

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

Вінниця ВНТУ 2010

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. П. Шиліна, А. Ю. Осадчук

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

Усі цитати, цифровий, фактичний матеріал та бібліографічні відомості перевірені, написання одиниць відповідає стандартам.

Зауваження рецензентів враховані.

Автор: _____ О.П. Шиліна
(підпис)

_____ А.Ю. Осадчук
(підпис)

Вінниця ВНТУ 2010

Вимогам, які висуваються до навчальної літератури, відповідає.

До друку і в світ дозволяю на підставі § 2 п. 15 “Єдиних правил...”

Проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його науково-методичного забезпечення

О. Н. Романюк

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри ТПЗ
Протокол № від 8.12.09 р.
Зав. кафедрою _____ В. І. Савуляк

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. П. Шиліна, А. Ю. Осадчук

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Затверджено Ученою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів 0505 – “*Машинобудування та матеріалобробка*” бакалаврської підготовки 6.050502 – “*Інженерна механіка*”, 6.050504 – “*Зварювання*” всіх спеціальностей та форм навчання. Протокол № від 2010 р.

Вінниця ВНТУ 2010

УДК 621.7 (075)
ББК 34.6

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № від 2010р.)

Рецензенти:

В. Ф. Анісімов, доктор технічних наук, професор

І. О. Сивак, доктор технічних наук, професор

Ж. П. Дусанюк, кандидат технічних наук, доцент

Шиліна О.П.,Осадчук А.Ю.

Ш57 Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум: навчальний посібник /О. П.Шиліна, А. Ю. Осадчук - Вінниця: ВНТУ, 2010. – 107 с.

В навчальному посібнику розглянуто фундаментальні основи сучасного виробництва заготовок, класифікація способів виробництва заготовок методом лиття, переваги та недоліки способів лиття, параметри точності та шорсткості, що можуть бути досягнені. Посібник розроблений у відповідності з планом кафедри ТПЗ і програмами дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство” і „Фізико-хімічні та металургійні основи виробництва металів”.

УДК 621.74(075)
ББК 34.6

© О. П. Шиліна, А.Ю.Осадчук 2010

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1 Технологічні випробування матеріалів. Визначення оброблюваності сталей.....	3
Лабораторна робота №2 Виробництво виливків в піщано-глинистих формах.....	21
Лабораторна робота №3 Лиття в металеві форми	28
Лабораторна робота №4 Відцентрове лиття.....	31
Лабораторна робота №5 Листове штампування	34
Лабораторна робота №6 Ручне дугове зварювання металів	43
Лабораторна робота №7 Газове зварювання та різання металів	56
Лабораторна робота №8 Обробка поверхонь на токарному верстаті.....	65
Лабораторна робота №9 Обробка отворів на свердлильних верстатах.....	75
Лабораторна робота №10 Обробка поверхонь на фрезерних верстатах	84
Лабораторна робота №11 Налаштування ділільних головок	91
Лабораторна робота №12 Обробка заготовок на шліфувальних верстатах	98
Тестові завдання з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів»	103
Словник термінів.....	175
Література.....	179

Лабораторна робота № 1

Технологічні випробування матеріалів. Визначення оброблюваності сталей

Мета роботи - формування первинних знань про технологічні властивості конструкційних матеріалів і методу визначення оброблюваності сталей.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Технологічні властивості конструкційних матеріалів (property technical)- це комплекс фізико-хімічних властивостей цих матеріалів, зумовлених станом, складом і структурою в процесі взаємодії речовини з технологічним середовищем, тобто під час їх обробки. Оброблюваність матеріалу є основним критерієм його технологічності. Розрізняють матеріали з низькою, нормальною та підвищеною оброблюваністю. В таблиці 1 наводяться найбільш важливі технологічні властивості конструкційних матеріалів, їх показники, види виробництва та вироби, а також технологічні проби, випробування та виміри.

Ливарні властивості (founding) матеріалу визначають його здатність до переробки в рідкому стані з метою отримання виливків певних розмірів, форми та властивостей.

Деформовність (deformation) – оброблюваність тиском – це здатність матеріалу сприймати пластичну деформацію без руйнування єдності в процесі формозміни тиском в холодному або гарячому стані.

Зварюваність (welding) визначає властивість матеріалу утворювати нероз'ємне з'єднання, якість якого відповідає суцільному.

Зміцнюваність термічною обробкою визначає здатність матеріалу до загартування.

Оброблюваність різанням (machining) визначає опір матеріалу стружко-утворенню при заданих шорсткості, точності та якості оброблених поверхонь.

Електрофізична та електрохімічна оброблюваність матеріалу визначає його здатність до розплавлення та випаровування під дією електричного розряду або розчинення в електроліті при електролізі.

Металокерамічна оброблюваність визначає здатність матеріалу до утворення порошкових формовок та спечених виробів.

Таким чином, технологічні властивості матеріалів, їх оброблюваність зумовлюють технологічну переробку, метод виробництва їх в заготовки та готові вироби - деталі машин та інструменти.

Таблиця 1 - Технологічні властивості матеріалів

Технологічні властивості та їх основні показники	1	Матеріали	Метод виробництва та види виробів	Технологічні проби
1	Ливарні властивості: – рідкоплинність; – усадка; – схильність до ліквідації	2 Чавуни, сталі, кольорові метали та сплави, пластмаси	3 Ливарне виробництво. Виливка.	4 Випробування на рідкоплинність, усадку, схильність до ліквідації
2	Оброблюваність тиском: – ступінь деформації; – швидкість деформації; – температура деформації	Сталі, сплави кольорових металів, спечені вироби, пластмаси	Обробка металів тиском. Прокат, поковки, гнуті профілі	Випробування на згин, на перегин, осадку, видавлювання, твердість
3	Зварюваність: – міцність; – опір тріщиноутворенню	Сталі, чавуни, сплави кольорових металів, пластмаси	Зварювальне виробництво	Випробування на міцність зварного з'єднання та твердість, ударну в'язкість
4	Зміцнюваність термообробкою: – прогартованість; – загартованість; – схильність до росту зерна	Сталі, чавуни, кольорові метали та сплави	Термічна обробка. Металовироби	Випробування на гарт, твердість, ударну в'язкість, характер зламу

Продовження таблиці 1

	1	2	3	4
5	<p>Оброблюваність різанням:</p> <ul style="list-style-type: none"> - шорсткість поверхні; - точність розмірів; - швидкість та сила різання. 	<p>Сталі, чавуни, кольорові метали та сплави, спечені вироби, пластмаси.</p>	<p>Механо-складальне виробництво. Точні вироби</p>	<p>Випробування на оброблюваність різанням, на твердість, на ударну в'язкість.</p>
6	<p>Оброблюваність електрфізичними та електрохімічними методами:</p> <ul style="list-style-type: none"> – електроерозійна; – електрохімічна; 	<p>Матеріали, що важко обробляються.</p>	<p>ЕФ та ЕХ обробка матеріалів. Точні вироби</p>	<p>Випробування на ЕФ та ЕХ оброблюваність: шорсткість поверхні, продуктивність обробки.</p>
7	<p>Металокерамічна оброблюваність:</p> <ul style="list-style-type: none"> – текучість порошків; – пресовність; – спеченість. 	<p>Металеві та неметалеві порошки.</p>	<p>Порошкова металургія. Спечені вироби</p>	<p>Випробування на текучість, пресовність та спеченість порошків.</p>

Технологічні властивості матеріалу зумовлюють застосування відповідних методів їх обробки. Так, основним ливарним сплавом є чавун (*grey cast iron*) завдяки його добрим ливарним властивостям; сталь же головним чином оброблюють тиском; маловуглецева сталь (*steel*) добре зварюється, але вона не може зміцнюватись загартуванням, високовуглецева сталь - навпаки.

Проблеми надійності функціонування технологічних процесів, їх безвідходності та перспективності вирішуються на основі достовірної оцінки оброблюваності матеріалів. Таку оцінку отримують шляхом вимірювань, технологічних випробовувань та проб. Ними визначають ступінь оброблюваності матеріалу тим чи іншим способом.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОБИ

Найпростіший метод оцінки властивостей оброблюваного матеріалу, що найлегше виконується в умовах цеху - це метод технологічних проб. Його суть полягає в тому, що зразки матеріалу піддають технологічному впливу за видом обробки. Якість проби визначають за відсутністю бракувальних ознак - тріщин, розшарувань, зламів тощо, а також за оптимальністю режиму впливу. Проби дозволяють встановити технологію обробки, що забезпечує отримання якісних виробів. Технологічні проби звичайно зумовлюються технологічними умовами та вимогами на виготовлення виробів. Багато проб нормалізовані відповідними ГОСТами і ДСТУ.

До основних технологічних проб належать проби на визначення ливарних властивостей – рідкоплинність (*yield, flow*) та усадка (*shrinkage*), проби на згин, на зварюваність, видавлювання, оброблюваність різанням тощо.

2.1 *Проба на згин* (ГОСТ 3728-78) виконується для оцінки здатності металу сприймати згин до певного кута, до паралельності сторін при огинанні валика або до дотикання сторін (рис.1). Цій пробі піддають пластичні метали завтовшки до 30 мм. Випробування виконують на пресах, спеціальних машинах та на лещатах з заокругленими губками. Дріт, прутки, тонкий лист та стрічку випробують на перегин (ГОСТ 13813-68), подвійний кровельний замок (рис.2).

2.2 *Проба на видавлювання листів і стрічок за методом Еріксена* визначає здатність матеріалу до витягування при виготовленні об'ємних виробів з плоскої заготовки. Схема випробування листового матеріалу на видавлювання показана на рис.3. В залежності від товщини листа вибирають номер та діаметр пуансону 1, матриці 3 та притискувача 4. Лист 2 притискують кільцем 4 до матриці 3 і деформують пересуванням пуансону 1. Як наслідок в листі утворюється поглиблення, глибина якого в момент з'явлення тріщини фіксується на відповідній шкалі приладу. При дослідженнях застосовується мастило, наприклад, графітне.

Добрий якісний матеріал повинен забезпечувати глибину утвореної ямки не нижче норм, наведених в таблиці 2.

