наведено в стандарті. Пластини подано в порядку збільшення допуску. Допуск задається на довжину різальної кромки і товщину пластини. Пластини класу А мають допуск на довжину різальної кромки і товщину $\pm 0,025$ мм, класу U – відповідно $\pm 0,25$ мм і $\pm 0,13$.

4 – Буква, що позначає конструктивні особливості або тип пластини

Конструктивні особливості або тип пластини враховують кількість сторін, якими може працювати пластинка, наявність або відсутність стружколомних канавок, наявність або відсутність і форму отвору для

закріплення пластини на державці інструменту. Пластини бувають односторонні (R, M, W, T, B, H) і двосторонні (N, F, G, Q, U, C, J). Односторонні пластини можуть працювати тільки однією стороною. Двосторонні пластини можуть працювати однією та іншою стороною. Це збільшує термін їх служби, але вони мають меншу жорсткість, міцність, менш стійку опорну поверхню.

Залежно від форми передньої грані розрізняють пластини з плоскою гранню (N, A, M, W, Q, B, C) та зі стружколомними канавками (R, M, F, G, T, U, H, J).

Залежно від наявності отвору розрізняють пластини без отвору (N, R, F) та з отвором – всі інші. Форми пластин наведено на рис. 5.3. У табл. 5.3 наведено буквені позначення і характеристика конструкції пластин.

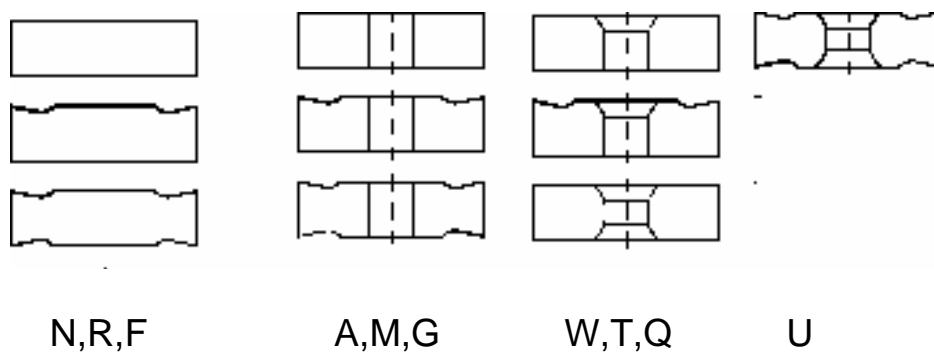


Рисунок 5.3 – Основні типи пластин

Таблиця 5.3

Позначення	Характеристика
N	без стружколомних канавок і без отворів
R	з односторонньою стружколомною канавкою без отвору
F	з двосторонньою стружколомною канавкою без отвору
A	без стружколомних канавок з отвором
M	з односторонньою стружколомною канавкою з отвором
G	з двосторонньою стружколомною канавкою з отвором
W	без стружколомних канавок з отвором і односторонньою фаскою
T	з односторонньою стружколомною канавкою з отвором і односторонньою фаскою
Q	без стружколомних канавок з отвором і двосторонньою фаскою
U	з двосторонньою стружколомною канавкою з отвором і двосторонньою фаскою
X	спеціальні конструкції

5 – Число, що позначає розмір пластини

Для рівнобедрених рівнокутних і рівносторонніх нерівнокутних змінних багатограних різальних пластин як число, що характеризує розмір пластини, вибирається розмір теоретичної бічної довжини в мм (рис. 5.4), причому цифри після коми не враховуються.

Приклад. Бічна довжина 12.7 – число 12.

Для круглих ріжучих змінних пластин як число, що позначає розмір пластини, вказується діаметр в мм. Для всіх інших змінних багатограних різальних пластин число, що характеризує розмір, завжди встановлюється відповідно до головної різальної кромки або найдовшої кромки. Цифри після коми не враховуються. У разі отримання однозначного числа на першому місці ставиться 0 (нуль).

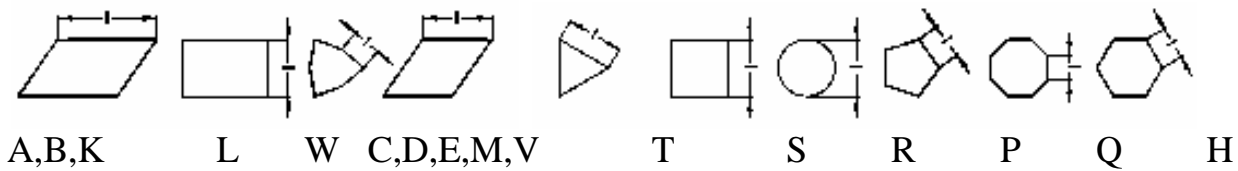


Рисунок 5.4 – Розміри пластин

Для кожної форми пластин стандарт встановлює певні довжини різальної кромки. Так, для пластин форми Т встановлено чотири розміри (в мм): 11,0; 16,5; 22,0; 27,5.

6 – Число, що позначає робочу товщину пластини

Робоча товщина пластини S – відстань від опорної поверхні до вершини різальної кромки (рис. 5.5). Число визначається розміром робочої товщини в мм.

Цифри після коми не враховуються. Якщо число однозначне, на першому місці ставиться 0 (нуль). Товщини пластин мають відповідати величинам, наведеним в табл. 5.4



Рисунок 5.5 – Товщина пластин з різною формою вершин

Таблиця 5.4 – Товщина непереточуваних пластин

Позначення	Товщина пластини, мм	Позначення	Товщина пластини, мм
01	1,59	05	5,56
T1	1,98	06	6,35
02	2,38	07	7,94
03	3,18	08	8,00
T3	3,97	09	9,52
04	4,76	12	12,70

Приклад. Товщина 4,76 – число 04.

Для пластин товщиною 1,98 і 3,97 на першому місці ставиться буква Т.

Приклад. Товщина пластини 3,97 – позначення Т3.

7 – Число, що позначає форму вершини і величину радіуса при вершині

Змінні багатогранні різальні пластини без радіусів при вершинах позначаються 00 (нуль-нуль).

Змінні багатогранні різальні пластини з радіусом при вершинах позначаються розміром радіуса в десятих частках міліметра. На першому місці ставиться 0 (нуль), якщо число менше 10.

Приклад: Радіус при вершині 0,8 мм – число 08.

Передбачено такі значення радіуса при вершині: 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4 мм.

8 – Буква, що позначає форму виконання різальної кромки

Пластини випускають з різною формою різальної кромки. Передбачено такі види пластин і їх позначення (рис. 5.6):

F – гостра, E – округлена, T – з фаскою, S – округлена з фаскою,

K – з подвійною фаскою, P – округлена з подвійною фаскою.

Після букви ставляться цифри, що показують довжину, кут фаски і значення радіуса в мм.

Наприклад, S0302004 – форма передньої поверхні з фаскою довжиною 0,30 мм під кутом 20° і радіусом 0,4 мм.

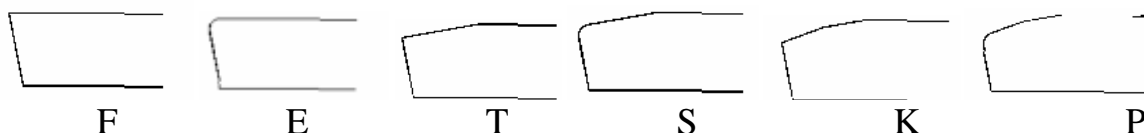


Рисунок 5.6 – Форми різальних кромки непереточувальних пластин

9 – Буква, що позначає напрямок різання



Рисунок 5.7 – Типи пластин залежно від напрямку різання

Розрізняють три типи виконання пластин для направлення різання:

R – тільки правого;

L – тільки лівого;

N – правого і лівого.

Наприклад, трикутна пластина, з нульовим заднім кутом, класу точності M, з отвором, з односторонніми стружколапними канавками, з розмірами $l = 16,5$; $S = 4,76$; $R = 0,8$, що має різальні кромки з фаскою правого виконання, буде позначатися: TNMM160408TR.

Приклад позначення інструментального матеріалу

К С 8 0 50

С Твердий сплав з покриттям

Т Кермет (з покриттям чи без)

В PCBN (кубічний нітрид бору)

D PCD (полікристалічний алмаз)

Y KYON (кераміка)

9CVD твердий сплав з хімічним покриттям

8MT-CVD твердий сплав з середньотемпературним хімічним покриттям

5PVD твердий сплав з фізичним покриттям

1 Без покриття

1 Сталь (синій)

2 Нержавіюча сталь (жовтий)

3 Чавун (червоний)

4 Кольорові метали (зелений)

5 Термостійкі сплави (оранжевий/помаранчевий)

6 Тверді матеріали (сірий)

0 Універсальний (для декількох груп)

01 Висока зносостійкість

50 Висока в'язкість

Для полегшення пластини маркують кольором залежно від оброблюваного матеріалу, для якого вони рекомендуються.

10 –Додатковий код Послідовність вибору пластинки

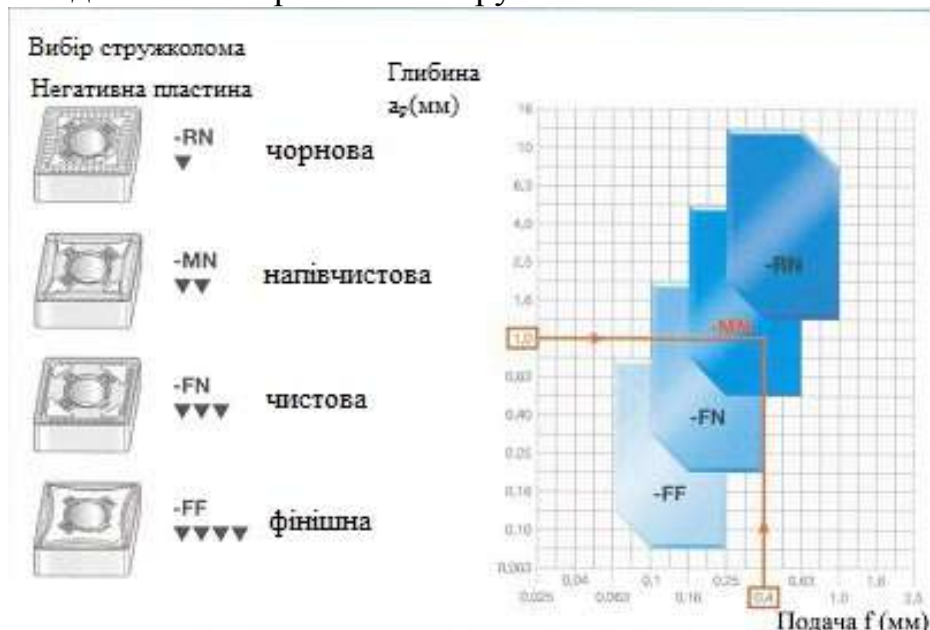
Вихідними даними є оброблюваний матеріал, стан заготовки, необхідна чистота обробленої поверхні.

- 1 Визначення групи оброблюваності матеріалу.
- 2 Визначення виду обробки, призначення подачі і глибини різання.
- 3 Вибір типу стружколома.
- 4 Вибір марки інструментального матеріалу.
- 5 Призначення швидкості різання.

Приклад послідовності вибору пластинки для обробки сталі конструкційної, шорсткість обробленої поверхні Ra 2,5, заготовка без кірки, безперервне різання.

Сталь
Нержавіюча сталь
Чавун
Кольорові метали
Жароміцні сплави
Тверді матеріали

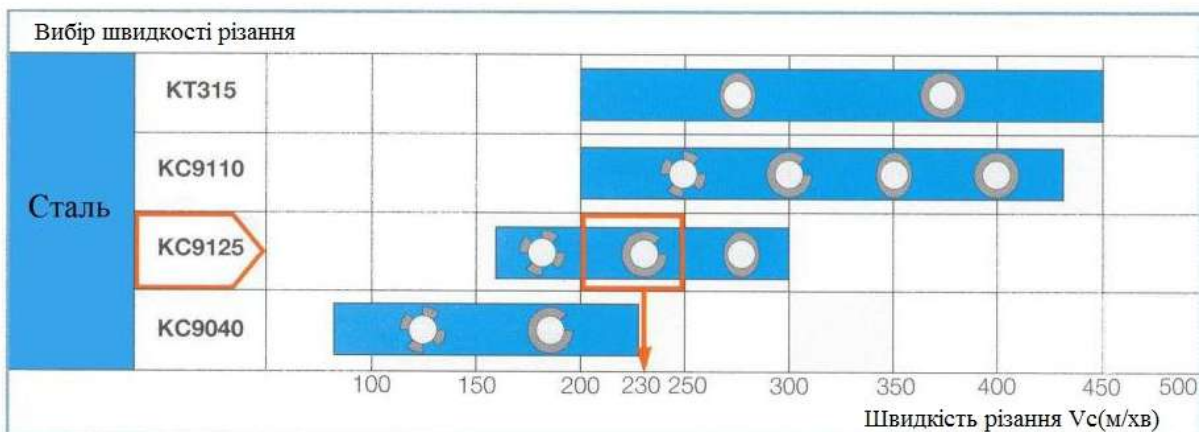
1. Сталь відноситься до групи оброблюваності P (синій колір).
2. Обробка напівчистова (Ra 2,5), умови обробки – нормальні (заготовка без кірки, безперервне різання). За табл. 5.1 приймаємо $S=0,4$ мм/об, $l=1$ мм.
3. Згідно з завданням вибираємо тип стружколома MN.



4. Для заданих умов обробки і типу стружколома відповідно до рекомендацій вибираємо марку інструментального матеріалу KC9125.

Вибір ріжучого матеріалу		-FF	-FN	-MN	-RN
Умови різання	Стружколом	▼▼▼▼	▼▼▼	▼▼	▼
Чорнова обробка		KC9110	KC9125	KC9125	KC9040
Легка обробка		KC9110	KC9125	KC9125	KC9040
Змінна глибина різання, лита або кована юрка		KT315	KC9110	KC9125	KC9125
Гладке різання, попередньо оброблена поверхня		KT315	KT315	KC9110	KC9110

5. Згідно з рекомендаціями призначаємо швидкість різання $V=200$ м/хв.



Групи оброблюваності матеріалів

Сучасні марки інструментальних матеріалів, що випускаються провідними вітчизняними і міжнародними фірмами, крім комерційної назви обов'язково класифікуються за сферою застосування. Для цього використовують рекомендації міжнародної організації стандартів ISO, які передбачають їх використання для груп оброблюваних матеріалів з урахуванням типу утвореної стружки, типу обробки, умов обробки, а також видів обробки (точіння, фрезерування та ін.). Відповідно до ISO 513: 2004 всі конструкційні матеріали діляться на шість основних груп за оброблюваністю.

Ці матеріали для зручності позначено різними кольорами.

До **групи Р** (позначаються синім кольором) входять сплави для обробки конструкційних вуглецевих, легованих і інструментальних сталей і сталевих лиття, під час обробки яких отримують суцільну (зливну) стружку.

До **групи М** (жовтий колір) входять сплави для обробки феритних, мартенситних, аустенітних нержавіючих, марганцевистих високолегованих сталей, легованих чавунів, під час обробки яких отримують як стружку надлому (елементну), так і суцільну (зливну).

До **групи К** (червоний колір) входять сплави для обробки ковких і сірих чавунів, під час обробки яких одержують стружку надлому і елементну.

До **групи N** (зелений колір) входять матеріали для обробки кольорових металів і сплавів, неметалів, пластмас.

До **групи S** (помаранчевий колір) входять матеріали для обробки термостійких сплавів на основі заліза, нікелю, кобальту, титану.