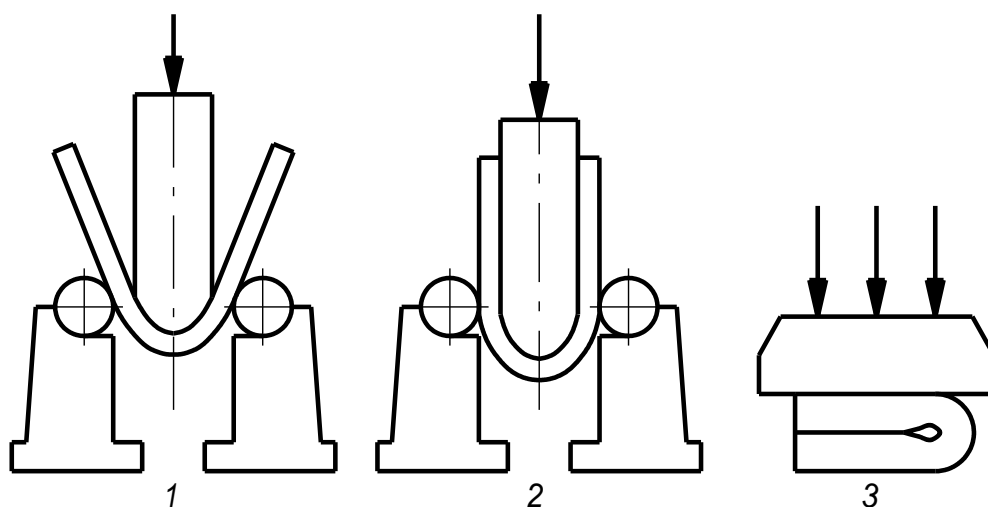
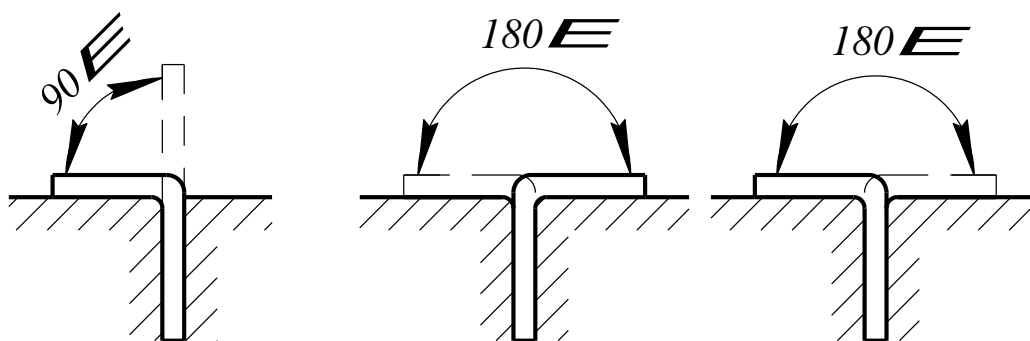
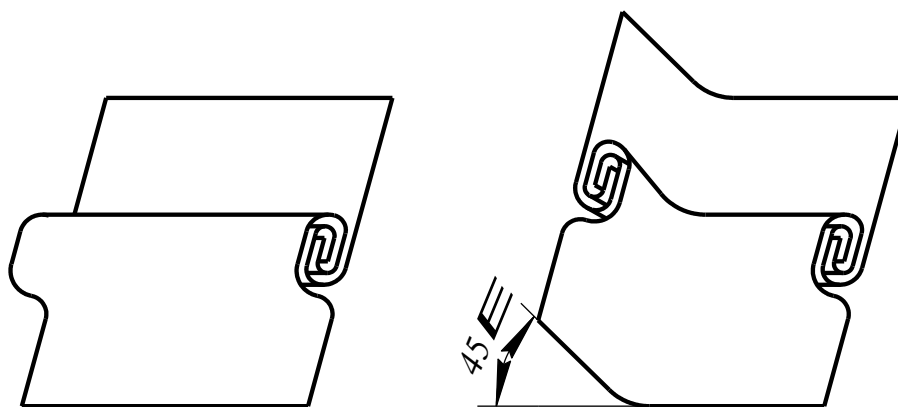


Рисунок 1 - Схеми випробувань на згин:

1 - до певного кута; 2 - до паралельності сторін; 3 - до дотикання сторін



а)



б)

Рисунок 2 - Схеми випробувань на:

а - перегинання; б - подвійний кровельний замок

Таблиця 2 – Глибина видавлювання в залежності від товщини матеріалу

Матеріал	Товщина, мм									
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Латунь	11.3	12.2	12.7	13.0	13.3	13.5	13.7	13.8	14.1	14.3
Мідь	9.6	10.5	11.1	11.4	11.8	12.1	12.3	12.6	12.8	13.0
Стальна стрічка	8.6	9.5	10.1	10.6	11.0	11.4	11.8	12.1	12.3	12.5
Сталь листова	7.3	8.3	9.5	10.1	10.6	10.9	11.3	11.3	11.7	12.2
Алюміній листовий	7.6	8.7	9.2	9.5	9.9	10.2	10.7	11.1	11.2	11.7
Жерсть біла	6.2	7.5	8.3	8.9	9.5	9.9	10.3	10.8	11.2	11,6

2.3 *Проба на оброблюваність різанням* виконується різними способами. За основу більшості з них береться порівняння оброблюваності еталону (сталь 45) та матеріалу, що випробовується. Для класифікації матеріалу за оброблюваністю застосовують метод Кеснера, суть якого полягає в свердлінні отвору діаметром 10 мм при частоті обертання близько 400 об/хв. При цьому подача свердла відбувається під дією постійного зусилля 50 кгс. Характеристикою оброблюваності є глибина проникнення свердла в металі за 100 обертів шпінделя верстата.

Оброблюваність оцінюється коефіцієнтом, що визначається за формулою

$$K_{piz} = (l_x / l_{45}) \cdot 100 \%,$$

де l_x - глибина отвору у випробуваному матеріалі;

l_{45} - глибина отвору в еталонному матеріалі.

Випробування виконуються на вертикально-свердлильному верстаті. При випробуванні тонких матеріалів 5...10 мм можна порівнювати час за який просвердлюються наскрізні отвори.

2.4 *Проба на міцність зварного з'єднання* дозволяє оцінити зварюваність різних матеріалів. Для цього зразки зварюються заданим швом за ГОСТ 5264-80. Зварне з'єднання піддають випробуванню на згин за ГОСТ 3728-78 до заданого кута, наприклад, 90°. Фіксується кут згину, при якому з'являються тріщини або відбувається руйнування з'єднання. Результати порівнюють з даними подібних випробувань основного матеріалу. Зварюваність оцінюється відношенням кутів згину, при яких утворюються тріщини, у вигляді коефіцієнта:

$$K_{зв} = \alpha_x / \alpha_o ,$$

де α_x - кут згину зварного з'єднання;
 α_o - кут згину основного матеріалу.

Випробування виконують на спеціальних пристроях або в лещатах з заокругленими губками (рис. 4).

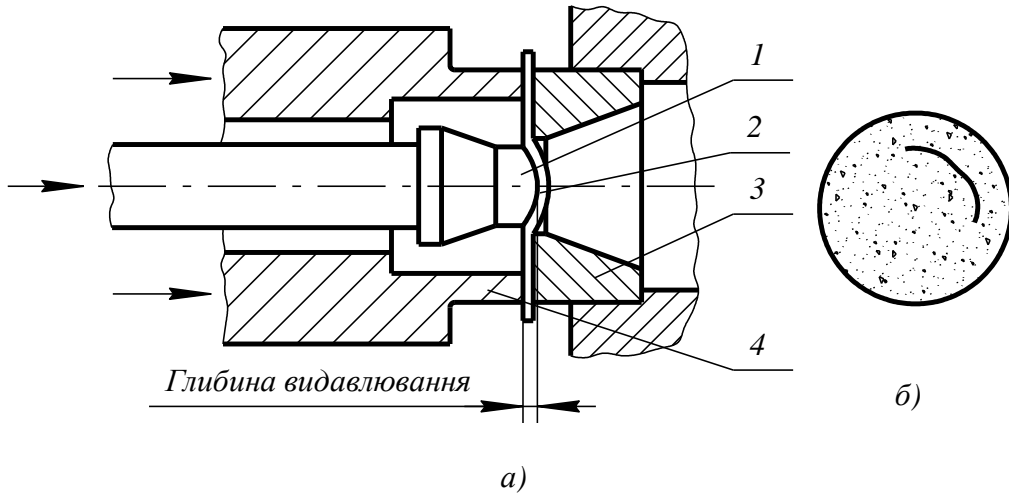


Рисунок 3 - Випробування листового металу на видавлювання:
 а - схема, випробування; б - лунка з тріщиною

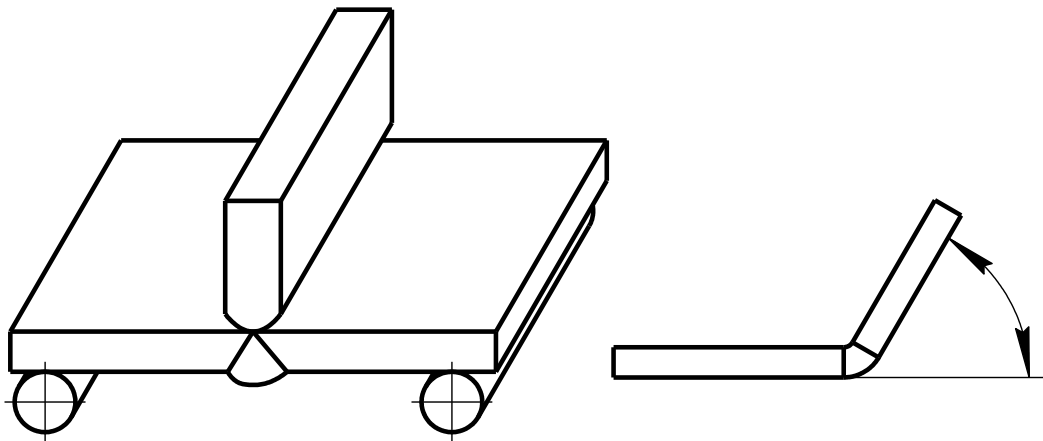


Рисунок 4 - Схема випробовування зварних швів на згин

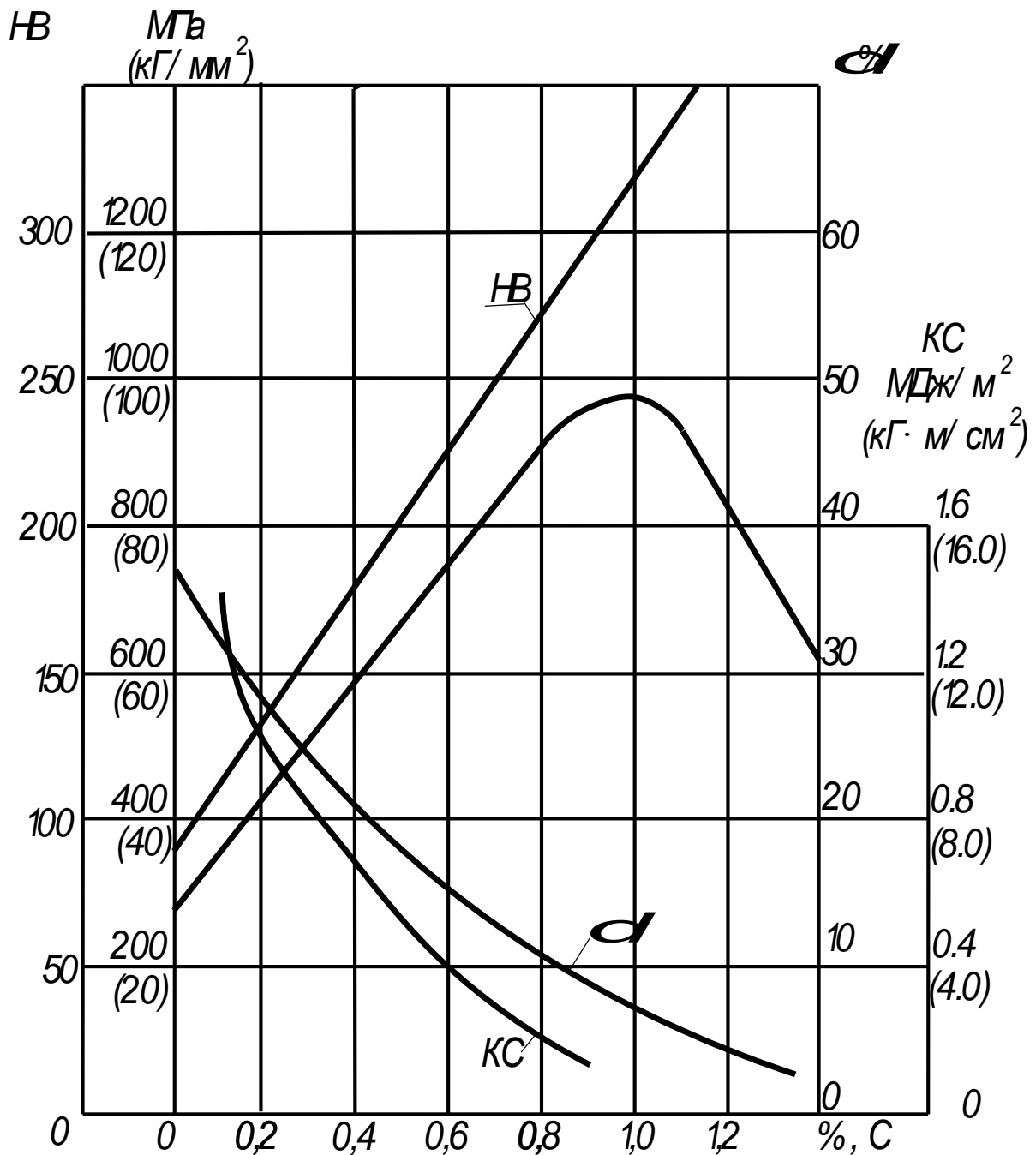


Рисунок 5 - Вплив вуглецю на механічні властивості сталей

3 ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Випробування на твердість.

Твердість (*hardness*) - це властивість поверхневого шару матеріалу чинити опір пружній та пластичній деформаціям або руйнуванню при місцевій пластичній взаємодії з боку іншого, більш твердішого тіла (індентора) відповідної форми та розмірів.

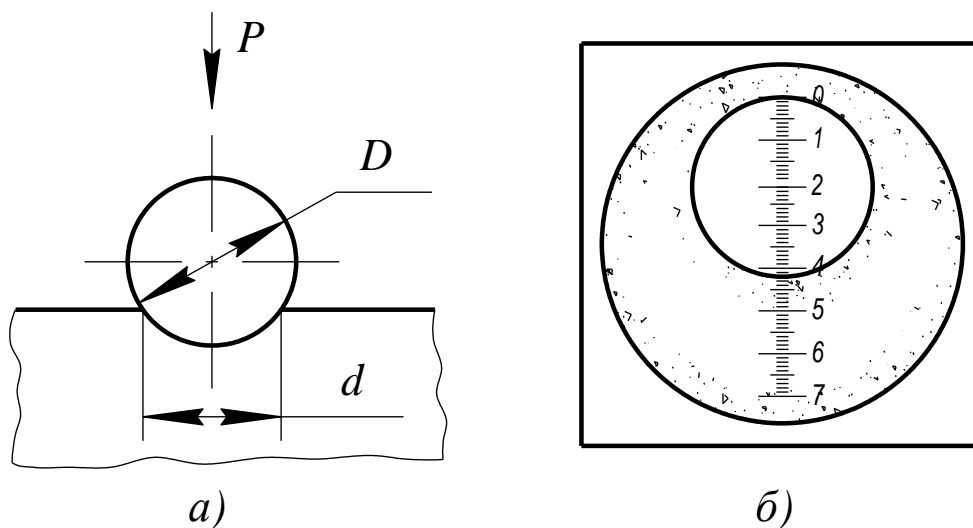


Рисунок 6 -Вимірювання твердості методом Брінелля:
a – схема утворення відбитка; *б* – вимірювання діаметра відбитка

Для багатьох сплавів встановлена чітка залежність між твердістю, механічними та технологічними характеристиками (міцністю, зносостійкістю, оброблюваністю різанням, тиском тощо). Тому вимірювання твердості є найбільш поширеним методом механічних випробувань. Способи визначення твердості поділяють на статичні та динамічні в залежності від швидкості прикладання навантаження, а за способом його прикладання - на методи вдавлювання та шкрябання. Найбільш розповсюджені методи де використовується статичне навантаження індентора перпендикулярно до поверхні зразка. Це методи Брінелля, Роквелла та Віккерса.

3.1.1 Твердість за методом Брінелля визначається відповідно до ГОСТ 9012-59. Як індентор використовується сталевий загартований кулька діаметром 10; 5 або 2,5 мм, яка вдавлюється у поверхню матеріалу під навантаженням від 153 до 29400 Н (від 15.6 до 3000 кгГ). На поверхні зразка утворюється відбиток (лунка) у формі кульового сегмента діаметром d (рис. 6, *a*). Цей діаметр вимірюють за допомогою спеціального мікроскопа, на окуляр якого нанесена вимірювальна шкала з поділками, що дорівнюють одній десятій долі міліметра. Діаметр відбитка визначають середнім значенням двох його вимірювань у взаємно перпендикулярних напрямках з точністю до 0.05 мм (рис.6, *б*). Число твердості за Брінеллем, яке позначається літерами HB (H - від англ. *hardness* - твердість, B – Брінелль), вимірюється відношенням навантаження P , що діє на кульку діаметром D , до площі відбитка F :

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Одиниця вимірювання твердості за Брінеллем - кГ/мм^2 , або МПа (МН/м^2). В першому випадку твердість записується так: $\text{НВ } 200$, $\text{НВ } 250$, де 200 ; 250 - величина твердості в кГ/мм^2 . Якщо твердість вимірюється в МН/м^2 , то запис такий: $\text{НВ } 2000 \text{ МПа}$, $\text{НВ } 2500 \text{ МПа}$. Діаметр кульки, навантаження та час витримки під навантаженням вибирають в залежності від очікуваної твердості та товщини матеріалу (таблиця 3). При вимірюванні твердості кулькою певного діаметра з відповідним навантаженням на практиці користуються стандартною таблицею, в якій приводяться числа НВ в залежності від діаметра лунки і відношення P/D^2 (таблиця 4). При вимірюванні твердості за Брінеллем потрібно виконувати такі умови:

- поверхня зразка повинна бути плоскою, чистою та гладкою;
- зразок повинен лежати на столику-підставці стійко, щоб під час вимірювання твердості не відбувалося його зрушення або прогинання; товщина зразка повинна бути не менша десятикратної глибини відбитка (більше $1...2 \text{ мм}$);
- відстань від центра відбитка до краю зразка повинна бути не менша $2,5d$, а між центрами двох сусідніх відбитків - не менша $4d$; для металів з $\text{НВ} < 350$ відповідно $3d$ і $6d$.

3.1.2 Твердість за методом Роквелла визначається шляхом вдавлювання в зразок індентора у вигляді алмазного конуса з кутом при вершині 120° або сталеної кульки діаметром 1.568 мм ($1/16$ дюйма - $1/16''$). Навантаження на індентор здійснюється послідовно: спочатку попереднє P_0 , що дорівнює 100 Н , потім основне P_1 . Сума попереднього і основного навантаження складає загальне навантаження P , яке вибирається в залежності від індентора і очікуваної твердості (таблиця 5).

За різницею глибин вдавлювання індентора під дією двох послідовних навантажень P_0 і P_1 роблять висновок про твердість матеріалу. Стрілка індикатора приладу Роквелла показує не цю різницю, а величину $(100 - v)$ по чорній шкалі C або A та $(130 - v)$ по червоній шкалі B , де $v = (h_1 - h_0) / 0.002$; h_1 і h_0 глибина вдавлювання індентора при прикладанні відповідно повного та попереднього навантаження; 0.002 - умовна одиниця твердості (ціна поділки шкали індикатора приладу).

Одиниця твердості за Роквеллом - безрозмірна величина, що відповідає осьовому переміщенню індентора на 0.002 мм . Твердість за Роквеллом позначається так: $\text{HRB } 30$, $\text{HRC } 60$, $\text{HRA } 80$, тобто твердість 30 за шкалою B , 60 - за шкалою C , 80 - за шкалою A . Числа HRA можна перевести на числа HRC за формулою $\text{HRC} = 2\text{HRA} - 104$.

3.1.3 Твердість за Віккерсом. При стандартному вимірюванні твердості за Віккерсом в поверхню зразка вдавлюється алмазний індентор у формі чотиригранної піраміди з кутом при вершині 136° під дією навантаження P , яке вибирають в межах $49...1176 \text{ Н}$ ($5...120 \text{ кГ}$) на протязі $5...10 \text{ с}$ (ГОСТ 2999-75). В результаті вимірювання на поверхні зразка утворюється відбиток у вигляді ромба, діагональ якого вимірюється спеціальним мікроскопом (див. рис. 6, б).