До **групи H** (сірий колір) входять матеріали для обробки твердих (загартованих) матеріалів і сплавів. Кожна група застосування ділиться на підгрупи, причому із збільшенням індексу підгрупи від 01 до 50, умови обробки стають більш твердими, починаючи від чистового різання і закінчуючи чорновим з ударами. Чим більше індекс підгрупи застосування, тим меншими мають бути зносостійкість інструментального матеріалу і допустима швидкість різання; але вищою міцність (ударна в'язкість).

Визначення виду обробки і призначення глибини і подачі

Швидкість різання, безперервність обробки, жорсткість системи СПІД, спосіб отримання заготовки (стан оброблюваної поверхні) визначають умови обробки та дозволяють сформулювати вимоги до основних властивостей матеріалу. Умови обробки можуть бути гарні, нормальні і важкі.

Гарні умови праці характеризуються такими чинниками.

Високі швидкості. Безперервне різання. Попередньо оброблені заготовки. Висока жорсткість технологічної системи СПІД. Вимоги до інструментального матеріалу – висока зносостійкість.

Нормальні

Помірні швидкості різання. Контурне точіння. Поковки і виливки. Досить жорстка система СПІД. Вимоги до інструментального матеріалу – гарна міцність у поєднанні з досить високою зносостійкість.

Важкі

Невисокі швидкості. Переривчасте різання. Товста кірка на виливках або поковках. Нежорстка система СПІД. Вимоги до матеріалу – висока міцність. Крім підгруп застосування визначається тип обробки (*чорнова*,

середня, чистова, остаточна), що дозволяє орієнтуватися у величинах глибини різання і подачі.

Таблиця 5.5 – Тип обробки залежно від розмірів зрізуваного шару

Параметри режиму різання	Тип обробки			
	Остаточна	Чистова	Середня	Чорнова
Глибина t , мм	0,25-2,0	0,5-3,0	1,0-6,0	5,0-10,0
Подача S , мм/об	0,05-0,15	0,1-0,3	0,2-0,5	0,4-1,8

При визначенні групи і підгрупи оброблюваності матеріалу необхідно враховувати тип обробки. Потрібно зазначити, що межі підгрупи застосування, особливо сучасних сплавів, визначаються орієнтовно і неоднозначно. Тому один інструментальний матеріал може добре працювати в двох-трьох підгрупах застосування або навіть в різних групах застосування.

Для прикладу в таблиці 5.6 наведено рекомендовані підгрупи інструментальних матеріалів залежно від умов оброблення.

Таблиця 5.6 – Групи оброблюваності матеріалів і умови оброблення

Умови обробки	ІБ0	Тип обробки			
		Обробна	Чистова	Середня	Чорнова
Хороші	P	P01-P10	P10-P25	P25-P30	P30-P35
	M	M10-M15	M15-M20	M20-M25	M25-M30
	K	K01-K05	K05-K10	K10-K15	K15-K20
Нормальні	P	P10-P25	P25-P30	P30-P40	P40-P50
	M	M15-M20	M20-M25	M25-M30	M30-M35
	K	K05-K10	K10-K15	K15-K20	K20-K25
Важкі	P	P30-P35	P35-P40	P40-P45	P45-P50
	M	M20-M25	M25-M30	M30-M35	M35-M40
	K	K10-K15	K15-K20	K20-K25	K25-K30


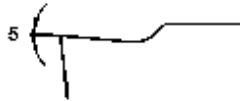
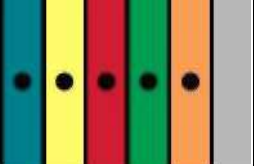


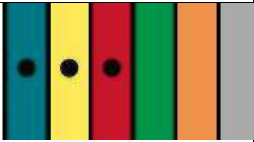







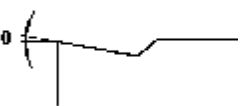


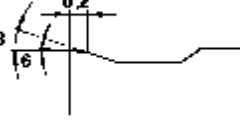


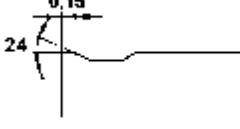

Чим більший індекс підгрупи застосування, тим меншою має бути допустима швидкість, але вищою допустима подача і глибина різання.

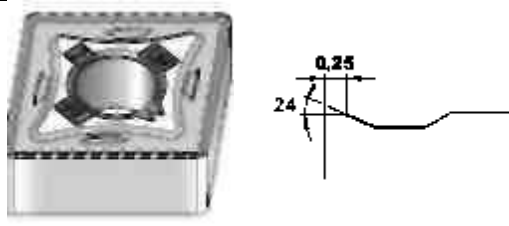

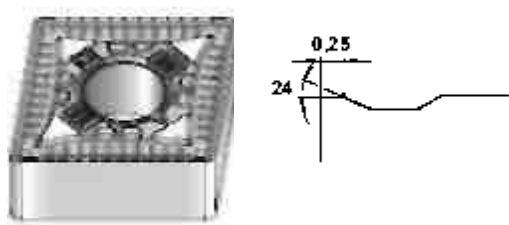

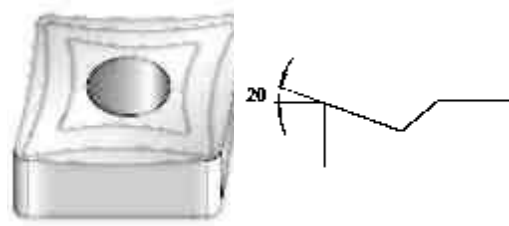

Типи стружколомів

Залежно від оброблюваного матеріалу, виду обробки і напрямку подання передня поверхня пластинки має різну форму для забезпечення надійного дроблення стружки.

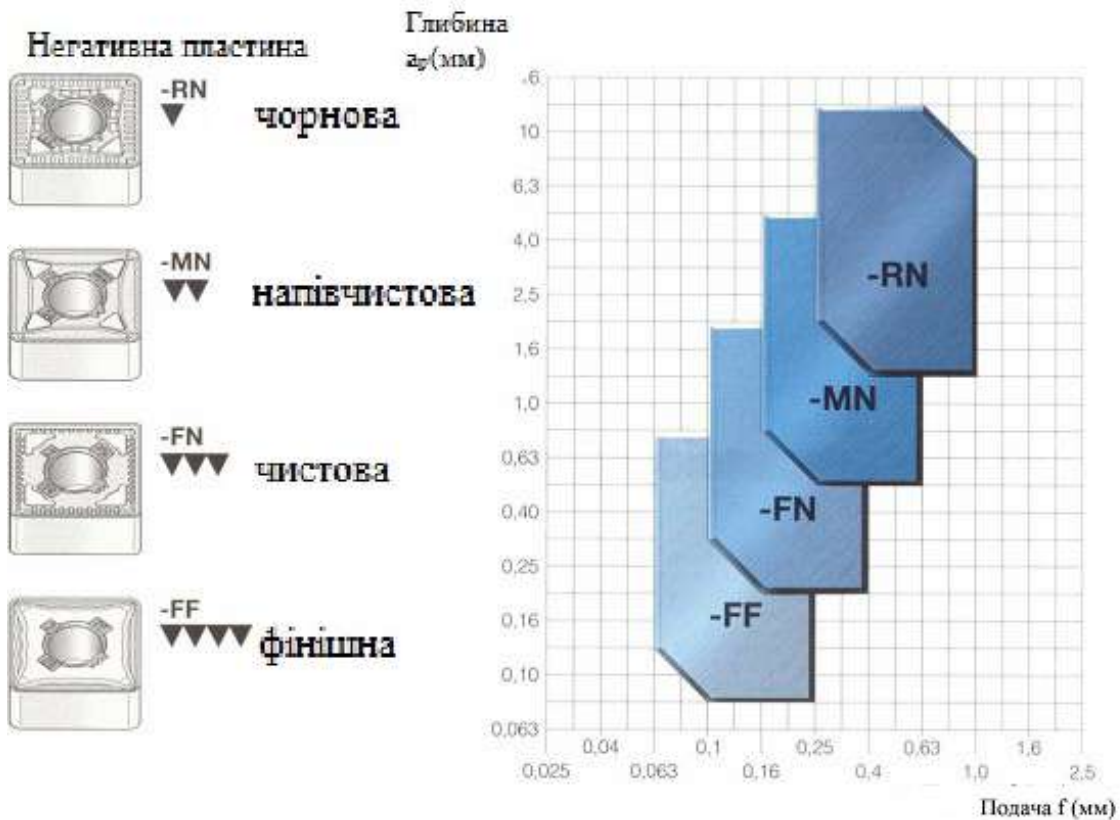
Типи стружколомів та області їх застосування наведено в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Типи стружколомів і область їх застосування

		-LF		Стружколом для чистової обробки, широко застосовується для м'якого різання.
		-FF		Стружколом для остаточного оброблення
		-FP		Стружколом для чистової обробки з позитивною конструкцією різальної кромки.
		-FN		Стружколом для чистової обробки з негативною стабільною різальною кромкою.
		..GP		Стружколом для середньої обробки з відшліфованою по всьому об'єму гострою ріжучою кромкою
		-MP		Стружколом для середньої обробки з позитивною конструкцією ріжучої кромки
		-MN		Стружколом для середньої оброблення з негативною стабільною конструкцією різальної кромки

	<p>-UN</p> 	<p>Стружколом для середньої обробки негативною стабільною конструкцією різальної кромки</p>
	<p>-RN</p> 	<p>Стружколом для чорнової обробки з негативною стабільною конструкцією різальної кромки</p>
	<p>..MS</p> 	<p>Стружколом для чорнового оброблення з позитивною конструкцією різальної кромки</p>

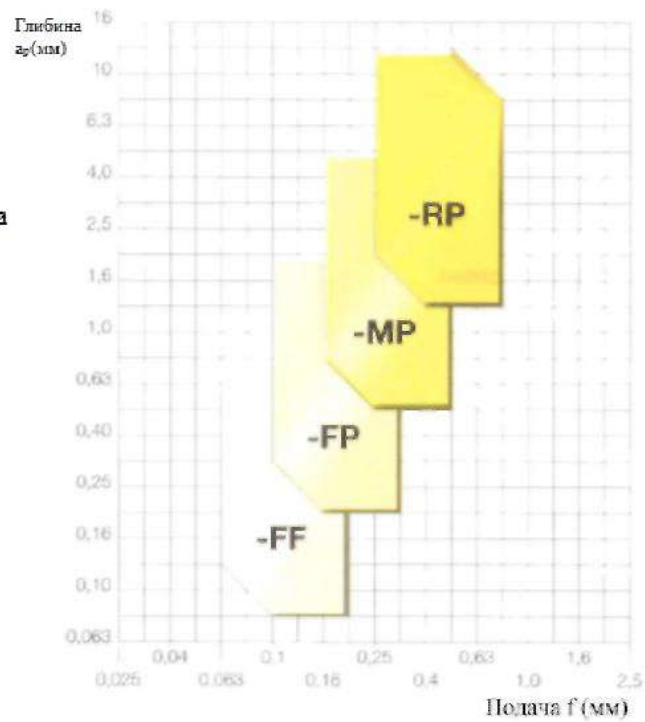
Рекомендації щодо вибору типу стружколома для обробки матеріалів групи



Рекомендації щодо вибору типу стружколома для обробки матеріалів групи

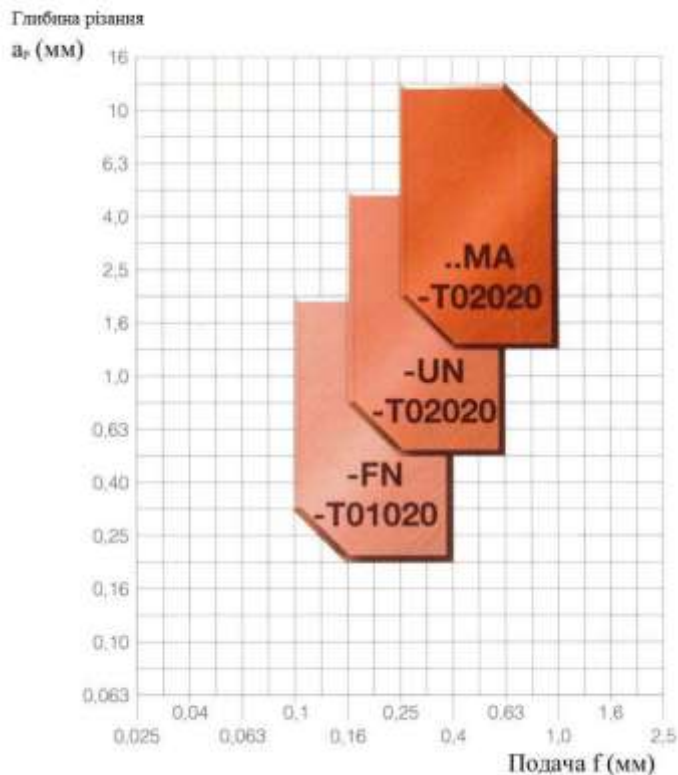
Геометрія для нержавіючої сталі

Негативна пластина



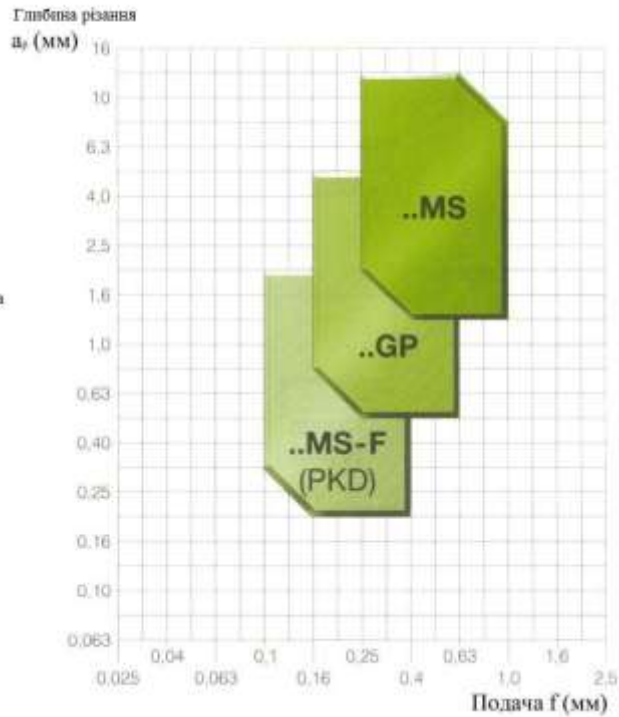
Рекомендації щодо вибору типу стружколома для оброблення матеріалів групи

Геометрія для чавуна
Негативні пластини



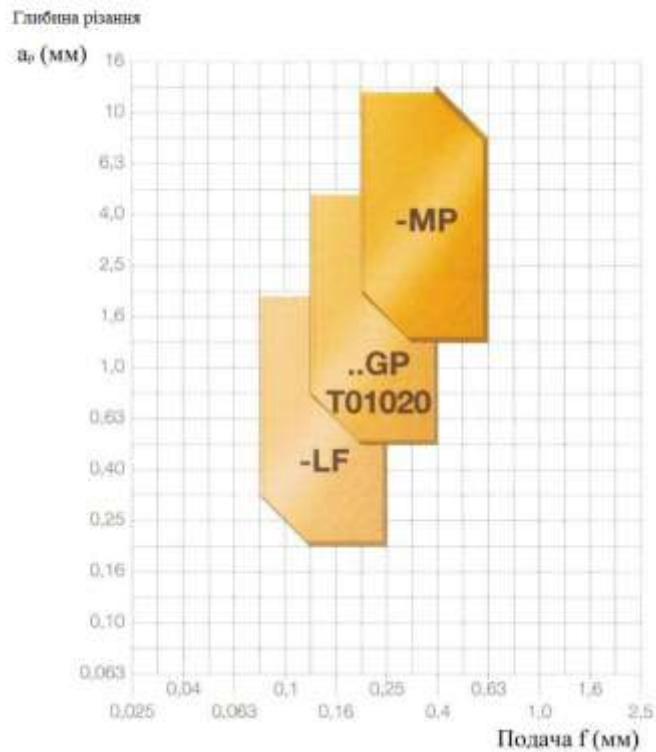
Рекомендації щодо вибору типу стружколома для обробки матеріалів групи