Таблиця 4 – Твердість за Брінеллем при $D= 10$ мм, $P = 29430$ Н (3000 кг) і $P = 30 D^2$

$d, \text{мм}$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.06	0.09
2.90	444	441	438	435	432	429	426	423	420	417
3.00	415	412	409	406	403	401	398	395	393	390
3.10	388	385	383	380	378	375	373	370	368	366
3.20	363	361	359	356	354	352	350	347	345	343
3.30	341	339	337	335	333	331	329	326	325	323
3.40	321	319	317	315	313	311	309	307	306	304
3.50	302	300	298	297	295	293	292	290	288	286
3.60	285	283	282	280	278	277	275	274	272	271
3.70	269	268	266	265	263	262	260	259	257	256
3.80	255	253	252	250	248	248	246	245	244	242
3.90	241	240	239	237	236	235	234	232	231	230
4.00	229	228	226	225	224	223	222	221	219	218
4.10	217	216	215	214	213	212	211	210	209	208
4.20	207	205	204	203	202	201	200	199	198	198
4.30	197	196	195	194	193	192	190	189	188	188
4.40	187	186	185	185	184	183	182	181	180	179
4.50	179	178	177	176	175	174	174	173	172	171
4.60	170	170	169	168	167	167	166	165	164	164
4.70	163	162	161	161	160	159	158	158	157	156
4.80	156	155	154	154	153	152	152	151	150	150
4.90	149	149	148	147	146	146	145	144	144	143
5.00	143	142	141	141	140	140	139	138	138	137
5.10	137	136	135	135	134	134	133	133	132	132
5.20	131	130	130	129	129	128	128	127	127	126
5.30	126	125	125	124	124	123	123	122	122	121
5.40	121	120	120	119	119	118	118	117	117	116
5.50	116	115	115	114	114	114	113	113	112	112
5.60	111	111	110	110	110	109	109	108	108	107
5.70	107	107	106	106	105	105	105	104	104	103
5.80	103	103	102	102	101	101	101	100	99.5	99.5
5.90	99.2	98.8	98.4	98.0	97.7	97.3	96.9	96.6	96.2	95.9
6.00	95.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця 5 – Умови вимірювання твердості за Роквеллом

Приблизна твердість за Брінеллем, $кГ/мм^2$	Сфера застосування	Шкала приладу Роквелла	Тип індентора	Навантаження P , H	Межі вимірювання твердості за шкалою Роквелла
Більше 700	Надтверді матеріали, цементовані сталі	<i>A</i> чорна	Алмазний конус	600	70...90
230... 700	Тверді та термічно оброблені сталі	<i>C</i> чорна	Алмазний конус	1500	20...67
60...230	М'які матеріали	<i>B</i> червона	Стальна кулька	1000	25...100

Схема вимірювання твердості за Роквеллом приведена на рис. 7.

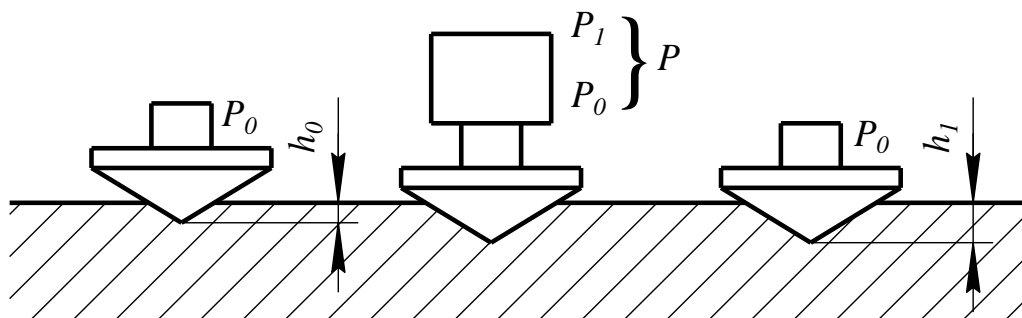


Рисунок 7 - Схема вимірювання твердості за Роквеллом

Число твердості за Віккерсом HV визначають діленням навантаження P на площу бічної поверхні отриманого пірамідального відбитка F :

$$HV = 2 P \sin (\alpha / 2) / d^2 = 1.854 P / d^2,$$

де d - середнє арифметичне двох діагоналей відбитка;
 $\alpha = 136^\circ$ - кут при вершині піраміди.

Твердість вимірюють в кГ/мм^2 і записують $HV\ 200$ без вказування одиниці вимірювання, або в Н/мм^2 і записують з вказуванням одиниці вимірювання, наприклад, $HV\ 2000\ \text{МПа}$.

Числа HB і HV близькі за абсолютною величиною, однак тільки до значення приблизно $HB\ 400$. Вище цих значень метод Брінелля дає спотворені результати внаслідок залишкової деформації сталюї кульки. Алмазна піраміда в методі Віккерса дозволяє визначати твердість практично будь-яких металевих матеріалів. Ще більш важлива перевага цього методу полягає у суворому співставленні чисел твердості HV будь-яких матеріалів, випробуваних при різних навантаженнях.

3.1.4 *Інші методи визначення твердості.* Для вимірювання твердості масивних деталей і конструкцій, коли описані способи застосувати неможливо, використовується метод ударного відбитку (ГОСТ 18661-73). На рис. 8 зображений прилад, призначений для цієї мети. Прилад складається з корпусу 4, бойка 3, кульки 1, пружини 2. В прорізь корпусу вставляється еталонний зразок 5, твердість якого відома. Для вимірювання твердості виробу 6 прилад ставиться кулькою 1 на його поверхню і по бойку 3 наноситься удар молотком. При цьому кулька одночасно утворює відбитки (лунки) у випробуваній деталі та в еталоні, поверхні яких пропорційні твердості цих матеріалів. Число твердості випробуваного матеріалу визначають в одиницях Брінелля

$$HB = HB_e \cdot F_e / F_d,$$

де HB_e - твердість еталону в одиницях Брінелля;

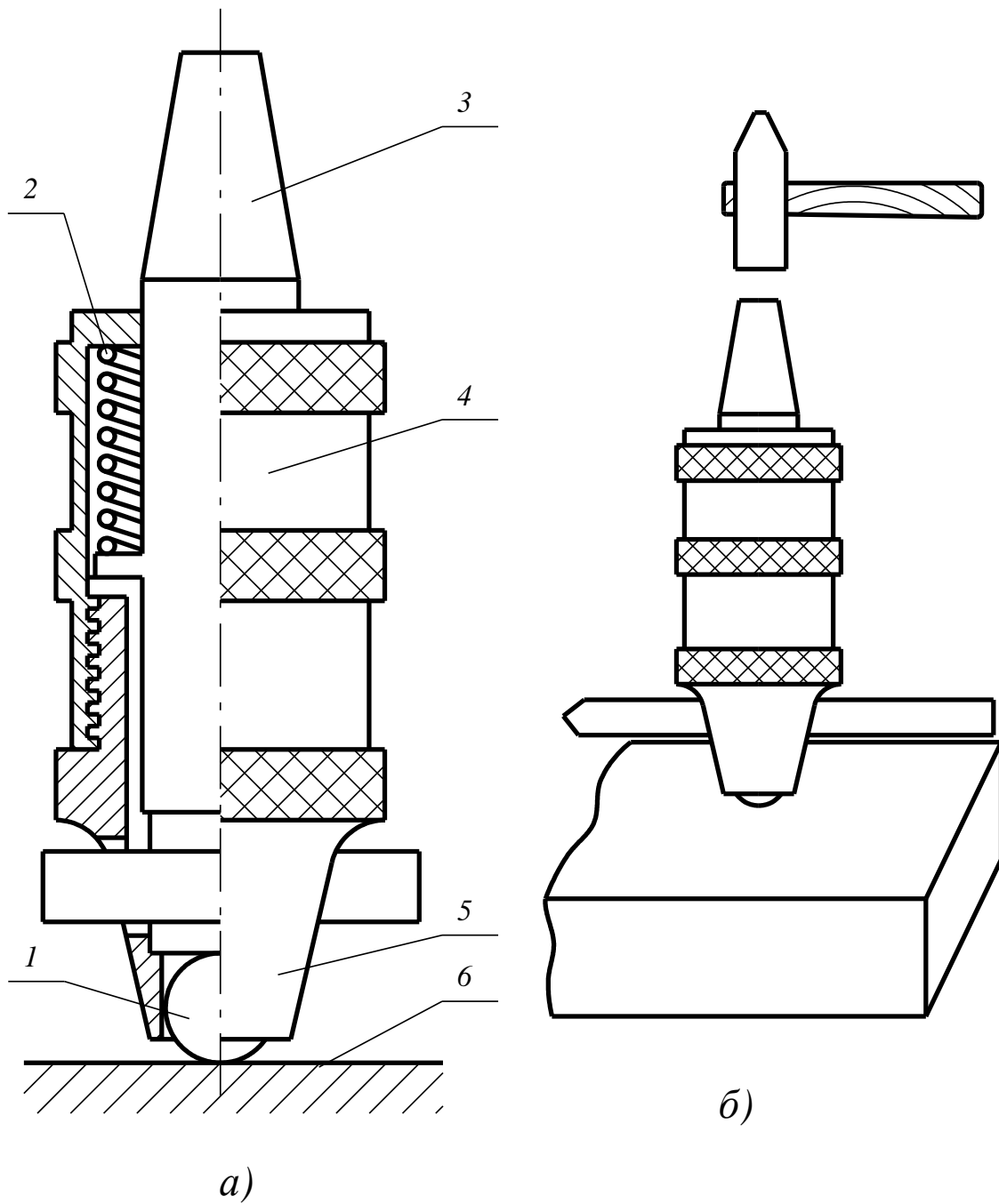
F_e - площа поверхні відбитка на еталоні, мм^2 ;

F_d - площа поверхні відбитка на деталі, мм^2 .

З інших динамічних методів оцінки твердості слід відмітити метод ударного відскоку (метод Шора) - ГОСТ 23273-78. Твердість визначають за допомогою бойка з алмазним наконечником, що падає з фіксованої висоти H (рис. 9). При падінні бойка вагою q з висоти H енергія удару витрачається на незворотний процес пластичної деформації та на пружну деформацію, яка повертається бойку у вигляді енергії пружного відскоку $A_2 = h \cdot q$. Повна енергія удару буде $A_1 = H \cdot q$. Енергія, що пішла на залишкову деформацію, буде $A = A_1 - A_2 = q(H - h)$. Таким чином, чим більша енергія пішла на залишкову деформацію, тим більш м'який матеріал і менша висота відскоку бойка h .

Висота відскоку бойка фіксується положенням стрілки на шкалі індикатора. Шкала має 140 поділок для оцінки висоти відскоку. Відскоку в 100 поділок відповідає твердість загартованої високовуглецевої сталі. Число твердості за Шором позначається HSD . Перевагою цього методу є можливість перевірки твердості шліфованих деталей без порушення якості поверхні.

Останнім часом широко втілюється ультразвуковий метод вимірювання твердості.



*Рисунок 8 - Прилад для вимірювання твердості методом ударного відбитка
 а - будова приладу; б - схема випробування*

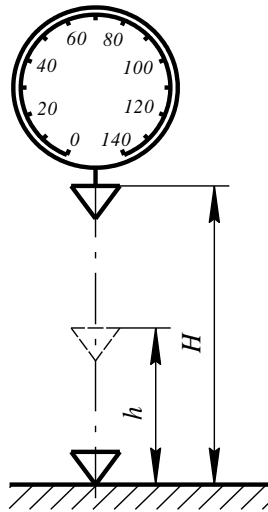


Рисунок 9 - Схема вимірювання твердості за методом Шора

4 ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

При експлуатації різноманітні деталі і конструкції часто піддаються ударним навантаженням (переїзд автомобіля через вибоїну на дорозі, посадка літака, кування або штампування на молотах тощо). Для оцінки здатності металевих виробів сприймати ударні навантаження використовують ударні випробування, які також виявляють схильність металів до крихкого руйнування. Це найбільш небезпечний вид руйнування, що катастрофічне швидко розвивається під дією порівняно невеликих напруг.

4.1 Вимірювання ударної в'язкості.

Найбільш поширеним динамічним випробуванням є випробування на ударне згинання (ударну в'язкість). Ударна в'язкість матеріалу - це кількість енергії (роботи), що витрачається на руйнування зразка при ударних навантаженнях. Основним зразком за ГОСТ 9454-78 є стержень квадратного перерізу 10 X 10 мм і довжиною 55 мм з надрізом (концентратором) посередині, який робиться шліфувальним кругом товщиною 2 мм і радіусом заокруглення 1 мм рис. 10, а).

Випробування проводяться на спеціальних приладах - маятникових копрах із змінним запасом енергії, гранична величина якої не перевищує 30 Дж (294 кг·м). Схема випробування приведена на рис.10, б. Зразок кладуть горизонтально в спеціальний шаблон, що забезпечує положення надрізу якраз посередині прольоту між опорами. Удар наносять з протилежного від надрізу боку. Маятник копра закріплюється у вихідному верхньому положенні. По шкалі фіксується кут підйому маятника α .

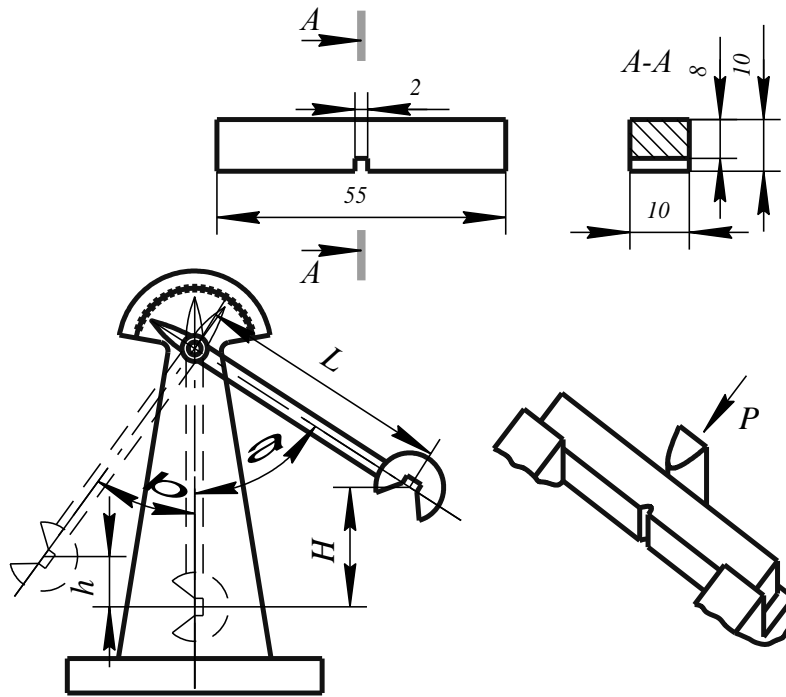


Рисунок 10 - Схема випробування на ударну в'язкість

a – зразок для випробування;
б – схема маятнікового копра

Після звільнення маятника він вільно падає під власною вагою, ударяє по зразку, згинає та руйнує його, піднімаючись відносно вертикальної осі на кут β . Цей кут тим менший, чим більша робота K , що витрачається маятником на деформацію та руйнування зразка:

$$K = Q (H - h),$$

де Q - вага маятника;
 H - висота встановлення маятника;
 h - висота підйому маятника після удару.

Якщо довжина маятника L , то $h = L(1 - \cos\beta)$, $H = L(1 - \cos\alpha)$ і робота руйнування буде

$$K = Q L (\cos \beta - \cos \alpha).$$

За цією формулою можна розрахувати роботу K , вимірявши кути α і β та знаючи величини Q і L , які для кожного копра постійні. (В лабораторному копрі шкала проградуєвана в одиницях роботи $\text{кГ}\cdot\text{м}$).

Знаючи повну роботу деформації і руйнування K , можна розрахувати ударну в'язкість $KС$:

$$KС = K / F,$$

де F - площа поперечного перерізу зразка в місці надрізу до випробування. Стандартна одиниця вимірювання ударної в'язкості - $\text{Дж}/\text{м}^2$ або $\text{кГ}\cdot\text{м}/\text{см}^2$.

5 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ ТА ПОРЯДОК ЙОГО ВИКОНАННЯ

5.1 Дано три зразки із сталей невідомих марок (один із зразків із сталі 45). Визначити твердість за Брінеллем кожного зразка і за графіком (рис. 5) знайти марку сталі.

5.2 Визначити коефіцієнт оброблюваності різанням кожного з трьох заданих зразків.

5.3 Визначити ударну в'язкість сталі, з якої виготовлено зразок 10 x 10 x 55 мм і також знайти марку цієї сталі.

5.4 Дані вимірювань та розрахунків занести в таблицю 6.

Таблиця 6 – Результати вимірювань і випробувань

Номер зразка	Марка сталі рис. 5	Механічні властивості				$K_{різ}$
		HV	σ	δ	KC	
1						
2						

6 ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ

Звіт про лабораторну роботу повинен вміщувати:

- назву роботи та її мету;
- короткі теоретичні відомості про властивості конструкційних матеріалів та методи їх вимірювань;
- результати вимірювань та розрахунків твердості, ударної в'язкості, коефіцієнтів різання;
- висновки.

7 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

1. Які властивості називаються механічними, технологічними, експлуатаційними?
2. Що характеризує поняття "оброблюваності матеріалу"?
3. Чим визначається оброблюваність матеріалу тиском, литтям, зварюванням, різанням?
4. Які властивості відносяться до механічних, технологічних?
5. Методи визначення твердості.
6. Як визначається твердість крупних важких виробів?
7. Що називається ударною в'язкістю?
8. В чому полягає методика визначення ударної в'язкості?
9. В чому полягає методика визначення оброблюваності різанням?
10. В чому полягає методика визначення твердості за Брінеллем, Роквеллом, Віккерсом?

Лабораторна робота №2

Виробництво виливків в піщано-глинистих формах

Мета роботи - вивчити технологію отримання виливків в піщано-глинистих формах (*casting, mould*), отримати навички формовки, заливки форм, вибивки литва, аналізу браку, сфери застосування литва, виготовленого таким способом.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Лиття в піщано-глинисті форми є основним способом одержання виливків із сплавів чорних та кольорових металів. Приблизно 70% (по масі) заготовок (*workpiece, flank, billet*) для деталей машин одержують литтям, а в деяких галузях машинобудування, наприклад, у верстатобудуванні 90 - 95%. Литтям можна отримати виливки практично будь-якої складності, маси та розмірів.

Найбільшу кількість виливків одержують у разових піщано-глинистих формах з формової суміші (*moulding materials*), що складається з кварцевого піску, вогнетривкої глини та спеціальних добавок. Спосіб виготовлення виливків у разових піщано-глинистих формах є найпростішим і найдешевшим. Однак виливки, одержані таким способом, в більшості випадків мають пониженою точність, вимагають підвищених припусків на механічну обробку (*machining allowance*), потребують великої кількості формових матеріалів (5–7 тон на тону литва) що погіршує умови праці робітників і утруднює автоматизацію технологічного процесу виготовлення виливків.

2 СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ У РАЗОВИХ ФОРМАХ

Технологія виготовлення, виливків у разових піщано-глинистах формах (*temporary moulding*) складається з таких послідовних операцій:

- виготовлення модельних комплектів (*model set*);
- приготування формових (*moulding mixture*) і стержневих сумішей (*core mixture, core sand*);
- виготовлення форм і стержнів;
- сушіння стержнів (а іноді і форм);
- складання форм;
- одержання рідкого металу;
- заливання ливарних форм (*casting, mould*) металом;
- вибивання виливків з форм;
- обрубання і очищення литва;
- термічна обробка, виливків (в разі необхідності);
- контроль готових виливків.

Модельний комплект складається з моделі, одного або кількох стержневих ящиків і моделей елементів ливникової системи.

Модель – зразок, за допомогою якого одержують звичайно зовнішні окреслення виливка в формі. Внутрішні порожнини та отвори у виливках утворюють за допомогою стержнів, які виготовляють у стержневих ящиках. Модель за конструкцією дещо відрізняється від деталі. Вона не має отвору, а, навпаки, в місцях виходу отвору, на торцях, є виступи - знаки 2 (рис. 11,б). Аналогічні знаки є і в стержневому ящику, отже, вони будуть і у стержня (рис. 11, в). Моделі складної форми виготовляють роз'ємними (рис. 11, б), або зі знімними частинами, а вертикальні стінки їх, перпендикулярні до площини рознімання, виконують з нахилом, що дає змогу виймати модель без руйнування форми.

Розміри моделей більші ніж деталі на величину лінійної усадки і припусків на механічну обробку.

Усадка(*shrinkage*) – зменшення об'єму (об'ємна усадка) і лінійних розмірів (лінійна усадка) виливка в процесі охолодження металу від температури заливання до нормальної температури. Середнє значення лінійної усадки становить: для сірого чавуну 1%, для сталі 2%, для бронзи 1,25... 1,5%.

Величина припусків на обробку залежить від розмірів і точності виготовлення виливка, марки сплаву, точності деталі, розташування оброблюваної частини виливка у формі.

Формові матеріали, які застосовують для виготовлення разових форм, повинні мати такі властивості: пластичність, текучість, міцність, газопроникність, податливість вогнетривкість, непригарність і мінімальну газотвірність.

Пластичність(*plasticity*) – здатність формової суміші приймати форму, що їй надається, без руйнування і давати точні відбитки моделі при формуванні.

Текучість – здатність зерен формової суміші до взаємного переміщення під впливом зовнішніх сил.