Геометрія для кольорових металів
Негативні пластини



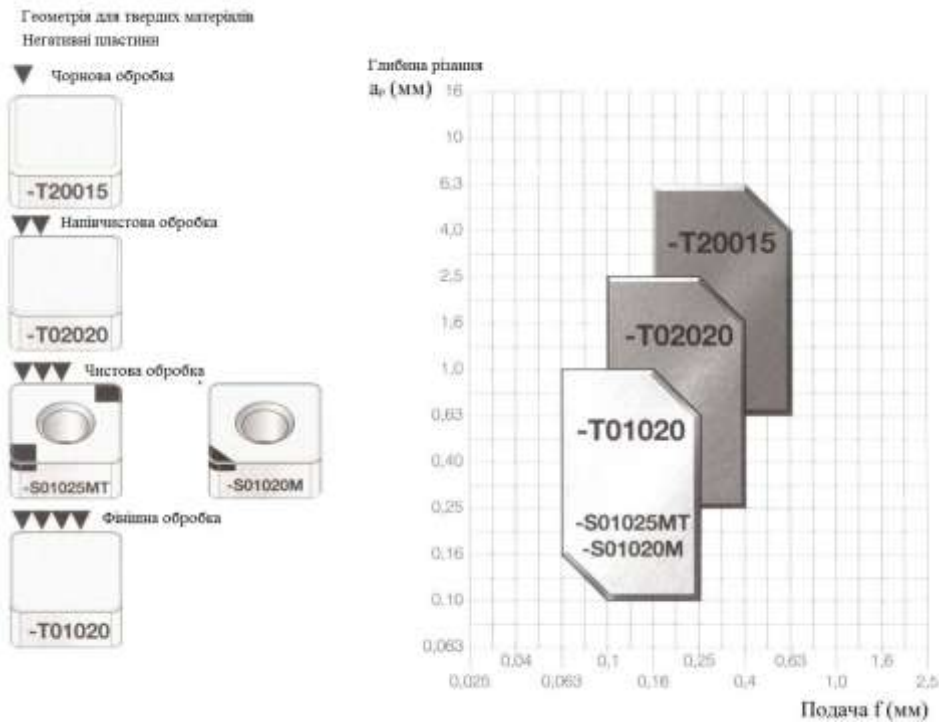
Рекомендації щодо вибору типу стружколома для оброблення матеріалів групи

Геометрія для термогнвких сплавів
Негативні пластини



Рекомендації щодо вибору типу стружколома для оброблення матеріалів групи Н

Вибір інструментального матеріалу залежно від оброблюваного типу обробки та виду стружколома



Обробка сталей групи Р (синій колір)

Стружколоми		-FF	-FN	-MN	-RN
		▼▼▼▼	▼▼▼	▼▼	▼
Умови різання					
Чорнова обробка		KC9110	KC9125	KC9040	KC9040
Легка обробка		KC9110	KC9125	KC9125	KC9040
Змінна глибина різання, літа або кована зірка		KT315	KC9110	KC9125	KC9125
Гладке різання, попередньо оброблена поверхня		KT315	KT315	KC9110	KC9110

Обробка спеціальних сталей групи М (жовтий колір)

Обробка чавунів групи К (червоний колір)

Умови різання	Стружколоми	▼▼▼		▼▼		▼	
		-T01020	-FN	-T02020	-UN	-T02020	..MA
Чорнова обробка			KC9315	KY3500	KC9325	KY3500	KC9325
Легка обробка			KC9315	KY3500	KC9315	KY3500	KC9325
Змінна глибина різання, лита або кована кірка		KY4400	KT315	KY1615	KC9315	KY3500	KC9315
Гладке різання, попередньо оброблена поверхня		KY4400	KT315	KY1615	KC9315	KY3500	KC9315

Обробка кольорових металів групи N (зелений)

Умови різання	Стружколоми	..MS-F (PKD)	..GP	..MS
		▼▼▼	▼▼	▼
Чорнова обробка			KC5410	KC5410
Легка обробка		KD100	KC5410	KC5410
Змінна глибина різання, лита або кована кірка		KD100	KC5410	KC5410
Гладке різання, попередньо оброблена поверхня		KD100	KC5410	KC5410

Обробка жароміцних сплавів групи S (помаранчевий колір)

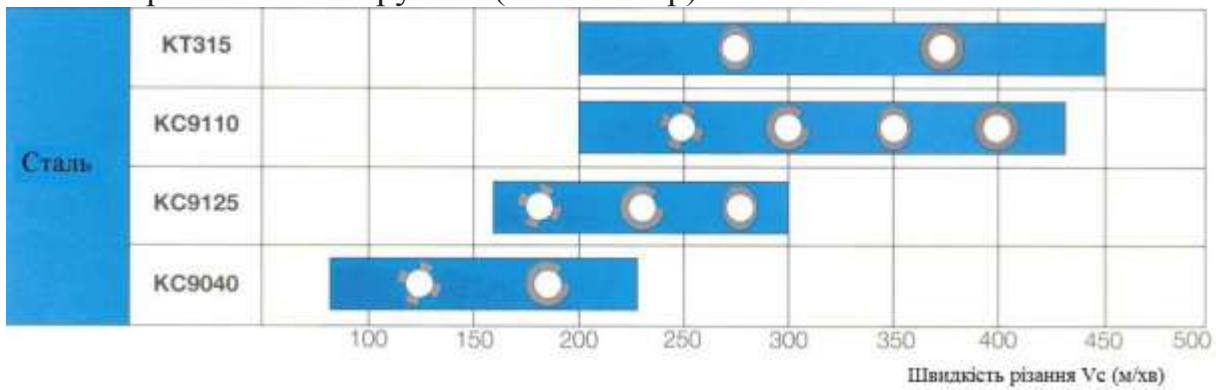
Умови різання	Стружколоми	▼▼▼	▼▼	▼	
		-LF	-T01020	..GP	-MP
Чорнова обробка				KC9245	
Легка обробка		KC5010	KY4300	KC5010	KC9240
Змінна глибина різання, лита або кована кірка		KC5010	KY4300	KC5010	KC9240
Гладке різання, попередньо оброблена поверхня		KC5010	KY2100	KC5010	KC5010

Обробка твердих матеріалів групи H (сірий колір)

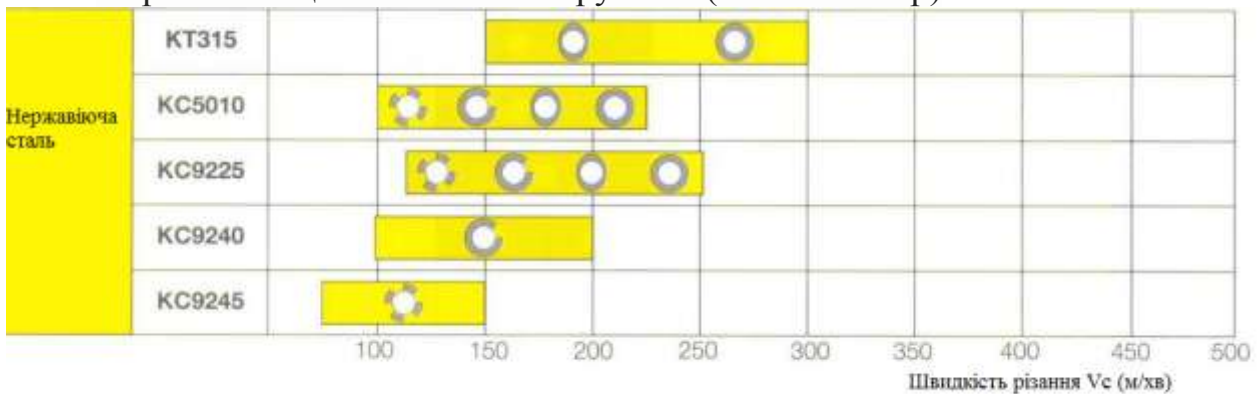
Умови різання	Стружколоми	▼▼▼▼	▼▼▼	▼▼	▼
		-T01020	-S01025MT -S01020M	-T02020	-T20015
Чорнова обробка			KB5625	KD230	KY4300
Легка обробка			KB5625	KD230	KY4300
Змінна глибина різання, лита або кована кірка		KY4400	KD050	KY1615	KY1615
Гладке різання, попередньо оброблена поверхня		KY4400	KD050	KY1615	KY1615

Рекомендації за призначенням швидкості різання

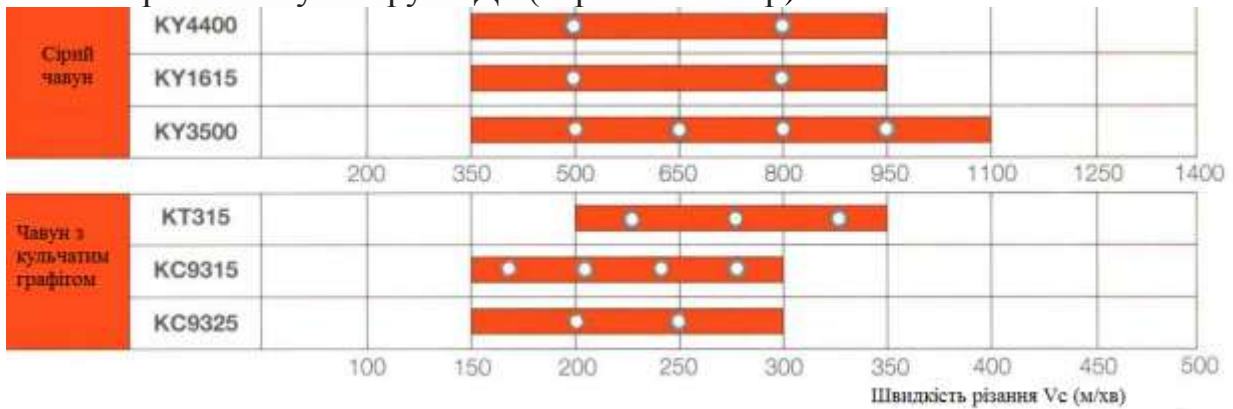
Обробка сталей групи Р (синій колір)



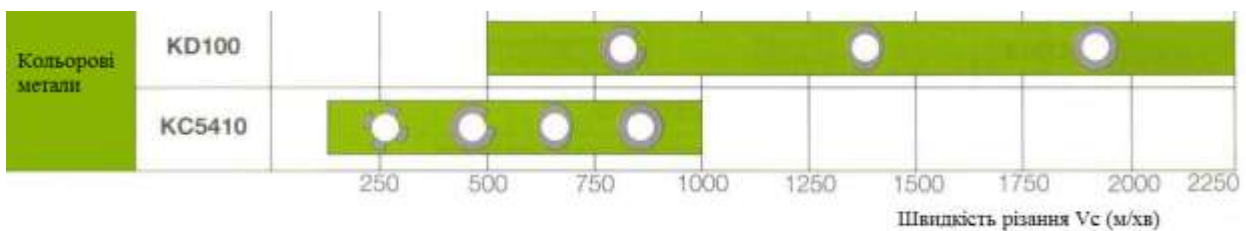
Обробка спеціальних сталей групи М (жовтий колір)



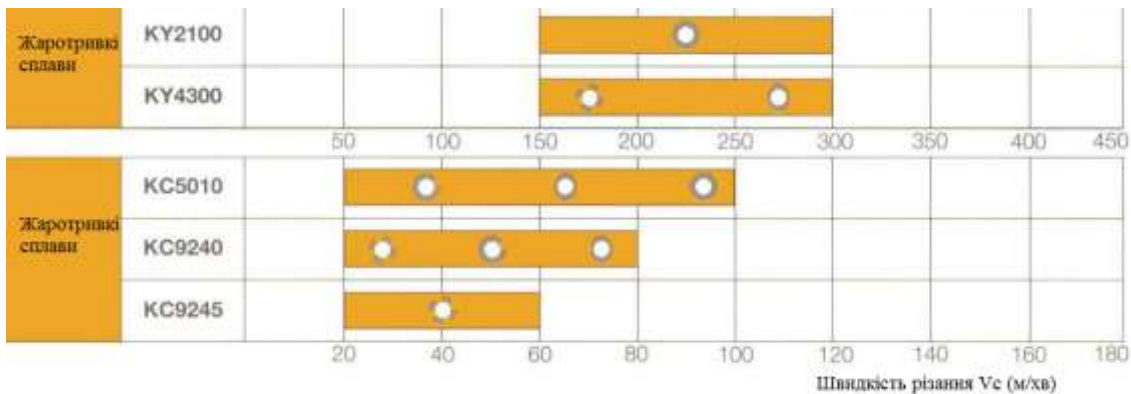
Обробка чавунів групи До (червоний колір)



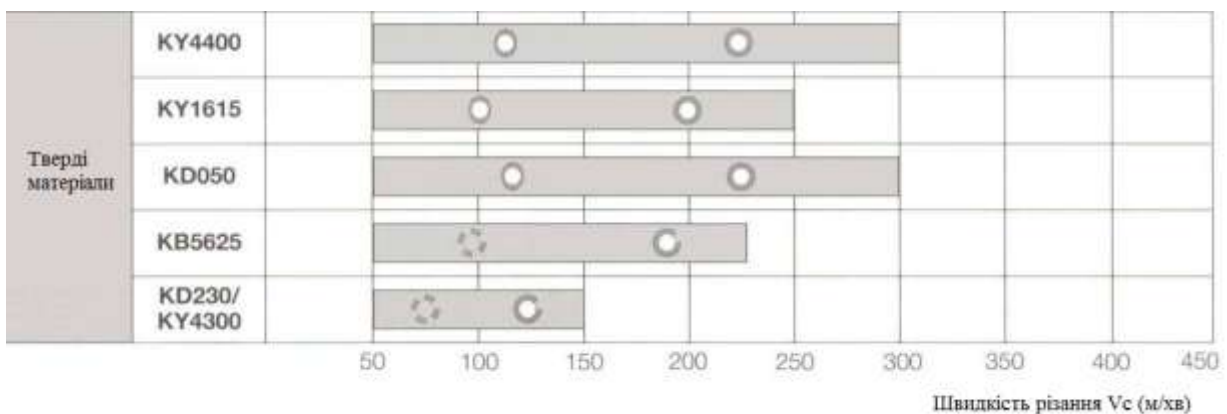
Обробка кольорових металів групи N (зелений колір)



Обробка жароміцних сплавів групи S (помаранчевий колір)



Обробка твердих матеріалів групи H (сірий колір)





















Хід виконання роботи
















1. Вивчити систему маркування багатограних непереточуваних пластин.
2. Ознайомитись із довідниковою літературою.
3. Законспектувати основні положення.
4. Розшифрувати згідно з індивідуальним завданням марку багатогранної пластини та описати умови їх застосування.
5. Оформити звіт.
















Завдання до виконання індивідуального завдання
















Розшифруйте наведені позначення непереточуваних багатограних пластин та підібрати різальну пластину для конкретних умов роботи.