Міцність (*strength*) – здатність ущільненої суміші не руйнуватися під тиском металу, що заливається в форму, а також від поштовхів при складанні і транспортуванні.

Газопроникність (*permeability*)– властивість формової суміші пропускати з визначеною швидкістю газу.

Вогнетривкість – здатність суміші не плавитись і не розм'якшуватись під впливом розплавленого металу.

Непригарність (*non-stickiness*) – здатність суміші не вступати в хімічну взаємодію з металом, не сплавлятися з ним, не приварюватися до поверхні виливка.

Піддатливість (*pliability, compliance*) – властивість суміші не чинити великого опору усадці металу при охолодженні виливка в формі.

Газотвірність – здатність формової суміші виділяти гази при нагріванні.

Крім того, формові суміші повинні бути дешеві і зберігати свої властивості при багатократному їх використанні.

Основними складовими формових і стержневих сумішей є кварцевий пісок, вогнетривка глина, вода і спеціальні добавки, до яких належать скріплювачі (крім глини), протипригарні добавки та добавки, що підвищують податливість та газопроникність. Як скріплювачі застосовуються різні органічні та неорганічні речовини: олія і мінеральне масло, різні смоли, сульфітно-спиртова барда (продукт перероблення відходів целюлозно-паперового виробництва), декстрин (хімічно оброблений крохмаль) і рідке скло, що є швидкотвердіючим скріплювачем.

Протипригарними добавками є кам'яновугільний пил і мазут для сумішей, що використовують для виготовлення виливків з чавуну і сплавів з кольорових металів, а маршаліт (кварцева мука) – для виливків із сталі.

Для підвищення податливості і газопроникності застосовують тирсу і торф.

Ливникові системи (gating system) призначені для заливання з визначеною швидкістю металу в форму, а в деяких випадках - для живлення виливка рідким металом у процесі його кристалізації.

Нормальна ливникова система складається з ливникової чаші 16 (рис. 11), стояка 12, шлакоуловлювача 11 і живильників 10. Ливникова чаша – приймач струменя металу, що заливається в форму. Стояк – вертикальний канал, який з'єднує ливникову чашу з іншими елементами ливникової системи. Шлакоуловлювач призначений для затримки неметалевих включень. При поворотах і втраті швидкості руху струменя металу в шлакоуловлювачі шлак спливає на поверхню, а чистий метал проходить у живильники і по них безпосередньо у форму.

3 РУЧНЕ ФОРМУВАННЯ. ВИГОТОВЛЕННЯ ФОРМ У ДВОХ ОПОКАХ ЗА РОЗНІМНОЮ МОДЕЛЛЮ

Як приклад розглянемо процес виготовлення форми для виливка трійника, показаного на рис. 11, *а*. Модельний комплект складається з роз'ємної моделі (рис. 11, *б*) і стержневого ящика (рис. 11, *в*). Формування виконують у такій послідовності.

На підмодельну дошку 7 (рис. 11, *г*) встановлюють нижню половину моделі і моделі живильників 10 (рис. 11, *и*), за допомогою яких рідкий метал подається у порожнину форми, та нижню опоку 8 (рис. 11, *з*).

Для запобігання прилипання формової суміші до поверхні моделі та підмодельної дошки їх посипають сухим піском, графітом чи лікоподієм.

В опоку (*casting box, moulding frame*) засипають формову суміш і ущільнюють її трамбівкою. Зайву суміш зчищають лінійкою для одержання горизонтальної площини на рівні кромek опоки і загостреним прутком наколюють вентиляційні канали 9 для збільшення газопроникності форми.

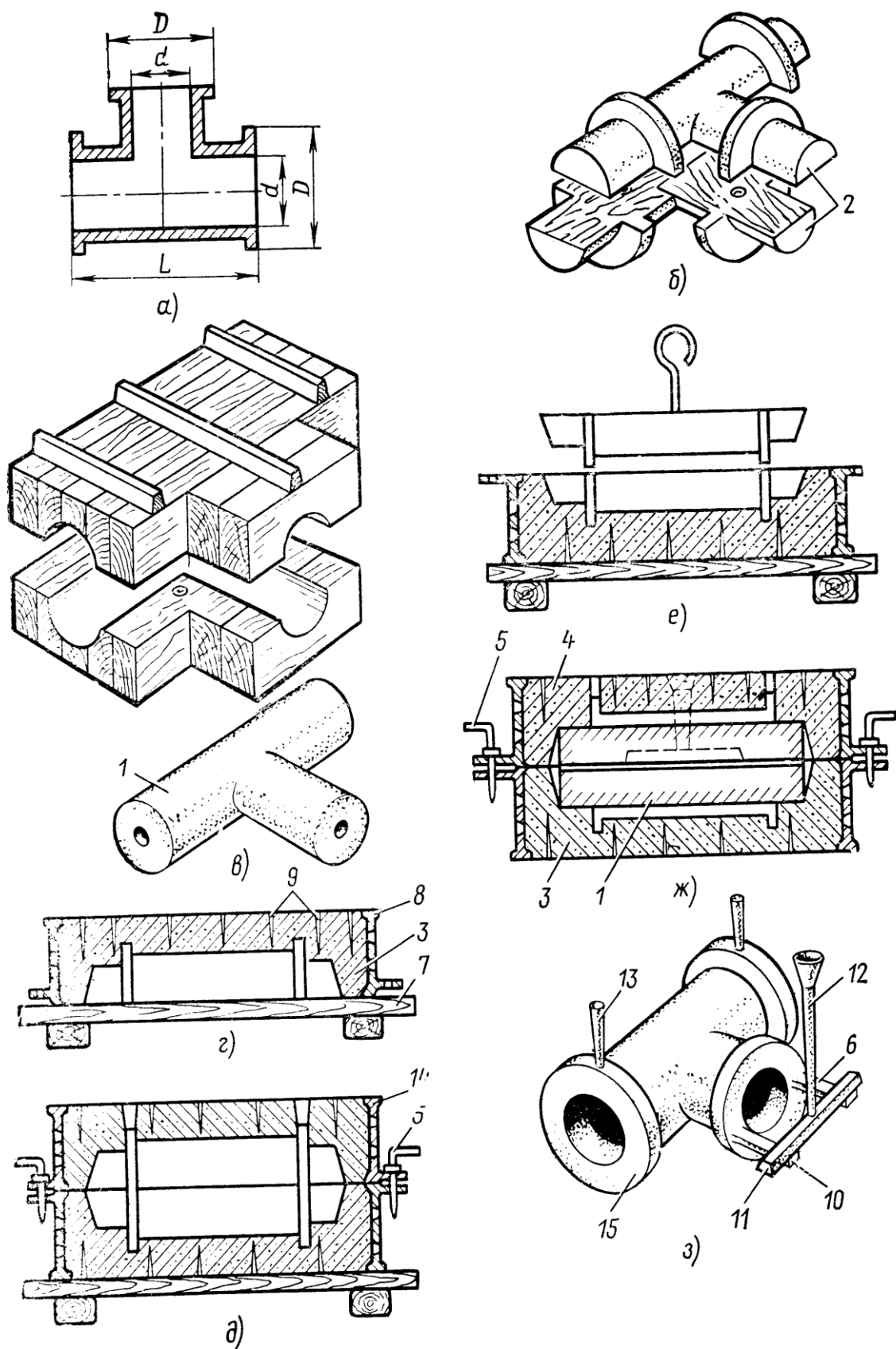


Рисунок 11 - Послідовність виготовлення ливарної форми у двох опоках за роз'ємною моделлю

Потім нижню напівформу повертають на 180° , поверхню рознімання вигладжують гладилкою посипають сухим роздільним піском. Після цього на нижню половину моделі накладають верхню її половину, взаємно центруючи їх шипами, встановлюють верхню опоку 14, центруючи її з нижньою штирями 5 (рис. 11, д), моделі стояка, випару та шлакоуловлювача (позиції відповідно 12, 13 та 11 на рис. 11). Потім засипають в опоку формову суміш, ущільнюють, зчищають її надлишок, наколюють вентиляційні канали, прорізають ливникову чашу 16 навкруги стояка, виймають моделі стояка і випарів, знімають верхню опоку, повертають її на 180° і ставлять поряд з нижньою. З кожної опоки виймають половини моделей деталі і ливникової системи. Після виправлення дефектів в нижню половину форми встановлюють раніше виготовлені і висушені стержні (рис. 11, ж) і верхню опоку ставлять на нижню, центруючи їх штирями 5. Опoki скріплюють скобами або зверху на них кладуть вантаж, щоб при заливанні метал не пройшов у площину розніму форми. Форму заливають розплавом через канали ливникової системи. Після заливання форму витримують для кристалізації розплаву та охолодження виливка, котрий після цього вибивають з форми, яка при цьому руйнується.

Перераховані операції виготовлення ливарної форми можуть здійснюватись або вручну – в одиничному, дрібносерійному виробництві за дерев'яними моделями, або механізовано з використанням формувальних машин за металевими моделями. Формувальні машини механізують такі операції: наповнення опок формувальною сумішшю, ущільнення суміші, видалення моделей із форми, складання і транспортування форм до місця заливання.

Машинне виготовлення форм полегшує працю формувальників, підвищує продуктивність праці й точність виливків на 2...3 квалітети порівняно з ручним формуванням, зменшує припуски на обробку, що економить 10...15% металу, забезпечує виготовлення взаємозамінних деталей.

Після виготовлення форми заливають розплавом певної температури: сталлю – $1390...1550^\circ\text{C}$, чавуном – $1220...1400$, бронзою – $1050...1200^\circ\text{C}$, силуміном – $690...730^\circ\text{C}$ (нижня границя для великих товстостінних виливків, верхня – для дрібних тонкостінних). Заливання здійснюється розливними ковшами, футерованими зсередини вогнетривом, так, щоб струмінь металу не переривався а ливникова чаша весь час була заповнена металом.

Стержні з виливків вибивають вручну або використовують пневматичні вібраційні машини, в яких вилівок струшується і стержнева суміш з нього видаляється. Великі стержні вимивають з виливка струменем води, використовуючи гідравлічні установки. При цьому значно підвищується продуктивність праці та покращуються умови роботи.

4 ОБРУБУВАННЯ Й ОЧИЩЕННЯ ВИЛИВКІВ

Операція відокремлення ливникової системи від виливків називається обрубанням. Обрубують ливникову систему у дрібних чавунних виливках вручну молотком або ковадлом. У сталевих і з кольорових металів виливках, а також додатки великих чавунних виливків відрізають дисковими або стрічковими пилами. Від сталевих виливків ливникову систему і додатки відокремлюють також газокисневим різанням. Заливи, задирки, нерівності поверхні обрубують пневматичним зубилом або зачищають абразивним кругом.