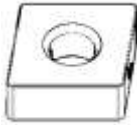














Варіант	Шорсткість поверхні, мкм	Заготовка	
		Матеріал	Вид заготовки і стан поверхні
1	Ra=3.2	Сталь 50	Поковка з кіркою
	Ra=2.5	30X13	Прокат без кірки
	Ra=1.25	СЧ15	Лиття з кіркою
	Ra=2.5	Д16Т	Прокат без кірки
















			
марка	CNGA160608T02020	DNGA150416T02020	TNGA220412T02020
2	Ra=1.25	ШХ15	Поковка з кіркою
	Ra=3.2	12X18H9T	Прокат без кірки
	Rz=20	Д16Т	Прокат без кірки
	Ra=2.5	СЧ15	Лиття без кірки
			
марка	VNMG16040UN	WNMG080412FP	ENMN130716T02020
3	Rz=20	Ст5	Прокат з кіркою
	Rz=20	12X18H9T	Прокат без кірки
	Rz=80	Бр АЖН-11-6-6	Лиття з кіркою
	Ra=3.2	ВЧ50-7	Лиття з кіркою
			
марка	CCGT09T308HP	DCGT11T308HP	TSGT110208HP
4	Ra=2.5	ШХ15	Прокат без кірки
	Rz=20	12X18H9T	Прокат з кіркою
	Rz=80	Бр АЖН-11-6-6	Лиття з кіркою
	Rz=80	СЧ15	Лиття без кірки
			
марка	VBGT160404HP	SPGN120416T01020	TPGN220416T01020
5	Ra=2.5	У8А	Прокат без кірки
	Ra=3.2	ХН35ВТЮ	Прокат без кірки
	Rz=20	ЛАЖ 60-1	Лиття без кірки
	Rz=20	СЧ28	Лиття з кіркою
			
марка	CNMG090304FF	DNGP150408	TNGG160402LF
6	Rz=40	Сталь 40X	Прокат без кірки
	Ra=3.2	12X18H9T	Прокат без кірки
	Rz=20	ЛМЦОС-38-2	Лиття з кіркою
	Rz=80	СЧ15	Лиття з кіркою
			

			
марка	VNMS160408	WNMG080416FN	ENGN130712T02020
7	Ra=3.2	Сталь 45	Поковка з кіркою
	Rz=80	20X13	Поковка без кірки
	Ra=2.5	Бр АЖ9-4	Лиття з кіркою
	Ra=2.5	СЧ28	Лиття без кірки
			
марка	CCMT060208FW	DCMT11T312LF	TCMT220408LF
8	Ra=3.2	Ст5	Прокат без кірки
	Rz=80	14X17H2	Поковка з кіркою
	Ra=1.25	Бр АЖ9-4	Лиття без кірки
	Ra=2.5	СЧ15	Лиття без кірки
			
марка	VBMT110308LF	SCUN120416T00520	PUN160304S01015M
9	Ra=2.5	ШХ 15	Прокат з кіркою
	Ra=3.2	12X18H9T	Поковка з кіркою
	Ra=1.25	Бр АЖ9-4	Лиття з кіркою
	Ra=2.5	СЧ28	Лиття без кірки
			
марка	CNMS160608	DNMG150612FN	TNGP220412
10	Rz=20	Сталь 40	Поковка з кіркою
	Ra=1.25	12X18H9T	Прокат з кіркою
	Rz=80	ЛМЦОС-38-2	Лиття з кіркою
	Ra=2.5	СЧ28	Лиття без кірки
			
марка	VSMG160412MP	WNMG060408FF	DNGX150716T02020
	Rz=80	Сталь 45	Прокат без кірки
	Ra=1.25	20X13	Поковка без кірки

11	Rz=80	СЧ15	Лиття з кіркою
	Ra=1.25	Д16Т	Поковка з кіркою
			
марка	CCMT09304LF	DCMT07020211	TCMT16T308UF
12	Rz=80	ШХ15	Поковка з кіркою
	Ra=1.25	30Х13	Прокат з кіркою
	Ra=2.5	Д16Т	Прокат без кірки
	Ra=3.2	ВЧ50-7	Лиття з кіркою
			
марка	VBMT16040411	SPGN120308T02020	T TPGN110304
13	Rz=80	Сталь 40ХН	Поковка з кіркою
	Rz=80	14Х17Н2	Поковка з кіркою
	Rz=80	ЛМЦОС-38-2	Лиття з кіркою
	Ra=1.25	СЧ15	Лиття з кіркою
			
марка	CNMM250624RW	DNMG150608FF	TNMA160416
14	Ra=2.5	У8А	Прокат без кірки
	Ra=1.25	12Х18Н9Т	Поковка з кіркою
	Rz=80	ЛАЗ 60-1	Лиття без кірки
	Ra=2.5	СЧ15	Лиття без кірки
			
марка	VNMA160408	WNMA080408	CNGX160724T02020
15	Ra=1.25	Ст5	Прокат без кірки
	Rz=80	30Х13	Прокат без кірки
	Rz=80	Бр АЖ9-4	Лиття без кірки
	Rz=80	СЧ15	Лиття без кірки
			
	CCMT120408MW	DPGT070204LF	TPGT110204HP
	Ra=3.2	Сталь 45	Прокат без кірки

16	Ra=1.25	ХН60ВТ	Поковка з кіркою
	Rz=20	ДТ16	Прокат з кіркою
	Rz=20	СЧ28	Лиття з кіркою
			
марка	WPMT06T308LF	SPUN120312T00520	Т TPUN160304
17	Ra=2.5	Ст3	Прокат без кірки
	Ra=3.2	14X17H2	Прокат без кірки
	Ra=1.25	Д16Т	Прокат з кіркою
	Ra=3.2	ВЧ50-7	Лиття з кіркою
			
марка	CNMS160608	DNMG150412RN	TNMG110308FF
18	Ra=1.25	Г13	Прокат з кіркою
	Ra=2.5	20X13	Прокат без кірки
	Ra=3.2	ЛС 59-ПТ	Лиття без кірки
	Ra=2.5	СЧ15	Лиття без кірки
			
марка	VNGP160402	WNMA080412	CNGX160716T02020
19	Ra=3.2	Сталь 45	Прокат без кірки
	Ra=2.5	14X17H2	Прокат без кірки
	Ra=3.2	ЛС 59-ПТ	Лиття без кірки
	Rz=20	СЧ28	Лиття з кіркою
			
марка	CCMT09T308UF	DPMT11T302LF	TPMT090202LF
20	Rz=80	Сталь 55	Поковка з кіркою
	Rz=80	12X18H9Т	Поковка без корки
	Rz=20	ЛАЖ 60-1	Лиття без кірки
	Ra=3.2	ВЧ50-7	Лиття з кіркою
			
марка	RCGN120700T20015	SPGN090312	Т TPGR220404К
	Ra=3.2	СЧ25	Прокат з кіркою

21	Rz=20	ДТ16	Прокат з кіркою
	Rz=20	Сталь 40	Поковка з кіркою
	Rz=80	20X13	Поковка без корки
			
марка	CNMA160616T02020	DNMS190608	TNMM160408RM
22	Rz=80	ШХ15	Поковка з кіркою
	Ra=1.25	П10Г13Л	Прокат з кіркою
	Ra=1,6	У10А	Прокат без кірки
	Ra=3.2	СЧ15	Прокат без кірки
			
марка	VNGG160408LF	WNGA080416T01020	CNMN120416T02020
23	Ra=3.2	14X17H2	Прокат без кірки
	Rz=80	38ХМЮ	Поковка без кірки
	Ra=0,63	Д16Г	Прокат з кіркою
	Ra=1,6	ВЧ50-7	Лиття з кіркою
			
марка	СРЕХ060203R1	DPMT11T308UF	TPMT110208MF
24	Rz=80	Сталь 40ХГГ	Поковка з кіркою
	Rz=80	14X17H2	Поковка з кіркою
	Rz=80	ЛМЦОС-38-2	Лиття з кіркою
	Ra=1.25	СЧ25	Лиття з кіркою
			
марка	RPGN090900T01020	SPUN190412	T PMR160304
25	Ra=2.5	ШХ15СГ	Прокат без кірки
	Rz=20	X18H9T10	Прокат з кіркою
	Rz=80	Бронза	Лиття з кіркою
	Rz=80	ВЧ-1000	Лиття без кірки
			

марка	SNMG120412MW	DNMG150618RN	TNMS160408
26	Rz=40	Сталь 40X	Прокат без кірки
	Ra=3.2	X18	Прокат без кірки
	Rz=20	BT16	Лиття з кіркою
	Rz=80	BЧ900-2	Лиття з кіркою
			
марка	VNGA220412T02020	WNMA080412T02020	CNGN190716T02029
27	Ra=3.2	Ст15	Прокат без кірки
	Rz=80	14X17H2	Поковка з кіркою
	Ra=1.25	ШХ20СГ	Лиття без кірки
	Ra=2.5	СЧ15	Лиття без кірки
			
марка	CPGT060204UF	RCGW2507M0T20015	TPMT16T308UF
28	Ra=2.5	Ст3	Прокат без кірки
	Ra=3.2	65Г	Прокат без кірки
	Ra=1.25	Д16Г	Прокат з кіркою
	Ra=3.2	BЧ700-2	Лиття з кіркою
			
марка	RPGX120700T02020	SPGR120308K	TPGN160308S01015M
29	Ra=2.5	Ст0	Прокат без кірки
	Ra=3.2	60С2А	Прокат без кірки
	Ra=1.25	BT16	Прокат з кіркою
	Ra=3.2	СЧ40	Лиття з кіркою
			
марка	WNMA091510	VNMS180206	RCGN140600S10015
30	Rz=80	Сталь 70	Поковка з кіркою
	Rz=80	04X18H10	Поковка без кірки
	Rz=20	AK8	Лиття без кірки
	Ra=3.2	ЧВГ300-4	Лиття з кіркою
			
марка	VNMA180206	T DNGX150716T02020	SPGN140208T01020

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

ВИБІР МАРКИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЗАДАНИХ УМОВ ОБРОБЛЕННЯ

Мета роботи: вивчення основних марок інструментальних матеріалів, призначених для механічного оброблення, та їхніх різальних властивостей, режимів різання і придбання навичок щодо вибору марки інструментального матеріалу для конкретного виду оброблення, виходячи із забезпечення максимуму продуктивності оброблення.

Теоретичні відомості

Послідовність вибору марки інструментального матеріалу. Вибір марки інструментального матеріалу і режимів різання проводиться в такій послідовності:

1. Для заданого оброблюваного матеріалу і умов обробки вибрати три різні марки інструментального матеріалу.

2. Для вибраних марок інструментальних матеріалів вибрати поправкові коефіцієнти на швидкість різання і на подачу.

3. На підставі значень поправкових коефіцієнтів порівняти продуктивність для трьох вибраних марок інструментальних матеріалів і вибрати оптимальний за критерієм максимальної продуктивності.

Оптимальним з погляду продуктивності вважається сплав, для якого значення поправкових коефіцієнтів K_v і K_s будуть максимальними.

Вибір матеріалу для оброблення вуглецевих конструкційних і інструментальних сталей. Для обробки вуглецевих конструкційних і інструментальних сталей в даний час використовують різні тверді сплави з покриттям і без, а також надтверді матеріали.

Поряд з твердими сплавами групи ВК, ТК і ТТК все більш широко застосовуються сплави групи МС, виготовлені за технологією шведської фірми Sandvik Coromant. Номенклатура цих сплавів досить різноманітна і вони можуть використовуватися під час оброблення різних матеріалів, замінюючи традиційні марки твердих сплавів. Характерними особливостями сплавів групи МС є однорідність структури, підвищена міцність і висока стабільність різальних властивостей, що особливо важливо в умовах роботи на сучасному автоматизованому обладнанні.

У таблиці 6.1 наводяться рекомендації щодо раціонального застосування марок інструментальних матеріалів з урахуванням основних умов експлуатації інструменту: марки оброблюваного матеріалу, операції, стану поверхні заготовки, глибини різання, типу вживаного устаткування.

Для кожної області застосування, як правило, рекомендується кілька близьких за властивостями інструментальних матеріалів, розташованих за ступенем переваги. Перший стовпець кожної карти відповідає переважним

маркам інструментальних матеріалів для усереднених умов експлуатації. За високої жорсткості технологічної системи або за необхідності зменшення подачі і, відповідно, збільшення швидкості різання доцільно вибирати матеріали по дві колонки. За зниженої жорсткості технологічної системи, необхідності підвищення подачі або надійності інструменту доцільно вибирати матеріали по третьому стовпцю.

Таблиця 6.1 – Раціональні марки інструментальних матеріалів для оброблення сталей вуглецевих, підшипникових та інструментальних (НВ 110 ... 330)

Умови експлуатації			Марка інструментального матеріалу		
Характер обробки	Характер припуску	Глибина різання t, мм	Сприятливі умови обробки	Нормальні умови обробки	Важкі умови обробки
Чорнова	Безперервний	До 3	ВОК-60, ТН-20, КНТ-16, ВП1195	Т15К6, МС111	Т14К8, МС2210, МС2215, ВП1255, ВП1325
		Вище 3-7	Т15К6, КНТ-16, МС111	Т14К8, МС2210, МС2215, МС121, ВП1255, ВП1325	Т5К10, МС1460, МС1465
		Вище 7	Т14К8, МС2215, МС2210, ВП1255, ВП1325	Т5К10, МС131, МС1460, МС1465	Т5К12, МС146
		До 3	Т15К6, МСШ, ВП1195	Т14К8, МС2210, МС2215, ВП1255, ВП1325	Т5К10, МС1460
	Перервний	Вище 3-7	Т14К8,	Т5К10,	Т5К12,
	Перервний		МС2210, МС2215, ВП1325	МС1460, МС1465	МС146
		Вище.7		Т5К12,МС46	ТТ7К12
		До 1	Композит 10	ВО-13, ВШ-75	Т30К4, ТН-20
Чистова	Неперервний	Вище.1-3	ВО-13, Т30К4, ВШ-75	Т30К4, МС101	ТН-20, Т15К6

Для зазначених в таблиці 6.1 умов експлуатації інструменту розроблено систему поправкових коефіцієнтів на подачу і швидкість різання, подану в таблицях 6.2–6.3 . Ця система дає можливість залежно від характеру розв'язуваних завдань проводити вибір режимів різання за критеріями мінімуму приведених витрат, максимуму продуктивності і мінімуму витрат за заданої витрати інструменту. Оптимальним є той інструментальний матеріал, для якого добуток поправкових коефіцієнтів $K_s \cdot K_v$ максимальний.

Коефіцієнт 1,0 відповідає кращим для заданих умов інструментальним матеріалам. У випадку високої жорсткості технологічної системи або необхідності зменшення подачі і, відповідно, збільшення швидкості різання доцільно застосовувати матеріали з підвищеною зносостійкістю і поправочним коефіцієнтом на швидкість різання 1,0. За зниженої жорсткості технологічної системи, необхідності підвищення подачі або надійності інструменту бажано використовувати матеріали з підвищеною міцністю і поправочним коефіцієнтом на подачу 1,0.

Порожні клітинки в таблицях потрібно розуміти так, що для заданих умов експлуатації недоцільно застосовувати інструментальні матеріали, зазначені у відповідних графах таблиці.

Таблиця 6.2 – Вибір поправкових коефіцієнтів на подачу K_s

Умови експлуатації			K_s залежно від марки матеріалу					
Характер обробки	Характер припуску	Глибина різання, мм	В0К-60, ВО-13, ВШ-75	Т30К4, ТН20, МС101 ВП1195	Т15К6, МС111, КНТ16	Т14К8, МС2210, МС2215, МС121, ВП1255, ВП1325	Т5К10, МС131, МС1460, МС1465	Т5К12, МС146, ТТ7К1 2
Чорнова	Неперервний	До 3		0,	1,0	1,05		
		3...7			0,9	1,0	1,1	
		Вище 7			0,8	0,85	1,0	1,15
		До 3			0,9	1,0	1,1	
	Неперервний	3...7				0,85	1,0	1,15
		Вище 7					0,8	1,0
Чистова	Неперервний	До 1	1,0	1,				
		1.3	0,9	1,	1,1			

Вибір матеріалу для обробки корозійно стійких сталей. Нині для обробки корозійно стійких матеріалів промисловість пропонує велику різноманітність нових марок твердих сплавів: сплави групи ВК з дрібнозернистою і особливо дрібнозернистою структурою; сплави групи

МС, виготовлені за технологією шведської фірми Sandvik Coromant; сплави з одношаровими і багатшаровими зносостійкими покриттями.

Тверді сплави зі зносостійкими покриттями марок МС2210, МС2215, ВП1255 і ВП1325 рекомендуються для чистової й напівчистової обробки важколегованих сталей і сплавів, для яких характерні адгезійне і дифузійне зношування.

Таблиця 6.3 – Вибір поправкових коефіцієнтів на швидкість різання Kv

Умови експлуатації			Kv залежно від марки матеріалу					
Характер оброблення	Характер припуску	Глибина різання, мм	ВOK-60, BO-13, ВШ-75	Т30К4, ТН20, МС101, ВП1195	Т15К6, МС111, КНТ16	Т14К8, МС2210, МС2215, МС121, ВП1255, ВП1325	Т5К10, МС131, МС1460, МС1465	Т5К12, МС146, ТТ7К12
			До 3	1,2	1,1	1,0	0,9	
Чорнове	Неперервний	3...7		1,2	1,15	1,0	0,85	
		Вище 7			1,2	1,1	1,0	0,9
		До 3			1,145	1,0	0,85	
	Перервний	3...7				1,1	1,0	0,9
		Вище 7					1,05	1,0
		До 1	1,0	0,8	0,7			
Чистове	Неперервний	1...3	1,15	1,0	0,85			

З твердих сплавів з істотно поліпшеною структурою потрібно відзначити дрібнозернисті (ВК3 -М ВК6 -М) і особливо мілкозернисті (ВК6 -ОМ ВК10 - ОМ). Сплави ОМ мають щільну, особливо мілкозернисту структуру, що дозволяє загострювати і доводити інструмент, виготовлений з них, з найменшим радіусом округлення ріжучих кромки. Сплав ВК6-ОМ має високу стійкість під час тонкого точіння і розточування жароміцних і корозійностійких сталей і сплавів. Сплав ВК10-ОМ призначений для чорнової і напівчистової обробки корозійно-стійких сталей.

У таблиці 6.4 наведено рекомендації щодо раціонального застосування марок інструментальних матеріалів з урахуванням основних умов експлуатації інструмента: марки оброблюваного матеріалу, операції, стану поверхні заготовки, глибини різання, типу використовуваного устаткування.

Для зазначених в таблиці 6.4 умов експлуатації інструменту розроблено систему поправкових коефіцієнтів на подачу і швидкість різання, подану в таблицях 6.5-6.6. Ця система дає можливість проводити вибір режимів різання за критеріями мінімуму приведених витрат, максимуму продуктивності і мінімуму витрат за заданої витрати інструменту.

Вибір матеріалу для обробки чавунів і мідних сплавів. Досить перспективною групою інструментальних матеріалів для обробки чавунів і мідних сплавів є металокерамічні тверді сплави марок МС та ВП.

Сучасна ріжуча оксидно-карбідна ВЗ, ВОК-60, ВОК-63, ВОК-71 мінералокераміка за міцністю наближається до найбільш зносостійких твердих сплавів. Високі ріжучі властивості мінералокераміки проявляються під час швидкісної обробки, причому за чистового і напівчистового точіння забезпечується підвищення продуктивності до двох разів за одночасного зростання періоду стійкості інструментів до п'яти разів порівняно з інструментами з твердих сплавів.

Таблиця 6.4 – Рекомендації щодо вибору твердих сплавів для обробки високолегованих сталей

Умови експлуатації			Марка твердого сплаву		
Характер обробки	Характер припуску	Глибина різання, мм	Сприятливі умови обробки	Нормальні умови обробки	Важкі умови обробки
Чорнова і чистова	Неперервний	До 3	ВК3-М	ВК6-ОМ, Т15К6	ВК6-М, МС211, МС2215, ВП1255
		3...7	ВП1255, ВК6-ОМ, Т15К6, МС2215, ВП1325, ВП1255	МС2215, ВП1325, ВК6-М, МС211	ВК10-ОМ, ТТ10К8-В, МС2215, ВП1325, ВП1255
		Вище 7	МС2215, ВП1325, ВП1255, ВК6-М, МС211	ВП1455, ВК10-ОМ, ВК10-ХОМ, ТТ10К8-6	ВК15-ХОМ, ВК8, ВП1455
	Перервний	До 3	ВК6-ОМ, МС2215, ВП1325, ВП1255	МС2215, ВП1325, ВП1255, ВК6-М	ВК10-ОМ, ВК10-ХОМ, ТТ10К8-6
		3...7	МС2215, ВП1325, ВП1255, ВК6-М	ВП1455, ВК10-ОМ, ВК10-ХОМ, МС2215, ВП1325, ВП1255	ВК15-ХОМ, ВК8, ВП1455

Таблиця 6.5 – Вибір поправкових коефіцієнтів на подачу Ks

Умови експлуатації			Ks залежно від марки твердого сплаву				
Характер обробки	Характер припуску	Глибина різання, мм	ВК3-М	ВК6-ОМ, Т15К6	МС2215, ВП1325, ВП1255, ВК6-М	ВП1455, ВК10-ОМ, ВК10-ХОМ	ВК15-ХОМ, ВК8
Чорнова і чистова	Неперервний	До 3	0,95	1,0	1,05		
		3...7		0,9	1,0	1,1	
		Вище 7		0,8	0,85	1,0	
	Перервний	До 3		0,85	1,0	1,15	
		3...7			0,8	1,0	1,2

Таблиця 6.6 – Вибір поправкових коефіцієнтів на швидкість різання Kv

Умови експлуатації			Kv залежно від марки твердого сплаву				
Характер обробки	Характер припуску	Глибина різання, мм	ВК3-М	ВК6-ОМ, Т15К6	МС2215, ВП1325, ВП1255, ВК6-М	ВП1455, ВК10-ОМ, ВК10-ХОМ	ВК15-ХОМ, ВК8
Чорнова і чистова	Неперервний	До 3	1,2	1,0	0,8		
		3...7		1,15	1,0	0,85	
		Вище 7			1,1	1,0	0,9
	Перервний	До 3		1,15	1,0	0,85	
		3...7			1,1	1,0	0,95

В останні роки значного поширення набули синтетичні надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору (композити). Композити 01 і 02 застосовують для тонкого і чистового точіння деталей із загартованих сталей твердістю 50-70 HRC і чавунів будь-якої твердості без ударних навантажень, композити 05 і 06 – для чистового і напівчистового точіння деталей із загартованих сталей твердістю 45-58 HRC і чавунів будь-якої твердості без ударів, композити 10 і 10Д – для чистового і напівчистового точіння з ударом і без удару деталей із загартованих сталей і чавунів.

Незважаючи на більш високу вартість пластин з деяких нових марок інструментальних матеріалів, витрати споживача на обробку одиниці продукції порівняно з традиційними марками нижче завдяки або поліпшенню кількісних характеристик надійності інструменту, або підвищенню подачі і швидкості різання.

У таблиці 6.7 наводяться рекомендації щодо раціонального застосування марок інструментальних матеріалів з урахуванням основних умов експлуатації інструмента: марки оброблюваного матеріалу, операції, стану поверхні заготовки, глибини різання, типу вживаного устаткування.

Таблиця 6.7 – Рекомендації щодо вибору твердих сплавів для оброблення чавунів і кольорових сплавів

Умови експлуатації			Марка твердого сплаву		
Характер обробки	Характер припуску	Глибина різання, мм	Сприятливі умови оброблення	Нормальні умови оброблення	Важкі умови оброблення
Чорнова і чистова	Неперервний	До 3	ВК6-ОМ, ВК6М, ВК3, МС306, ВОК-60, ВК2, ВК3М	ТТ8К6, ВК6М, ВК3М	ВК6М, композит 01, композит 02, композит 05
		3...7	ТТ8К6, ВК6М, ВК4	МС312, МС33	МС312, МС313, ВК6-0М, ВК10-0М, композит 10
		Вище 7	МС312, МС313, ВК4, ВК2	ВК4, ВК6, МС318	МС321, МС318, ВК8, ВК6
	Перервний	До 3	ТТ8К6, ВК6М, ВК3М	МС312, МС33	МС312, МС313, ВК6-0М, ВК10-0М, композит 10
		3...7	ВК6М, композит 01, композит 02	МС312, МС313, ВК6-0М, ВК10-0М	МС321, МС318, ВК8, ВК6

Поправкові коефіцієнти на швидкість різання і подачу під час оброблення чавуну і мідних сплавів різної твердості різними інструментальними матеріалами наведено в таблицях 8-9.

Таблиця 6.8 – Вибір поправкових коефіцієнтів на подачу K_s для чавунів і кольорових сплавів

Умови експлуатації			K _s залежно від марки інструментального матеріалу							
Характер обробки	Характер припуску	Глибина різання, мм	Композит 05, Композит 01	Композит 10	ВОК-71, ВОК-60, В3, ОНТ-20	ВК3-М, ТН-20, ВК3	ВК6-ОМ, ТТ8К6	ВК6-М, ВК4	ВК6, МС3210 МС3215	ВК8, ВП3325
Чорнова	Неперервний	До 3			0,95	1,0	1,05			
		3 ... 7					0,9	1,0	1,1	
		Вище 7						0,85	1,0	1,15
	Перервний	До 3					0,9	1,0	1,1	
		3...7						0,85	1,0	1,15
		Вище 7							0,8	1,0
Чистова	Неперервний	До 1	0,95	1,0	1,05					
		1...2		0,9	1,0	1,1				

Таблиця 6.9 – Вибір поправкових коефіцієнтів на швидкість різання K_v для чавунів і кольорових сплавів високої твердості

Умови експлуатації			K _v залежно від марки інструментального матеріалу							
Характер обробки	Характер припуску	Глибина різання, мм	Композит 05, Композит 01	Композит 10	ВОК-71, ВОК-60, ВЗ, ОНТ-20	ВКЗ-М, ТН-20, ВКЗ	ВК6-ОМ, ТТ8К6	ВК6-М, ВК4	ВК6, МС3210 М-С3215- ВП3115	ВК8, ВП3 325
Чорнова	Неперервний	До 3			1,2	1,0	0,8			
		3...7					1,15	1,0	0,85	
		Вище7						1,1	1,0	0,9
	Перервний	До 3					1,15	1,0	0,85	
		3 ... 7						1,1	1,0	0,9
		Вище7							1,05	1,0
Чистова	Неперервний	До 1	1,2	1,0	0,75					
		1 ... 2		1,15	1,0	0,85				

Завдання. Згідно з індивідуальним завданням, наведеним в таблиці 6.10 вибрати марку інструментального матеріалу, який забезпечить максимальну продуктивність обробки для заданого матеріалу деталі і виду оброблення.

Таблиця 6.10 – Варіанти індивідуальних завдань

Варіант	Разміри заготовки і деталі, мм			Шорсткість поверхні, мкм	Заготовка	
	D3	Dд	L		Матеріал	Вид заготовки і стан поверхні
1	138	130h7	550	Ra=3.2	Сталь 50	Поковка з кіркою
	120	112h8	390	Ra=2.5	30X13	Прокат без кірки
	140	135h7	550	Ra=1.25	СЧ15	Відливання з кіркою
	85	70h8	490	Ra=2.5	Д16Т	Прокат без кірки
2	120	112h8	290	Ra=2.5	ШХ15	Прокат без кірки
	110	90h9	120	Rz=20	12X18Н9Т	Прокат з кіркою
	500	455h11	1100	Rz=80	Бр АЖН-11-6-6	Відливання з кіркою
	110	100h9	800	Rz=80	СЧ15	Виливок без кірки
3	120	112h8	390	Ra=2.5	У8А	Прокат без кірки
	75	70h8	490	Ra=3.2	ХН35ВТЮ	Прокат без кірки
	140	136h8	470	Rz=20	ЛАЖ 60-1	Виливок без кірки
	210	200h9	620	Rz=20	СЧ28	Відливання з кіркою
4	80	70f9	390	Ra=3.2	Ст5	Прокат без кірки
	300	280h11	1000	Rz=80	14X17Н2	Поковка з кіркою
	138	130h7	550	Ra=1.25	Бр АЖ9-4	Виливок без кірки
	105	100h7	500	Ra=2.5	СЧ15	Виливок без кірки
5	140	135h7	550	Ra=1.25	ШХ15	Поковка з кіркою
	53	50f9	390	Ra=3.2	12X18Н9Т	Прокат без кірки
	140	136h8	470	Rz=20	Д16Т	Прокат без кірки
	105	100h7	500	Ra=2.5	СЧ15	Виливок без кірки
6	810	800h9	1200	Rz=20	Сталь 40	Поковка з кіркою
	52	50h7	500	Ra=1.25	12X18Н9Т	Прокат з кіркою
	400	375h11	1100	Rz=80	ЛМЦОС-38-2	Відливання з кіркою
	35	32d8	350	Ra=2.5	СЧ28	Виливок без кірки
7	150	146h8	450	Rz=80	Сталь 45	Прокат без кірки
	138	130h7	550	Ra=1.25	20X13	Поковка без кірки
	400	355h11	1100	Rz=80	СЧ15	Відливання з кіркою
	140	135h7	550	Ra=1.25	Д16Т	Поковка з кіркою
8	130	125h7	540	Rz=20	Ст5	Прокат з кіркою
	140	136h8	470	Rz=20	12X18Н9Т	Прокат без кірки
	110	106h10	500	Rz=80	Бр АЖН-11-6-6	Відливання з кіркою
	138	130h7	550	Ra=3.2	ВЧ50-7	Відливання з кіркою
9	800	780h11	900	Rz=80	Сталь 40ХН	Поковка з кіркою
	400	355h11	1100	Rz=80	14X17Н2	Поковка з кіркою
	900	885h11	1100	Rz=80	ЛМЦОС-38-2	Відливання з кіркою
	140	135h7	550	Ra=1.25	СЧ15	Відливання з кіркою
10	65	60h7	500	Ra=1.25	Ст5	Прокат без кірки
	110	106h10	500	Rz=80	30X13	Прокат без кірки

	620	610h9	800	Rz=80	Бр АЖ9-4	Виливок без кірки
	110	100h9	800	Rz=80	СЧ15	Виливок без кірки
11	75	70h8	490	Ra=3.2	Сталь 45	Прокат без кірки
	140	135h7	550	Ra=1.25	ХН60ВТ	Поковка з кіркою
	210	200h9	620	Rz=20	ДТ16	Прокат з кіркою
	210	200h9	620	Rz=20	СЧ28	Відливання з кіркою
12	138	130h7	550	Ra=1.25	Г13	Прокат з кіркою
	120	112h8	390	Ra=2.5	20Х13	Прокат без кірки
	75	70h8	490	Ra=3.2	ЛС 59-1Т	Виливок без кірки
	105	100h7	500	Ra=2.5	СЧ15	Виливок без кірки
13	35	32d8	350	Ra=2.5	ШХ 15	Прокат з кіркою
	138	130h7	550	Ra=3.2	12Х18Н9Т	Поковка з кіркою
	140	135h7	550	Ra=1.25	Бр АЖ9-4	Відливання з кіркою
	35	32d8	350	Ra=2.5	СЧ28	Виливок без кірки
14	53	50f9	390	Ra=3.2	Сталь 45	Прокат без кірки
	120	112h8	390	Ra=2.5	14Х17Н2	Прокат без кірки
	75	70h8	490	Ra=3.2	ЛС 59-1Т	Виливок без кірки
	210	200h9	620	Rz=20	СЧ28	Відливання з кіркою
15	85	70h8	490	Ra=2.5	Ст3	Прокат без кірки
	75	70h8	490	Ra=3.2	14Х17Н2	Прокат без кірки
	52	50h7	500	Ra=1.25	Д16Т	Прокат з кіркою
	138	130h7	550	Ra=3.2	ВЧ50-7	Відливання з кіркою
16	110	100h9	620	Rz=40	Сталь 40Х	Прокат без кірки
	53	50f9	390	Ra=3.2	12Х18Н9Т	Прокат без кірки
	130	124h8	470	Rz=20	ЛМЦОС-38-2	Відливання з кіркою
	400	355h11	1100	Rz=80	СЧ15	Відливання з кіркою
17	900	885h11	1100	Rz=80	Сталь 55	Поковка з кіркою
	620	610h9	800	Rz=80	12Х18Н9Т	Поковка без кірки
	140	136h8	470	Rz=20	ЛАЖ 60-1	Виливок без кірки
	138	130h7	550	Ra=3.2	ВЧ50-7	Відливання з кіркою
18	130	115h9	390	Ra=2.5	У8А	Прокат без кірки
	140	135h7	550	Ra=1.25	12Х18Н9Т	Поковка з кіркою
	110	106h10	500	Rz=80	ЛАЖ 60-1	Виливок без кірки
	105	100h7	500	Ra=2.5	СЧ15	Виливок без кірки
19	620	600h7	850	Ra=3.2	Сталь 45	Поковка з кіркою
	620	610h9	800	Rz=80	20Х13	Поковка без кірки
	35	32d8	350	Ra=2.5	Бр АЖ9-4	Відливання з кіркою
	35	32d8	350	Ra=2.5	СЧ28	Виливок без кірки
20	800	780h11	1000	Rz=80	ШХ15	Поковка з кіркою
	52	50h7	500	Ra=1.25	30Х13	Прокат з кіркою
	75	70h8	490	Ra=2.5	Д16Т	Прокат без кірки
	138	130h7	550	Ra=3.2	ВЧ50-7	Відливання з кіркою

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТОКАРНОГО РІЗЦЯ
ВІДПОВІДНО ДО РІЗАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

Мета роботи: отримати вміння з вибору параметрів токарного різця.