Після обрубання виливки очищають від пригару. В одиничному виробництві це роблять сталевими щітками, ручними або пневматичними зубилами, у серійному – в обертових барабанах із зірочками з білого чавуну (дрібні виливки з чорних металів), у дробоструминних і дробометальних апаратах або сильним струменем води з піском. Пригар із поверхні виливків кольорових металів видаляють хімічним травленням.

5 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВИЛИВКІВ

Контроль виливків здійснюється з метою визначення наявності на них дефектів, які свідчили б про неможливість подальшого використання виливків, тобто дефектів, які є не виправними. Основними дефектами виливків є такі:

– *газові раковини (flow-hole)* – пузирі газів у тілі виливка. Утворюються при недостатній газопроникненості формової суміші або при дуже щільному заповненню форми;

– *піщані та шлакові раковини (sand and slag holes)* – порожнини, заповнені формувальною сумішшю або шлаком. Це наслідок слабкого набивання форми або поганої конструкції шлакоуловлювача;

– *усадкові раковини* – відкриті або закриті пустоти в тілі виливка. Утворюються при неправильній конструкції виливка або незадовільній ливниковій системі;

– *холодні тріщини (cold cracks)* – розриви тіла виливка значної довжини. Утворюються внаслідок неоднакової швидкості охолодження різних частин виливка;

– *гарячі тріщини (hot cracks)* – розриви тіла виливка незначної довжини. Причина – недостатня піддатливість форми та стержнів або недостатня витримка виливків у формі.

Газові та піщані раковини а також відкриті усадкові раковини можуть бути виправлені заварюванням, якщо виливок буде працювати при великих навантаженнях, або забиванням замазками чи мастиками на невідповідальних виливках.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити технологію ручного формування
2. Ознайомитись з завданням на роботу.
3. Зробити ескізи виливка та зібраної ливарної форми.
4. Виготовити ливарну форму у двох опоках за роз'ємною моделлю.
5. Залити форму, вибити та очистити виливок.
6. Зробити аналіз якості виливка. При наявності дефектів встановити причину браку та міри по його усуненню.
7. Скласти звіт про роботу.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ

1. Назва роботи та її мета.
2. Коротке викладення основних відомостей про ливарне виробництво: суть, основні етапи виготовлення виливків, сфера застосування, перевага та недоліки лиття в піщано-глинисті форми.
3. Ескізи виливка, моделі, стержневого ящика, стержня, зібраної форми.
4. Викладення послідовності виготовлення ливарної форми.
5. Результати контролю виливка, аналіз причин браку.
6. Висновки по роботі.

8 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Матеріали для виготовлення формових сумішей.
2. Вимоги до формових та стержневих сумішей.
3. Склад модельних комплектів для ручного формування.
4. Технологія ручного формування у двох опоках за роз'ємною моделлю.
5. Призначення ливникових систем та їх складові частини.
6. Види браку виливків та їх причини.
7. Дефекти виливків і причини, що їх викликають.
8. Області застосування лиття в піщано-глинисті форми.
9. Переваги і недоліки виготовлення заготовок литтям в піщано-глинисті форми.
10. Якість заготовок, одержаних литтям в піщано-глинисті форми.

Лабораторна робота №3 Лиття в металеві форми

Мета роботи - вивчити суть, особливості і призначення лиття в металеві форми (кокілі), технологію отримання виливків цим методом та оцінити їх якість.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Литтям в кокіль (metal mould) називають процес отримання фасонних виливків шляхом заливання розплаву вільним струменем в металеві форми. Цей спосіб лиття є досить прогресивним, він забезпечує високу якість і економічний ефект в умовах великосерійного виробництва. Спосіб застосовується для отримання виливків з різних сплавів, але особливо широко з кольорових, головним чином з алюмінієвих.

Порівняно з литтям в піщано-глинисті форми лиття в кокіль має досить суттєві переваги: багаторазове використання форм; збільшення в 2...4 рази ефективності використання виробничих площ; зменшення обсягу обробки різанням внаслідок зменшення припусків на обробку; зменшення кількості браку; зменшення витрат стержневої суміші і виключення з використання формової суміші; збільшення як точності виливків, так і механічних властивостей литого металу; скорочення циклу виготовлення виливків. Все це сприяє зменшенню собівартості кокільних виливків на 10...15% в умовах велико серійного виробництва.

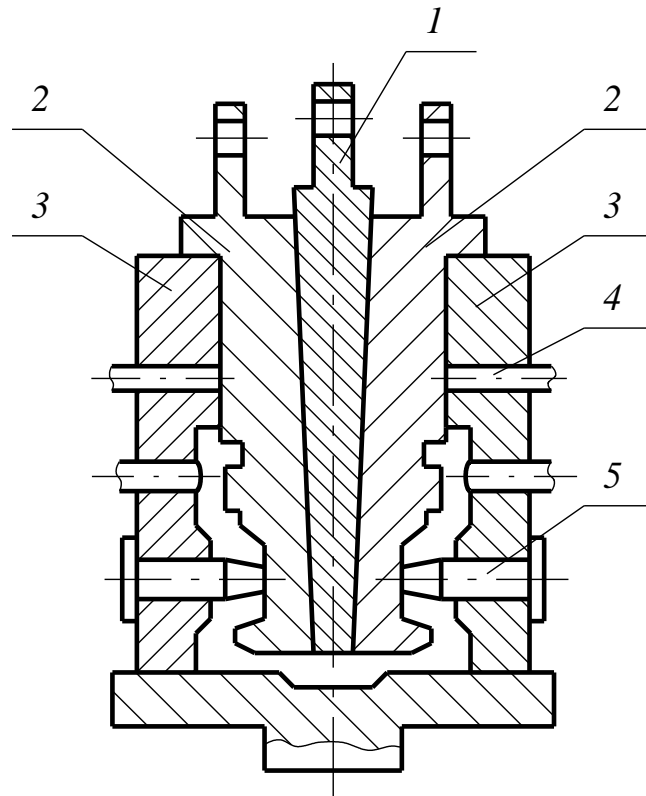


Рисунок 12 – Кокіль для виготовлення алюмінієвих автомобільних поршнів

Кокілі мають і недоліки: відсутність податливості і газопроникності; швидке охолодження розплаву при заливці сприяє зниженню рідкотекучості і поганому заповненню форми; висока вартість кокілів; низька стійкість при литті чавунних та сталевих виливків внаслідок високої температури заливки розплаву; утворення вибілу на чавунних виливках, що приводить до необхідності допоміжної операції - відпалу.

Головна особливість кокілів - велика швидкість охолодження а, значить, і кристалізації залитого розплаву, зумовлене високим коефіцієнтом теплопровідності матеріалу форми, що суттєво впливає на структуру і властивості сплаву, а, значить, і на якість виливків. Однак швидкість охолодження у деяких межах можна регулювати нанесенням на робочу поверхню форми спеціальних покриттів а також зміною температури форми.

Кокілі використовують головним чином для виготовлення дрібних і середніх за вагою та розмірами виливків.

1.1 Конструкція кокілів

Конструкція кокілю зумовлена конфігурацією виливка, розташуванням його у формі та умовами даного виробництва. До основних елементів кокілю відносять матриці (частина самої форми) і стержні. Розтин кокілю може бути вертикальним, горизонтальним, складним (розтин у кількох площинах). Для дуже простих виливків кокіль може бути суцільним.

Порожнини виливків утворюють стержнями, які можуть бути із стержневої суміші або металевими.

Металеві стержні використовують у випадках, коли порожнини простої форми - циліндричні або конічні, щоб стержень можна було легко видалити з виливка. Складні металеві стержні для зручності їх видалення з виливка роблять складовими. До таких, наприклад, відносять внутрішній стержень для поршня автомобільного двигуна з алюмінієвого сплаву (рис. 12). Цей стержень складається з трьох частин: однієї внутрішньої (клиноподібної) 1 та двох бокових 2. Спочатку після заливання форми виймають внутрішню частину 1, потім по чергово видаляють бокові, пересуваючи їх до центру за допомогою штовхачів 4 і витягуючи вгору. Після цього виймають стержні 5, розсуваються стінки форми 3 і видаляється виливок.

1.2 Покриття і облицювання (*facing*)

Для захисту поверхні кокілю від дії розплаву, регулювання швидкості охолодження виливка і покращання заповнюваності форми на робочу поверхню кокілю, металевих стержнів і ливникової системи наносять покриття спеціального складу. Змінюючи теплопровідність покриття введенням в його склад речовин з різною теплопровідністю і змінюючи товщину його шару, можна зменшувати або збільшувати швидкість охолодження розплаву, тобто керувати в деякій мірі швидкістю затвердіння виливка. Це має велике значення при виготовленні виливків з чавуну, схильного до вибілу при збільшенні швидкості охолодження.

Покриття складають звичайно з кількох компонентів, кожний з яких виконує відповідне призначення: служить розчинником (вода), скріплювачем (рідке скло), наповнювачем (пиловидний кварц, графіт, тальк, крейда, азбест). Товщина шару покриття різна: від долей міліметра (фарбування) до 5 (облицювання)...10 мм (футерування).

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Засвоїти мету роботи.
2. Вивчити загальні відомості про лиття в кокіль.
3. Вивчити будову лабораторних кокілів: суцільного, роз'ємного ручного та механізованого. Виконати їх ескізи.
4. Підготувати кокілі до роботи, вибравши раціональний спосіб в залежності від розплаву.
5. Залити кокілі розплавом.
6. Оглянути виливки та зробити аналіз їх якості.
7. Зробити ескізи виливків.

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва лабораторної роботи та її мета.
2. Коротке викладення загальних відомостей про лиття в кокіль.
3. Послідовність виготовлення виливків в кокілях.
4. Ескізи виливків та кокілів.
5. Аналіз якості виливків.
6. Висновки про роботу.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Суть способу лиття в кокіль.
2. Типи кокілів.
3. Переваги та недоліки лиття в кокіль.
4. Які проблеми виникають при литті в кокіль чавунних та сталевих виливків?
5. Чому при виготовленні сталевих виливків в кокілях обмежуються відносно простими за формою та невеликими за вагою і розмірами виливками?
6. З якою метою на робочі поверхні кокілів наносять покриття?
7. Які компоненти входять до складу покриття?
8. Чому при виготовленні кокільних виливків, наприклад, з кольорових сплавів покращуються їх механічні властивості?