Теоретичні відомості

Ефективна робота будь-якого інструменту залежить від правильності його вибору. Під час вибору параметрів токарних різців можна керуватися наведеним нижче алгоритмом (таблиця 7.1), запропонованим фахівцями Сандвік-МКТС. Потрібно мати на увазі, що залежно від конкретних умов, можливі деякі відхилення від запропонованих рекомендацій.

Таблиця 7.1 – Алгоритм вибору інструменту для токарної обробки

Рекомендована послідовність	Основні фактори, що впливають на вибір
1. Вибір системи кріплення	Властивості оброблюваного матеріалу. Можливість використання двосторонніх пластин. За внутрішнього оброблення – діаметр розточувального отвору. Жорсткість системи «верстат – пристосування – інструмент – заготовка».
2. Вибір типу державки і форми різальної пластини	Профіль оброблювальної поверхні. Технологічні особливості обладнання.
3. Вибір розмірів і геометрії передньої поверхні пластини	Властивості оброблюваного матеріалу. Максимальна глибина різання для цієї операції. Форма пластини і величина головного кута в плані. Конструкція пластини (одно- або двостороння).
4. Вибір радіуса при вершині пластини	Вимоги щодо шорсткості поверхні оброблюваної деталі. Жорсткість системи «верстат -пристосування - інструмент-заготовка».
5. Вибір приєднувальних розмірів державки та посадкового гнізда пластини	Розміри різцетримача верстата. Вибраний в п. 3 розмір ріжучої пластини.
6. Вибір марки твердого сплаву ріжучої пластини	Тип операції. Умови обробки. Область застосування по ISO.

Вибір системи кріплення різальної пластини

Вибір системи кріплення ріжучої пластини рекомендується проводити відповідно до вказівок, наведених у таблиці 2.

Таблиця 7.2 – Система кріплення пластин

Позначення	ВИД ОБРОБЛЕННЯ	
	зовнішня	внутрішня
R/M	Перший вибір для зовнішнього оброблення. Найбільш жорстка конструкція кріплення ріжучих пластин. Можливість використання двосторонніх пластин.	Оброблення діаметрів від 32 мм. Високі вимоги до системи «верстат – пристосування – інструмент – заготовка». Жорстка конструкція. Можливість використання двосторонніх пластин.
S	Найкращий вибір у разі оброблення матеріалів, схильних до наклепу і наростоутворення. Використання пластин з заднім кутом.	Компактна конструкція цієї системи кріплення дозволяє обробляти діаметри від 20 мм. Низькі сили і плавний процес різання дозволяє практично виключити вібрації.
C	Застаріла система кріплення ріжучих пластин. Під час розробки нових технологічних процесів рекомендується використовувати більш сучасні конструкції.	Застаріла система кріплення ріжучих пластин. Під час розробки нових технологічних процесів рекомендується використовувати більш сучасні конструкції.

Вибір типу державки і форми різальної пластини

Вибір державки та пластини залежить від конфігурації оброблюваної деталі, типу технологічного устаткування і визначається головним і допоміжним кутами в плані.

Під час вибору головного кута в плані φ потрібно дотримуватися таких рекомендацій. З одного боку, за незмінної подачі S_0 , зменшення кута φ призводить до зменшення товщини a і збільшення ширини b зрізаного шару. Так, відповідно до схеми, поданої на рис. 7.1, $\varphi_1 < \varphi_2 = 90^\circ$, відповідно, $a_1 < a_2$ і $b_1 > b_2$. Внаслідок цього контакт стружки з передньою поверхнею інструменту відбувається на більшій довжині, що покращує умови відведення тепла із зони різання в стружку та інструмент. В силу цього стійкість останнього збільшується.

З іншого боку, зміна кута φ впливає на співвідношення між складовими сили різання. Так, за $\varphi = 90^\circ$, значення складової сили різання P_y менше, ніж за менших значень цього кута. Під час обточування циліндричних деталей складова P_y впливає на точність діаметрального розміру деталі, а також на похибки її форми в осьовому поздовжньому перерізі.

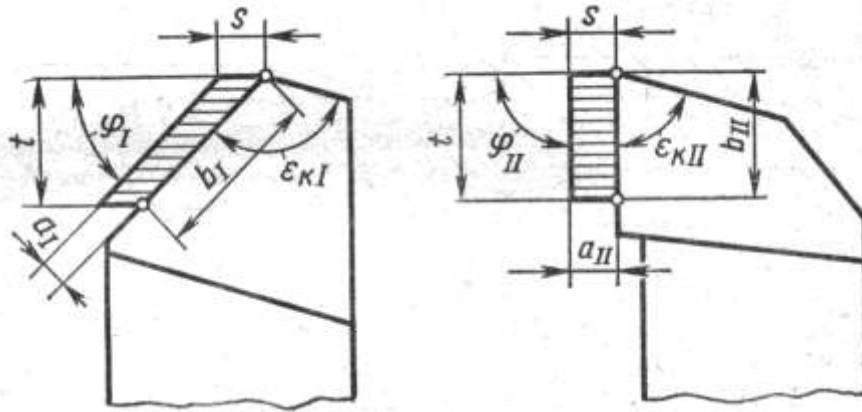


Рисунок 7.1 – Схема впливу головного кута в плані на відношення b/a

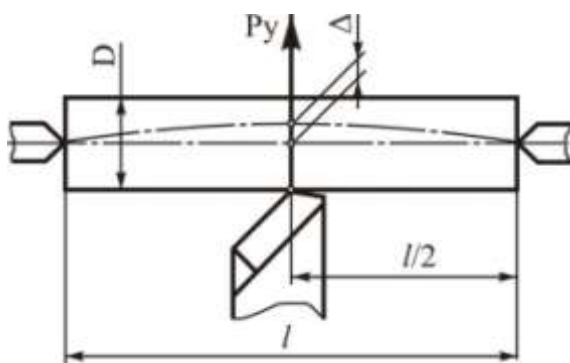


Рисунок 7.2 – Пружний прогин осі валика під дією реакції радіальної сили

Особливо це позначається під час обточування деталей з великим відношенням l/d , наприклад, довгих і тонких валів. Внаслідок цього в поздовжньому перерізі деталі виникає похибка у вигляді «бочкоподібності», чисельне значення якої дорівнює величині Δ (рис. 7.2). Чим більше значення P_y , тим на більшу величину Δ прогинається деталь під дією реакції цієї сили. Тому в такому випадку потрібно «пожертвувати» стійкістю різця на перевагу

підвищення точності обробки, яку необхідно проводити при головному куті в плані $\varphi=90^\circ$. Значення величини Δ можна визначити аналітично, використовуючи відомі залежності від курсу опору матеріалів. Так, під час обробки деталей в центрах, її можна розглядати як балку, закріплену на двох опорах.

У цьому випадку величина Δ визначається за залежністю:

$$\Delta = \frac{P_y l^3}{100EJ}, \quad (7.1)$$

де E – модуль пружності,
 J – полярний момент інерції.

Величині кута $\varphi = 90^\circ$ потрібно віддавати перевагу також і в тих випадках, коли процес точіння супроводжується вібраціями, які погіршують якість обробленої поверхні. Так, на рис. 7.3 подано поверхню деталі зі сталі 45, яка була отримана за її консольного закріплення з вильотом 150 мм, в трикулачковому патроні верстата моделі 16K20. Обробка здійснювалася різцем MSDNR2520M12, оснащеним ЗБП форми SNMG 120402-HF з твердого сплаву марки NC330 з режимами різання $v = 200 \text{ м/хв}$, $t = 2 \text{ мм}$, $s = 0,23 \text{ мм/об}$.

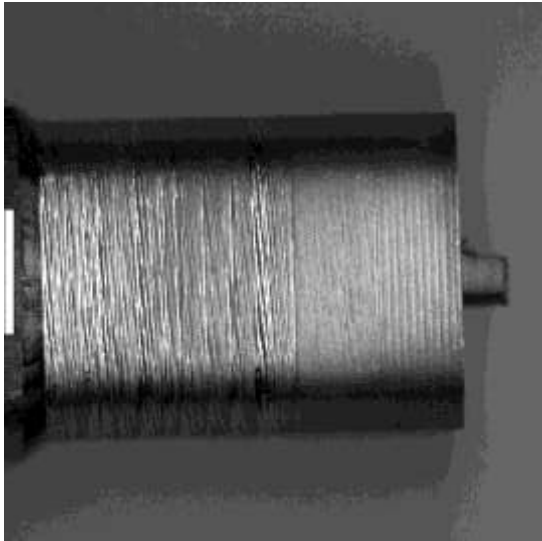


Рисунок 7.3 – Сліди вібрацій на обробленій поверхні

З рисунка 7.3 видно, що внаслідок виникнення вібрацій в технологічній системі, оброблена поверхня деталі покрита «хвилями», крок яких перевищує величину подачі. Звичайно, що така якість обробленої поверхні деталі є незадовільною.

У багатьох випадках на вибір кута φ впливає конфігурація оброблюваної деталі.

З огляду на сказане, в таблицях 7.4 і 7.5 наведено деякі рекомендації для вибору кута φ для різців з різними формами ЗБП

залежно від контуру оброблюваної деталі.

Вибір розміру і геометрії передньої поверхні пластини

Під час вибору геометрії передньої поверхні ЗБП необхідно враховувати такі фактори:

















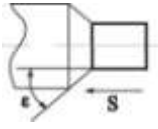
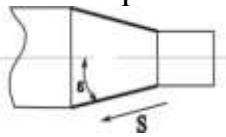
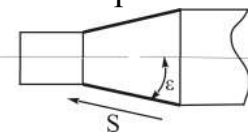
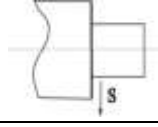
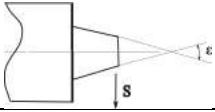
- а) тип оброблення відповідно до таблиці 7.3;
- б) належність оброблюваного матеріалу до будь-якої з основних груп оброблюваних матеріалів Р, М або К.

Відповідність вітчизняних конструкційних матеріалів групам Р, М, і К подано в таблиці 7.6.

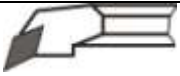

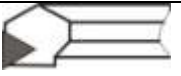

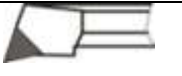
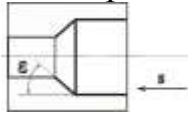
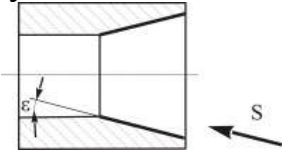
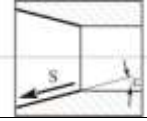
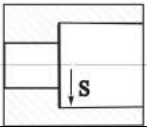
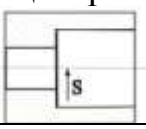
Таблиця 7.3 – Класифікація типів оброблення

Параметри режимів різання	Тип оброблення			
	чистова	напівчистова	легка чорнова	чорнова
Глибина різання t , мм	0,25–2,0	0,5–3,0	2,0–6,0	5,0–10,0
Подача S , мм/об	0,05–0,15	0,1–0,3	0,2–0,5	0,4–1,8

Таблиця 7.4 – Вибір типу державки та головного кута в плані для зовнішнього точіння

Тип різця																		
Головний кут в плані	φ°	-	-	95	93	93	93	90	90	75	75	60	60	45	45	75	90	
1. Повздовжнє точіння 																		
	ε°	-	-	95	93	93	93	90	90	75	75	60	60	45	45	75	90	
2. Точіння конічної поверхні I 	ε°																	
	75																	
	60																	
	45																	
	30																	
3. Точіння конічної поверхні II 	ε°																	
	75																	
	60																	
	45																	
	30																	
25																		
4. Поперечне точіння I 																		
5. Поперечне точіння II 																		
	ε°	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	15	0

Таблиця 7.5 – Вибір типу розточувального різця і головного кута в плані

Тип різця						
Головний кут в плані	φ°	95	93	90	75	93
1. Повздовжнє розточування 						
	ε°	95	93			
2. Розточування конічної поверхні I 	ε°					
	75					
	60					
	45					
	30					
3. Розточування конічної поверхні II 	ε°					
	30					
	25					
4. Підрізання торця з подачею від центра 						
5. Підрізання торця з подачею до центра 						

Таблиця 7.6 – Відповідність марок сталей і сплавів

ISO	Коротка характеристика матеріалу	СМС	Сталі і сплави за ДСТУ-ГОСТ
Вуглецеві сталі			
Вміст вуглецю			
	C=0,1–0,25%	01.1	Ст0, Ст1, Ст2, Ст3 – група Б, 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 15Г, 20Г, 25Г, 10Г2, 09Г2, 09Г2С, А11, А12, А20, АС14, 14Г2АФ, 18Г2АФ, 10ХСНД, 15ХСНД
	C=0,25–0,55%	01.2	Ст4, Ст5, Ст6 – група Б, 30, 35, 30Г, 35Г, 40, 45, 40Г, 45Г, 47ГТ, 50, А30, А35, А40, А40Г, А35Е, А45Е, АС40, АС35Г2, АС40Г2
	C=0,55–0,8%	01.3	55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А, 80С
Леговані сталі			
		02.1 після відпалу	15Х, 20Х, 18ХГ, 15ХФ, 12ГН2МФАЮ, 20ХН, 12ХН2, 12ХН3А, 20ХН3А, 12Х2Н4А, 14Х23МА, 18Х2Н4МФ, 20ХН2М, 15Н2М, 20Н2М
		02.2 з підвищеною твердістю	15ХН, 20ХН, 18ХГТ, 25ХГТ, 25ХГМ, 30ХГТ, 20ХГТ, 27ХГТ, 20ХНР, 20ХГНР, 15ХГН2ТФ, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2, 30Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х, 30ХРА, 33ХС, 38ХС, 40ХС, 20ХГСА,
			25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА, 30ХМВА, 35ХМ, 38ХМ, 40ХФА, 40ХГТР, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 30ХН3А, 38ХГН, 30ХГСН2А, 30ХН2МА, 38Х2Н2МА, 40ХН2МА, 40Х2Н2МА, 25Х2Н4МА, 20ХН4ФА, 45ХН2МФА, 20Х3ВМФ,

ISO	Коротка характеристика матеріалу	СМС	Сталі і сплави за ДСТУ-ГОСТ
			30X3МФ, 38ХН3МФА, 36X2H2MΦA, 34ХН1МА, AC12ХН, AC14ХГН, AC19ХГН, AC20ХГНМ, AC30ХМ, AC38ХГН, AC40ХЕ, AC40ХГНМ, 55C2A, 60C2A, 70C3A, 50ХГА, 55ХГР, 50ХФА, 55ХГФА, 60C2ХА, 70C2ХА, 60C2ХФА, 65C2BA, 60C2H2A
	підшипникові	02.12 після відпалу	ШХ4, ШХ15, ШХ15ГС, ШХ4РП
		02.2 з підвищеною твердістю	
	електрохімічні	02.1	E310–E360(3411–3425), 2011–2412
Високолеговані та інструментальні сталі			
		03.11 після відпалу	X12M, X6BΦ, 7XГ2BM, 6X6B3MΦC, 5XHM, 5XHB, 4X38MΦ, 3X2B9Φ, 11XΦ, 13X, XBГ, XCBГ, 9XC, X, B2Φ, P18, P6M5, P18K5Φ2
		03.21з підвищеною твердістю	P9K5, P6M5K5, P2ΦM9K5, 11P3AMΦ2, P12Φ3
Стальне лиття			
	нелеговані	06.1	15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 55Л, У8Л
	низьколеговані <5%	06.2	20ГЛ, 35ГЛ, 30ГCЛ, 20ГФЛ, 30ХГCФЛ, 45ФЛ, 30ХНМЛ, 23ХГC2МФЛ, 20Х5МЛ
	високолеговані >5%	06.3	10X13Л, 15X13Л, 20X13Л, 5X14НДЛ, 10X14НДЛ, 20X8ВЛ
	Марганцевиста бромовая сталь	06.33	10Г13, Г13
М	Неіржавіюча сталь		

ISO	Коротка характеристика матеріалу	СМС	Сталі і сплави за ДСТУ-ГОСТ
	мартенситного і феритного класів	05.11	08X13, 12X13, 20X13, 30X13, 40X13, 14X18H2, 12X17, 15X25T, 40X9C2Л, 95X18
	Теплостійкі та мартенситно-старіючі	05.12	11X11H2B2MФ, 5ХН12К3М7Т, Н18К9М5Т, Н12К8М4Г2, Н10Х11М2Т, Н9Х12Д2ТВ, 30Х9Н8М4Г2С2, 25Н25М4Г1(ТRIP або ПНП), 04Х11Н9М2Д2ТЮ, 03Н17К10В10МТ–ВД, 03Н18К9М5Т–ВД(ЭП637–ВД), ЧС4–ВИ, ЧС5–ВИ
	Аустенітного класу	05.21	12Х18Н10Т, 17Х18Н9, 06Х18Н11, 10Х14АГ15, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Г9АН4, 20Х13Н4Г9, 08Х10Н20Т, 09Х16Н4Б
	Литі з аустенітних сталей	15.21	30Х14Н12СЛ, 40Х24Н12СЛ, 12Х18Н12М3ТЛ, 55Х18Г14С2ТЛ, 10Х18Н11БЛ, 12Х18Н12М3ТЛ, 20Х21Н46В8Л, 31Х19Н9МВБТЛ, 10Х17Н10Г4МБЛ, 08Х17Н34В5Т3ЮЛ
	Жароміцні і титанові сплави		
	титан технічний чистий	23.1	ВТ1–00, ВТ1–0, ВТ1Л
	α –титанові сплави	23.21	ВТ3–1, ВТ3–1Л, ВТ4, ВТ5–1, ОТ4
	$\alpha+\beta$ –титанові сплави	23.22	ВТ6, ВТ6С, ВТ6Л, ВТ9Л, ВТ14, ВТ14Л, ВТ20, ВТ21Л
M-S	Сплави на залізній основі	20.12	ХН18ВТ, ХН28МАБ6), 36ХНТЮ, ХН35ВТЮ, ХН32Т,
	на нікелевій основі	20.24	ХН60В, ХН77ТЮ(ЭИ437), ХН56МТЮ, ХН67ВМТЮЛ, ХН72МВКЮ, ХН60МВТЮ, ХН82ТЮМВ, ВЖ36–Л2, АНВ–300, ЖС6К, ЖСЗДК,
	на кобальтовій основі	20.33	сплави зарубіжного виробництва: Inconel 600, 601, 604, 625 сплави зарубіжного виробництва: Haynes–36(–151), Jessop–832(–834, –865, –875, –887), Air Resist–13(–213)

ISO	Коротка характеристика матеріалу	СМС	Сталі і сплави за ДСТУ-ГОСТ
К	Чавун		
	сірий феритного класу	08.1	СЧ10, СЧ15, СЧ18, АЧС–3
	сірий перлитного класу	08.2	СЧ121, СЧ24, СЧ25, СЧ30, СЧ35, АЧС–1, АЧС–2
	високоміцний феритного класу	09.1	ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45
	високоміцний перлитного класу	09.2	ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100
	ковкий феритного класу	07.1	КЧ37–12, КЧ35–10, КЧ30–6, КЧ33–8, АЧК–1
	ковкий перлитного класу	07.2	КЧ50–5, КЧ55–4
К- N	Матеріали з високою поверхневою твердістю		
	Загартовані сталі	04.10	див. СМС 1.03–03.21
	відбілений або легований зносостійкий чавун	10.1	см. 07.01–09.2, ЧХ16, ЧХ28, ЧХ32, ЧН15Д7, ЧН15Д3Ш, ЧН19Х3Ш, ЧС13, ЧС15, ЧС17
	Алюмінієві сплави		
	алюміній чистий	30.3	А999–А95, А85, А7–АО, АД1, АД0
	деформувальні алюмінієві сплави	30.11 м'які 30.12 гартов.+старін.	АМС, АМГ2, АМГ3, АМГ5, АМГ6, АД31, Д1, Д16, АК6, АК8, В95
	Ливарні алюмінієві сплави Si<13%	30.21 м'які 30.22 гартов.+старін.	АЛ3, АЛ5, АЛ32, АК52М, АЛ8, АЛ23, АЛ23–1, АЛ27, АЛ27–1, АЛ28, АЛ7, АЛ19, АЛ33, АЛ1, АЛ21, АЛ24
	Силуміни Si>8%	30.41	АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ34
	Мідь і сплави на її основі		
	бронзи і латуні >1%Рв	33.1	ЛС59–1, ЛС60–1, ЛС64–2, ЛС74–3, ЛС63–3, ЛЖС58–1–1, БрОЦС4–4–4, БрО6Ц6С3
	бронзи і латуні <1%Рв	33.2	Л96, Л90, Л85, Л70, Л68, Л63, Л60, БрОФ6.5–04, БрАЖН10–4–4
	Чиста мідь	33.3	М00к, М1б

Розмір пластини визначається максимальною величиною глибини різання для цієї операції, її формою і конструкцією (одно- або двостороння), а також величиною головного кута в плані. Основним параметром під час вибору розміру пластини є ефективна довжина ріжучої кромки l_a .

Розмір пластини бажано вибирати мінімальним, виходячи з умови:

$$l_a = l_a^{\max},$$

де l_a – фактична ефективна довжина ріжучої кромки залежно від глибини різання;

l_a^{\max} – максимальне значення величини l_a залежно від форми пластини.

Фактичні значення l_a з урахуванням глибини різання і головного кута в плані φ наведено в таблиці 7.7 нижче.

Для пластин з геометрією передньої поверхні, призначених для чистової обробки, величину l_a^{\max} потрібно зменшити.

Максимальні значення величини l_a в залежності від форми пластини показані на рисунку 7.4.

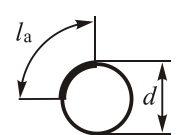
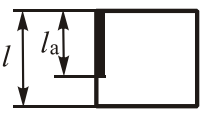
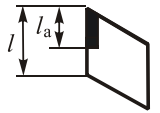
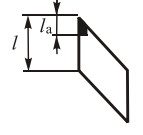
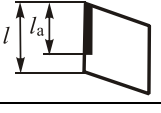
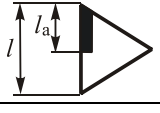
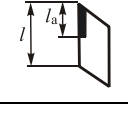
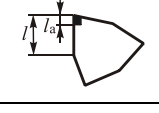
			
$l_a = 0,4d$	$l_a = \frac{2}{3}l$	$l_a = \frac{1}{2}l$	$l_a = \frac{1}{4}l$
			
$l_a = \frac{2}{3}l$	$l_a = \frac{1}{2}l$	$l_a = \frac{1}{2}l$	$l_a = \frac{1}{4}l$

Рисунок 7.4 – Розміри ефективної довжини ріжучої кромки l_a , залежно від форми пластини

Таблиця 7.7 – Залежність ефективної довжини різальної кромки від головного кута в плані

Ф, град	Глибина різання t, мм									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Ефективна довжина різальної кромки L, мм									
90	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10
75	1,1	2,1	3,1	4,2	5,2	6,2	7,3	8,3	9,3	10,4
60	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8	7,0	8,2	9,3	10,5	11,6
45	1,4	2,9	4,3	5,7	7,2	8,6	10,0	11,5	13,0	14,3
30	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	18,0	20,0	–

У таблиці 7.8 наведено рекомендації щодо вибору геометрії передньої поверхні ЗБП залежно від типу обробки для матеріалів груп Р, М, і К.

Таблиця 7.8 – Рекомендації щодо вибору геометрії передньої поверхні ЗБП залежно від типу обробки для матеріалів груп Р, М, і К

Оброблюваний матеріал	Тип обробки							
	чистова		напівчистова		легка чорнова		чорнова	
	P/M	S	P/M	S	P/M	S	P/M	S
Сталь	43(S) HU(K) HF(K) 903(C) EXK(C) FR(M)	31(S)	46(S) HA(K) HC(K) HM(K) WM(C) MP(M) NR6(W)	CMT(S)	49(S) HM(K) GR(K) GH(K) 909(C) MN(M) NR6(W)	CMT(S)	86(S) GH(K) WR(C) HT(C) RN(M)	-
Неіржавіюча сталь	43(S) 46(S) HMP(K) 903(C) FR(M) NR4(W)	31(S)	46(S) HA(K) HC(K) HM(K) HMP(K) IPK(C) MP(M) NP4(W)	CMT(S)	49(S) HM(K) HMP(K) GS(K) XE(C) 901(C) MN(M) NF4(W)	CMT(S)	49(S) GS(K) RN(M)	-
Жароміцні сплави	NMP(S) FR(M)	31(S)	NMP(S) MP(M)	31(S)	NMP(S) GH(K) XE(C) 901(C) MN(M)	-	NMP(S) WR(C) HT(C) RN(M)	-
Чавун	NMA(S) HM(K) FR(M)	CMT(S)	NMA(S) HM(K) MP(M)	CMT(S)	NMA(S) GR(K) 909(C) MN(M)	CMT(S)	NMA(S) RN(M)	CMT(S)
Кольорові сплави	NMP(S) AK(K) EXK(C) FR(M)	Al(S)	NMP(S) HA(K) AK(K) MP(M)	Al(S) AK(K)	NMP(S) XE(C) 901(C) MN(M)	Al(S) AK(K)	NMP(S) RN(M)	Al(S) AK(K)

де (S) – фірма «Sandvik Coromant» (Швеція); (K) – фірма «Korloy» (Південна Корея); (C) – фірма «Ceratizit» (Австрія); (M) – фірма «Kennametal» (США); (W) – фірма «Walter» (Німеччина).

Вибір радіусу при вершині пластини

Залежно від виду обробки (напівчистова, легка чорнова і чорнова) під час вибору радіуса при вершині потрібно мати на увазі:

– для забезпечення міцності рекомендується вибирати максимально можливий радіус при вершині г.

У разі виникнення вібрації потрібно вибрати пластини з меншим радіусом.

- Більш високі подачі рекомендуються для пластин:
- з кутом при вершині не менше 60°;
 - односторонніх;
 - з кутом в плані менше 90°;
 - при обробці матеріалів з гарною оброблюваністю.

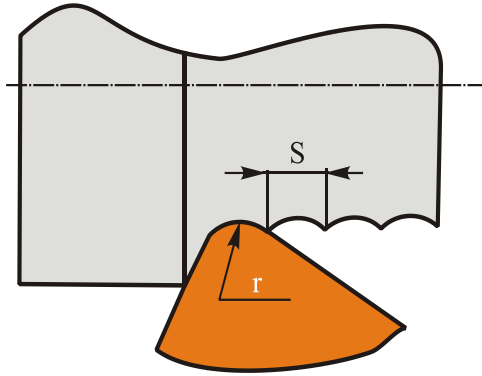


Рисунок 7.5 – Вплив радіусу і подачі на шорсткість обробленої поверхні

Подача не має перевищувати радіус при вершині (рисунок 7.5).

В умовах чорнової обробки якість обробленої поверхні досягається комбінацією «Радіус при вершині r - Подача S » (табл. 7.9) за умови надійного стружкодроблення/подрібнення.

Таблиця 7.9 – Рекомендований діапазон подач для чорнової обробки

Радіус r , мм	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4	4,0
Подача S , мм/об	0,25–0,35	0,4–0,7	0,5–1,0	0,7–1,3	1,0–1,8	1,3–2,2

Під час чистової обробки враховуються вимоги, що висуваються до шорсткості обробленої поверхні. В цьому випадку комбінація радіуса r і подачі S вибирається із таблиці 7.10.

Таблиця 7.10 – Вибір подачі з урахуванням радіуса заокруглення при вершині ЗБП під час чистової обробки

Шорсткість поверхні		Радіус при вершині r , мм					
R_a , мкм	R_z , мкм	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
		Подача, s , мм/об					
0,80 ($\nabla 7$)		0,10	0,13	0,17	0,19	0,21	0,23
1,6 ($\nabla 6$)		0,14	0,20	0,25	0,29	0,32	0,35
	12,5 ($\nabla 5$)	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
	25 ($\nabla 4$)	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
	50 ($\nabla 3$)	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Вибір приєднувальних розмірів державки та посадкового гнізда пластини

Габаритні розміри різців нормалізовані і наведені у відповідних стандартах. Вибір під'єднувального розміру державки визначається типом обладнання. За наявності декількох варіантів перевагу потрібно віддати тому, за якого переріз державки максимальний, а виліт – мінімальний.

Посадочне гніздо пластини у вибраній державці має відповідати формі і розміру використовуваної пластини. Щоб не допустити помилок можна керуватися правилом, основаним на збігу відповідних елементів стандартних позначень (рисунок 7.6).

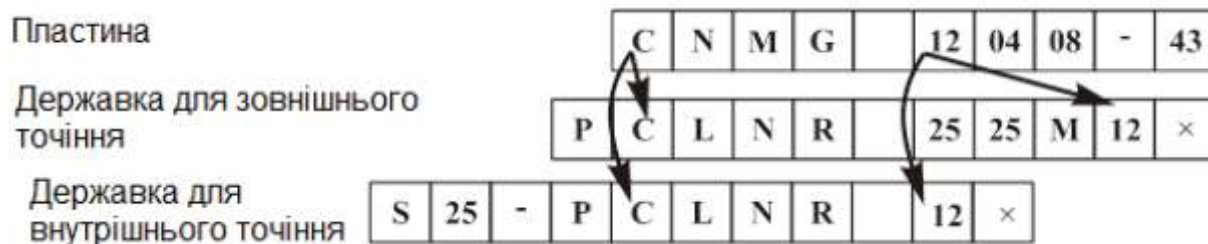


Рисунок 7.6 – Правила вибору державки за формою пластини

Вибір марки твердого сплаву різальної пластини

Вибір марки твердого сплаву ріжучої пластини залежить від таких факторів:

1. Тип оброблюваного матеріалу за ISO.

Відповідність марок сталей і сплавів за державним стандартом класифікацій ISO і СМС наведено раніше в таблиці 7.6.

2. Умови обробки:

- **Гарні.** Високі швидкості. Безперервне різання. Попередньо оброблені заготовки. Висока жорсткість технологічної системи «верстат–пристосування – інструмент – заготовка». Вимоги до твердого сплаву – висока зносостійкість.

- **Нормальні.** Помірні швидкості різання. Контурне гостріння. Поковки і відливки. Достатня жорсткість технологічної системи «верстат – пристосування – інструмент – заготовка». Вимоги до твердого сплаву – гарна міцність у поєднанні з досить високою зносостійкістю.

- **Важкі.** Невисокі швидкості. Переривчасте різання. Товста кірка на лиття або поковках. Нежорстка система «верстат – пристосування – інструмент – заготовка». Вимоги до твердого сплаву – висока міцність.

Сфери застосування твердого сплаву визначають за таблицею 7.11.

Таблиця 7.11 – Сфери застосування твердих сплавів

Умови обробки	Код за ISO	Тип обробки			
		Чистова	Напівчистова	Легка чорнова	Чорнова
Гарні	P	P01-P10	P10-P25	P25-P30	P30-P35
	M	M10-M15	M15-M20	M20-M25	M25-M30
	K	K01-K05	K05-K10	K10-K15	K15-K20
Нормальні	P	P10-P25	P25-P30	P30-P35	P35-P40
	M	M15-M20	M20-M25	M25-M30	M30-M35
	K	K05-K10	K10-K15	K15-K20	K20-K25
Важкі	P	P30-P35	P35-P40	P40-P45	P45-P50
	M	M20-M25	M25-M30	M30-M35	M35-M40
	K	K10-K15	K15-K20	K20-K25	K25-K30

Після визначення сфери застосування, вибирається найбільш раціональна марка твердого сплаву з таблиці 7.12.

Таблиця 7.12 – Вибір марки твердого сплаву

Коди		Сандвік-МКТС 2000		Сандвік-МКТС		Гост 3882-72
ISO	ANSI	з покриттям	без покриття	з покриттям	без покриття	без покриття
P 01 10 20 30 40 50	C8					
	C7					
	C6					
	C5					
	C5					
M 10 20 30 40						
K 01 10 20 30	C4					
	C3					
	C2					
	C1					

Індивідуальне завдання

Варіант	Шорсткість поверхні	Заготовка	
		Матеріал	Вид заготовки і стан поверхні
1	Ra=3,2	Сталь 50	Поковка з кіркою
	Ra=2,5	30X13	Прокат без кірки
	Ra=1,25	СЧ15	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	Д16Т	Прокат без кірки
2	Rz=20	Д16Т	Прокат без кірки
	Ra=1,25	ШХ15	Поковка з кіркою
	Ra=3,2	12X18Н9Т	Прокат без кірки
	Ra=2,5	СЧ15	Відливок без кірки
3	Rz=20	Ст5	Прокат з кіркою
	Rz=20	12X18Н9Т	Прокат без кірки
	Rz=80	Бр АЖН-11-6-6	Відливок з кіркою
	Ra=3,2	ВЧ50-7	Відливок з кіркою
4	Ra=2,5	ШХ15	Прокат без кірки
	Rz=20	12X18Н9Т	Прокат з кіркою
	Rz=80	Бр АЖН-11-6-6	Відливок з кіркою
	Rz=80	СЧ15	Відливок без кірки
5	Ra=2,5	У8А	Прокат без кірки
	Ra=3,2	ХН35ВТЮ	Прокат без кірки

	Rz=20	ЛАЖ 60-1	Відливок без кірки
	Rz=20	СЧ28	Відливок з кіркою
6	Rz=40	Сталь 40Х	Прокат без кірки
	Ra=3,2	12Х18Н9Т	Прокат без кірки
	Rz=20	ЛМЦОС-38-2	Відливок з кіркою
	Rz=80	СЧ15	Відливок з кіркою
7	Ra=3,2	Сталь 45	Поковка з кіркою
	Rz=80	20Х13	Поковка без кірки
	Ra=2,5	Бр АЖ9-4	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	СЧ28	Відливок без кірки
8	Ra=3,2	Ст5	Прокат без кірки
	Rz=80	14Х17Н2	Поковка з кіркою
	Ra=1,25	Бр АЖ9-4	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	СЧ15	Відливок без кірки
9	Ra=2,5	ШХ15	Прокат з кіркою
	Ra=3,2	12Х18Н9Т	Поковка з кіркою
	Ra=1,25	Бр АЖ9-4	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	СЧ28	Відливок без кірки
10	Rz=20	Сталь 40	Поковка з кіркою
	Ra=1,25	12Х18Н9Т	Прокат з кіркою
	Rz=80	ЛМЦОС-38-2	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	СЧ18	Відливок без кірки
11	Ra=3,2	18ХГТ	Прокат з кіркою
	Ra=1,25	12ДХН1МФЛ	Поковка з кіркою
	Ra=2,5	14ХГН	Прокат без кірки
	Rz=80	КЧ70-2	Відливок з кіркою
12	Ra=1,25	Ст20	Прокат без кірки
	Ra=3,2	40ХН	Прокат з кіркою
	Ra=2,5	А40Г	Прокат з кіркою
	Rz=80	АЧК-2	Відливок з кіркою
13	Rz=40	Сталь 40Х	Прокат без кірки
	Ra=3,2	12Х18Н9Т	Прокат без кірки
	Rz=20	АС35Г2	Відливок з кіркою
	Rz=80	ЧС17	Відливок з кіркою
14	Rz=20	Д16Г	Прокат без кірки
	Ra=1,25	ШХ18	Поковка з кіркою
	Ra=3,2	30ХН3А	Прокат без кірки
	Ra=2,5	ЧХ28	Відливок без кірки
15	Ra=3,2	Ст25	Прокат без кірки
	Rz=80	40ХГТР	Поковка з кіркою
	Ra=1,25	Бр АЖ9-4	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	СЧ18	Відливок без кірки

16	Ra=3,2	Ст45	Поковка з кіркою
	Ra=2,5	18ХГТ	Прокат без кірки
	Ra=1,25	У12	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	38ХМЮА	Прокат без кірки
17	Rz=20	14Х17Н2	Прокат без кірки
	Ra=1,25	ЛС 59-1Т	Поковка з кіркою
	Ra=3,2	СЧ28	Прокат без кірки
	Ra=2,5	Ст3	Відливок без кірки
18	Rz=40	14Х17Н2	Прокат з кіркою
	Ra=3,2	Д16Т	Прокат без кірки
	Rz=20	ВЧ50-7	Відливок з кіркою
	Rz=80	Сталь 40Х	Відливок з кіркою
19	Ra=2,5	12Х18Н9Т	Прокат без кірки
	Ra=3,2	ЛМЦОС-38-2	Прокат з кіркою
	Ra=1,25	СЧ15	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	Сталь 55	Відливок без кірки
20	Ra=3,2	12Х18Н9Т	Прокат без кірки
	Rz=80	ЛАЖ 60-1	Прокат без кірки
	Ra=2,5	ВЧ50-7	Прокат з кіркою
	Ra=2,5	У8А	Відливок з кіркою
21	Ra=2,5	12Х18Н9Т	Прокат без кірки
	Ra=3,2	ЛАЖ 60-1	Прокат без кірки
	Rz=20	30Х13	Відливок з кіркою
	Rz=20	Бр АЖ9-4	Відливок з кіркою
22	Ra=1,25	СЧ15	Прокат без кірки
	Ra=3,2	Сталь 45	Поковка з кіркою
	Ra=2,5	ХН60ВТ	Прокат без кірки
	Rz=80	ДТ16	Відливок без кірки
23	Rz=20	СЧ28	Прокат без кірки
	Ra=1,25	Г13	Поковка з кіркою
	Ra=3,2	20Х13	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	ЛС 59-1Т	Відливок без кірки
24	Ra=3,2	Сталь 50	Відливок з кіркою
	Ra=2,5	30Х13	Відливок без кірки
	Ra=1,25	СЧ15	Поковка з кіркою
	Ra=2,5	Д16Т	Прокат з кіркою
25	Rz=20	ШХ15	Відливок з кіркою
	Ra=1,25	12Х18Н9Т	Відливок без кірки
	Ra=3,2	Бр АЖН-11-6-6	Прокат з кіркою
	Ra=2,5	ХН35ВТЮ	Прокат без кірки

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ І ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ

1 Планування СРЗ

На кафедрі Галузевого машинобудування (ГМ) Факультету машинобудування та транспорту (ФМТ) ВНТУ планування самостійної роботи здобувачів СРЗ з дисципліни «Сучасні матеріали в галузевому машинобудуванні» здійснюється на основі робочої навчальної програми дисципліни (РНПД). В РНПД наводиться перелік тем за змістом дисципліни, що виносяться на СРЗ. Теми СРЗ розділені згідно з поділом дисципліни на модулі. В кожній темі СРЗ є посилання на навчально-методичну (НПЛ) та інструктивно-методичну (ІМЛ) літературу.

2 Організація СРЗ

Кожного триместру відповідно до розкладу занять, доведеного деканатом ФМТ, на кафедрі ГМ в установлені терміни складають графіки консультацій з дисципліни для здобувачів денної форми навчання (ДФН), графіки приїзду здобувачів заочної форми навчання (ЗФН) на установчу сесію (згідно з розкладом занять, розробленим деканатом). Під час консультацій викладачі, що викладають дисципліну, надають здобувачам необхідну інформаційну допомогу та перевіряють правильність виконання індивідуальних завдань.

Лектор на першій лекції знайомить здобувачів з організацією вивчення дисципліни «Сучасні матеріали в галузевому машинобудуванні» за кредитно-модульною системою навчання (КМСН), де обов'язково наводиться інформація про максимальну трудомісткість дисципліни в балах (100 балів), кількість модулів, терміни проведення та максимальну трудомісткість в балах модульних лекторських контрольних робіт.

3 Форми СРЗ

Під час вивчення дисципліни «Сучасні матеріали в галузевому машинобудуванні» використовуються такі форми СРЗ:

- вивчення теоретичного матеріалу дисципліни за конспектом лекцій, підручниками, навчальними посібниками, довідково-нормативною літературою, науково-технічними журналами тощо;
- підготовка до практичних занять за тематикою, наведеною в РНПД;
- підготовка до поточних і модульних лекторських контрольних робіт і диференційованого заліку;

– підготовка до іспиту шляхом розв’язування типових тестових контрольних завдань з дисципліни.

4 Контроль СРЗ

Контроль за СРЗ з дисципліни «Сучасні матеріали в галузевому машинобудуванні» проводиться в таких формах:

– перевірка наявності в конспектах здобувачів інформації з тем дисципліни, винесених на самостійне опрацювання;

– внесення питань з тематики матеріалу дисципліни, винесеного на самостійне опрацювання, в завдання поточних і модульних лекторських контрольних робіт та заліку;

– індивідуальна перевірка знань і навичок здобувачів, набутих під час вивчення матеріалу дисципліни, винесеного на самостійне опрацювання, під час проведення практичних занять і захисту лабораторних робіт;

– вибірковий контроль знань і навичок здобувачів з питань тематики матеріалу дисципліни, винесеного на самостійне опрацювання, під час планових консультацій з теоретичного матеріалу дисципліни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Залога В. О., Гончаров В. Д., Залога О. О. Сучасні матеріали у машинобудуванні : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2013. 371 с.
2. Буренніков Ю. А., Сивак І. О., Сухоруков С. І. Нові матеріали та композити : навчальний посібник. ВНТУ, 2012. 161 с.
3. Нові матеріали в металургії та машинобудуванні / В. В. Кузьмін // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2021. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-73313>
4. Повстяной О. Ю., Рудь В. Д., Імбірович Н. Ю. Комп'ютерно-інформаційні технології в сучасному матеріалознавстві : монографія. Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2019. 193 с.
5. Василенко І. І., Широков В. В., Василенко Ю. І. Конструкційні та електротехнічні матеріали : навч. посібник. Львів : «Магнолія-2006», 2009. 242 с.
6. Обертюх Р. Р. Триботехніка : навч. посібник. Вінниця : ВДТУ, 1999. 78 с.
7. Закалов О. В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах : навчальний посібник. Тернопіль : Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 322 с.
8. Інженерія поверхні / К. А. Ющенко та ін. Київ : Видавництво Наукова думка, НТУУ «КПІ», 2007. 559 с.
9. ДСТУ ГОСТ 4543–71. Прокат із легованої конструкційної сталі. [Чинний від 2001-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2001. 24 с.
10. ДСТУ ГОСТ 977–88. Відливки сталеві. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 18 с.
11. ДСТУ ГОСТ 1435–99. Прутки, смуги та мотки з нелегованої сталі. [Чинний від 2001-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2001. 28 с.
12. ДСТУ ГОСТ 801–78. Сталь підшипникова. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 22 с.
13. ДСТУ ГОСТ 1050–88. Прокат сортовий, калібрований, зі спеціальним оздобленням поверхні із вуглецевої якісної конструкційної сталі. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 34 с.
14. ДСТУ ГОСТ 21022–75. Сталь хромиста для прецизійних підшипників. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 19 с.
15. ДСТУ ГОСТ 380–2005. Сталь вуглецева звичайної якості. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 27 с.

16. ДСТУ ГОСТ 1414–75. Прокат із конструкційної сталі високої оброблюваності різанням. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 15 с.
17. ДСТУ ГОСТ 14959–79. Прокат з ресорно-пружинної вуглецевої та легованої сталі. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 26 с.
18. ДСТУ ГОСТ 1215–79. Виливки із ковкого чавуну. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 20 с.
19. ДСТУ ГОСТ 7293–85. Чавун з кулеподібним графітом для відливок. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 21 с.
20. ДСТУ ГОСТ 7769–82. Чавун легований для відливок зі спеціальними властивостями. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 17 с.
21. ДСТУ ГОСТ 1412–85. Чавун з пластинчастим графітом для відливок. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 19 с.
22. ДСТУ ГОСТ 1585–85. Чавун антифрикційний для виливків. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 14 с.
23. ДСТУ 3926–99. Чавун з вермикулярним графітом для виливків. [Чинний від 2001-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2001. 12 с.
24. ДСТУ 3925–99. Чавун з кулястим графітом для виливків. [Чинний від 2001-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2001. 14 с.
25. ДСТУ ГОСТ 21963–2002. Круги відрізні. Технічні умови. [Чинний від 2003-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 16 с.
26. ДСТУ ГОСТ 3647–80. Матеріали шліфувальні. Класифікація. Зернистість і зерновий склад контролю. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 18 с.
27. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2016. 22 с.
28. Композитні та порошкові матеріали : навчальний посібник / П. П. Савчук та ін.; за заг. ред. П. П. Савчука. Луцьк : Видавець: ФОП Теліцин О. В., 2017. 368 с.
29. Технології і устаткування для формування виробів з традиційних та інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів : монографія / В. І. Сівецький та ін. К. : ВПІ ВПК «Політехніка», 2017. 120 с.

Навчальне видання

Андрій Валентинович Слабкий

**Практикум
до виконання практичних робіт і самостійної
роботи з дисципліни «Сучасні матеріали в
галузевому машинобудуванні»
зі спеціальності
«Галузеве машинобудування»**

Практикум

Рукопис оформлено *А. Слабким*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет виготовлено *Т. Старічек*

Підписано до видання 07.07.2025 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам. № P2025-101.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.

ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.

press.vntu.edu.ua;

E-mail: irvc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.