Лабораторна робота №4 Відцентрове лиття

Мета роботи - вивчити суть, особливості і призначення відцентрового лиття (*centrifugal casting*), засвоїти технологію отримання виливків цим способом.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Суть відцентрового лиття полягає в тому, що розплав заливається у форму, яка обертається. Форма заповнюється розплавом під дією відцентрової сили, яка діє на розплав також і в період його затвердіння. Завдяки дії відцентрової сили з розплаву видаляються різноманітні неметалеві включення (бульбашки повітря, шлак тощо), які, маючи набагато меншу щільність ніж метал, зосереджуються біля внутрішньої поверхні виливка і видаляються при обробці різанням, для чого припуск на обробку внутрішньої поверхні призначається більшим, ніж зовнішньої.

Форма може обертатися навколо вертикальної, горизонтальної, інколи - навколо похилої осі. Розташування осі обертання вибирають в залежності від співвідношення висоти і діаметра виливка. Деталі, що мають висоту, яка в декілька разів перевищує діаметр (втулки, гільзи, труби тощо), отримують на машинах з горизонтальною віссю обертання (рис. 13, б). Виливки більшого діаметра і малої висоти одержують на машинах з вертикальною віссю обертання (рис.13, а).

Відцентровий спосіб лиття можна застосувати і для виготовлення фасонних виливків, які не є тілами обертання у тих випадках, коли рідкотекучість сплаву невисока. В цьому випадку метал, що заливається в центральний ливник, при обертанні відкидається в периферійні зони форми, з'єднані з центральним ливником живильниками (рис. 13, в). Відцентрову силу використовують для компенсації низької рідкотекучесті сплаву за для заповнення усієї форми розплавом. Такий метод відцентрового лиття (коли вісь обертання форми не збігається з геометричною віссю деталей, що відливаються) називається центрифугуванням (*cenrifugation*).

Частоту обертання форми рекомендується визначати за формулою:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\rho \cdot r_2}},$$

де 5520 - коефіцієнт, постійний для всіх сплавів;

ρ - густина металу, $г/см^3$;

r_2 - внутрішній радіус циліндра, м.

Частоту обертання форм при литті фасонних виливків центрифугуванням можна визначити за формулою:

$$n = v \cdot 30 / (\pi r),$$

де v - колова швидкість точки виливка, найбільш віддаленої від осі обертання, приймається рівною 3...5 м/с;

r - відстань від осі обертання до найбільш віддаленої точки виливка, м.

Відцентровий спосіб лиття має ряд переваг: одержувані виливки не мають усадкових і газових раковин, не засмічені шлаком, оксидами і іншими неметалевими включеннями; висока продуктивність праці; відсутність стержнів і робіт, пов'язаних з їх виготовленням. Відцентрове лиття не обмежується ні масштабом виробництва, ні родом сплаву, ні матеріалом форми.

Відцентрове лиття, виконують звичайно у чавунних або сталевих формах: без облицювання, з облицюванням, футерованих формовою сумішшю, футерованих сухим піском, фосфоритною мукою.

Як облицювання використовуються такі ж фарби, як і при литті в кокль, товщиною 0.5...0.7 мм.

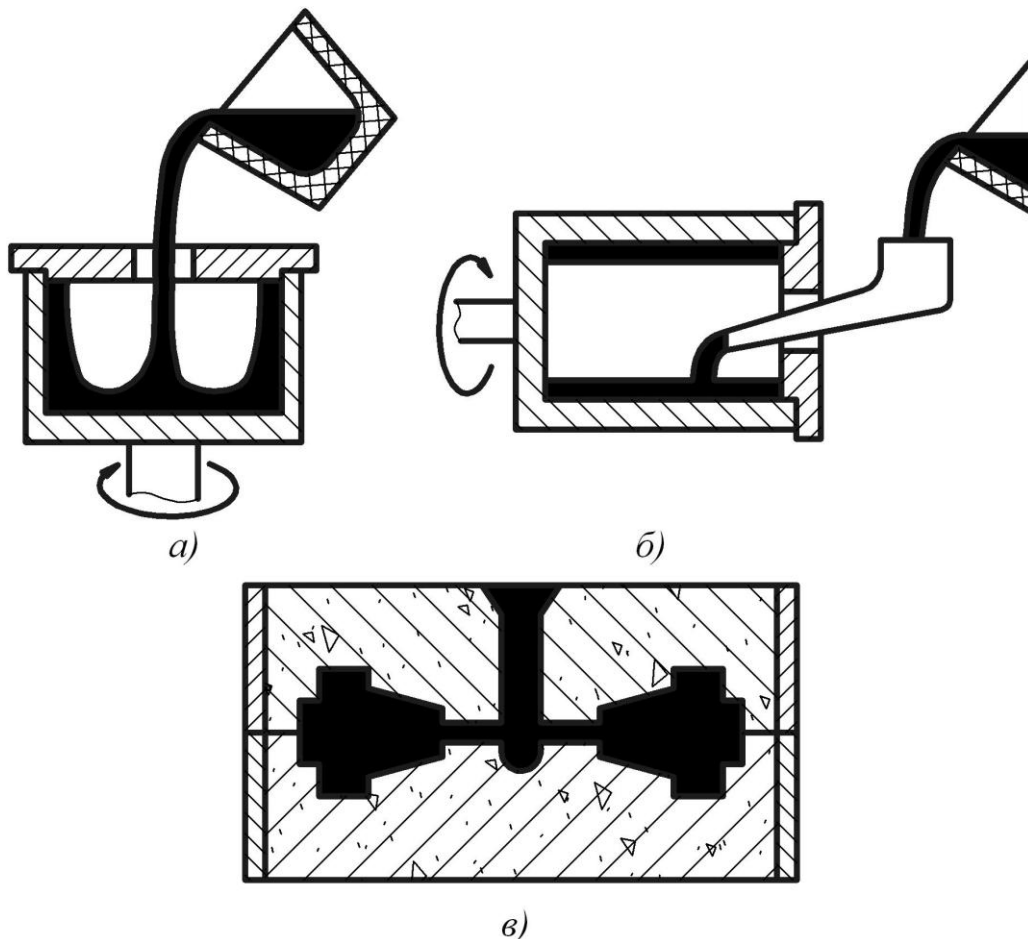


Рисунок 13 - Відцентрові установки
з вертикальною а) горизонтальною б) віссю обертання та для лиття центрифугуванням в)

Відцентровий спосіб лиття має ряд переваг:

- велика густина виливків внаслідок малої кількості міжкристалічних порожнин усадкового і газового походження;
- менші витрати металу із-за відсутності ливникової системи або зниження маси виливків;
- виключення витрат на виготовлення стержнів для забезпечення порожнин в циліндричних виливках;
- покращення заповнення форми металом;

Недоліки:

- важко виготовити виливки із сплавів, що схильні до ліквідації;
- неточність діаметра порожнини виливка;
- забруднення вільної внутрішньої поверхні виливків ліквідами та неметалевими включеннями, а у товстостінних виливків ця поверхня може мати пористість
- для виготовлення виливків потрібні спеціальні машини;
- ливарні форми дорогі, вони повинні мати високу міцність і герметичність в зв'язку з підвищеним тиском металу.

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити загальні відомості про відцентрове лиття: суть, призначення, можливості тощо.
2. Вивчити будову лабораторної установки для відцентрового лиття.
3. Підготувати установку до роботи.
4. Залити форму розплавом.
5. Зробити ескіз виливка та аналіз його якості.

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва лабораторної роботи та її мета.
2. Коротке викладення загальних відомостей про відцентрове лиття.
3. Описання лабораторної установки з ескізом.
4. Ескіз виливка. Аналіз його якості.
5. Висновки про роботу.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Суть відцентрового лиття.
2. Типи машин для відцентрового лиття.
3. Можливості відцентрового лиття та його переваги.
4. За рахунок чого збільшується продуктивність праці при відцентровому литті?

5. Чому при відцентровому литті збільшується коефіцієнт використання металу?
6. Як впливає відцентрова сила на якість металу?

Лабораторна робота №5 **Листове штампування**

Мета роботи - вивчення суті, обладнання, інструменту та операцій листового штампування.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Листовим штампуванням називають метод виготовлення плоских і об'ємних тонкостінних деталей з листового, стрічкового і штабового матеріалу. Товщина вихідної заготовки звичайно не перевищує 5 мм (у рідких випадках більше 5 мм, при цьому застосовується гаряче листове штампування). Матеріалом для штампування є сталь і сплави кольорових металів.

Широке застосування листового штампування в промисловості пояснюється рядом його позитивних якостей: 1) високою продуктивністю (до 30...90 тис. деталей за зміну); 2) можливістю використання низькокваліфікованої робочої сили; 3) точністю деталей, що забезпечує їх взаємозамінність і виключає у більшості випадків наступну механічну обробку; 4) сприятливими умовами для автоматизації процесу.

На вітчизняних заводах штампуванням з листового матеріалу виготовляють близько 60% автомобільних деталей, наприклад, кузов автомобіля, раму, крила, щитки, деталі радіатора, фари, диски коліс тощо.

Технологічні операції листового штампування можна поділити на дві групи: роздільні і формозмінні.

1.1 Роздільні операції

Ці операції пов'язані з відокремленням однієї частини матеріалу від іншої по замкнутому або незамкнутому контуру. До них відносяться:

1.1.1 Відрізання – розділення заготовки на частини за допомогою ножів або штампа. Його найчастіше застосовують як заготовчу операцію (різання заготовки). Ця операція виконується на ножицях з поступальним рухом ріжучих кромek ножів (гільйотинних) -рис.14,а; обертовим (дисковим) - рис.14, б; а також на відрізних штампах.

1.1.2 Вирізування (вирубубання) – повне відокремлення матеріалу по замкнутому контуру. При цьому частина, що відокремлюється, є виробом (рис. 15,а).

1.1.3 Пробивання – операція отримання в деталі наскрізного отвору (рис.15, б). Операції вирізування та пробивання виконуються за допомогою штампів (див.рис.19), Головними робочими деталями штампів є пуансон 1 і матриця 2 (рис.15), які працюють як ножі замкнутої форми. Зазор

7 між пуансоном та матрицею, що дорівнює $(0,05..0,1)S$, де S - товщина вихідної заготовки, забезпечується за рахунок зменшення діаметра пуансона при вирізанні (вирубанні) і за рахунок збільшення діаметра матриці при пробиванні.

1.1.4 Надрізання – операція часткового відокремлення матеріалу по незамкнутому контуру без видалення залишків, тобто без відходів (рис.15,в).

1.2 Формозмінні операції (рис. 16)

Формозмінними операціями називають такі операції, коли плоска або порожниста заготовка перетворюється в просторову деталь потрібних форми та розмірів. До них належать:

1.2.1 Витягання – процес одержання порожнистих виробів з плоскої листової заготовки. Витяганням виготовляють кузови і гальмові барабани автомобілів, каструлі, гільзи тощо.

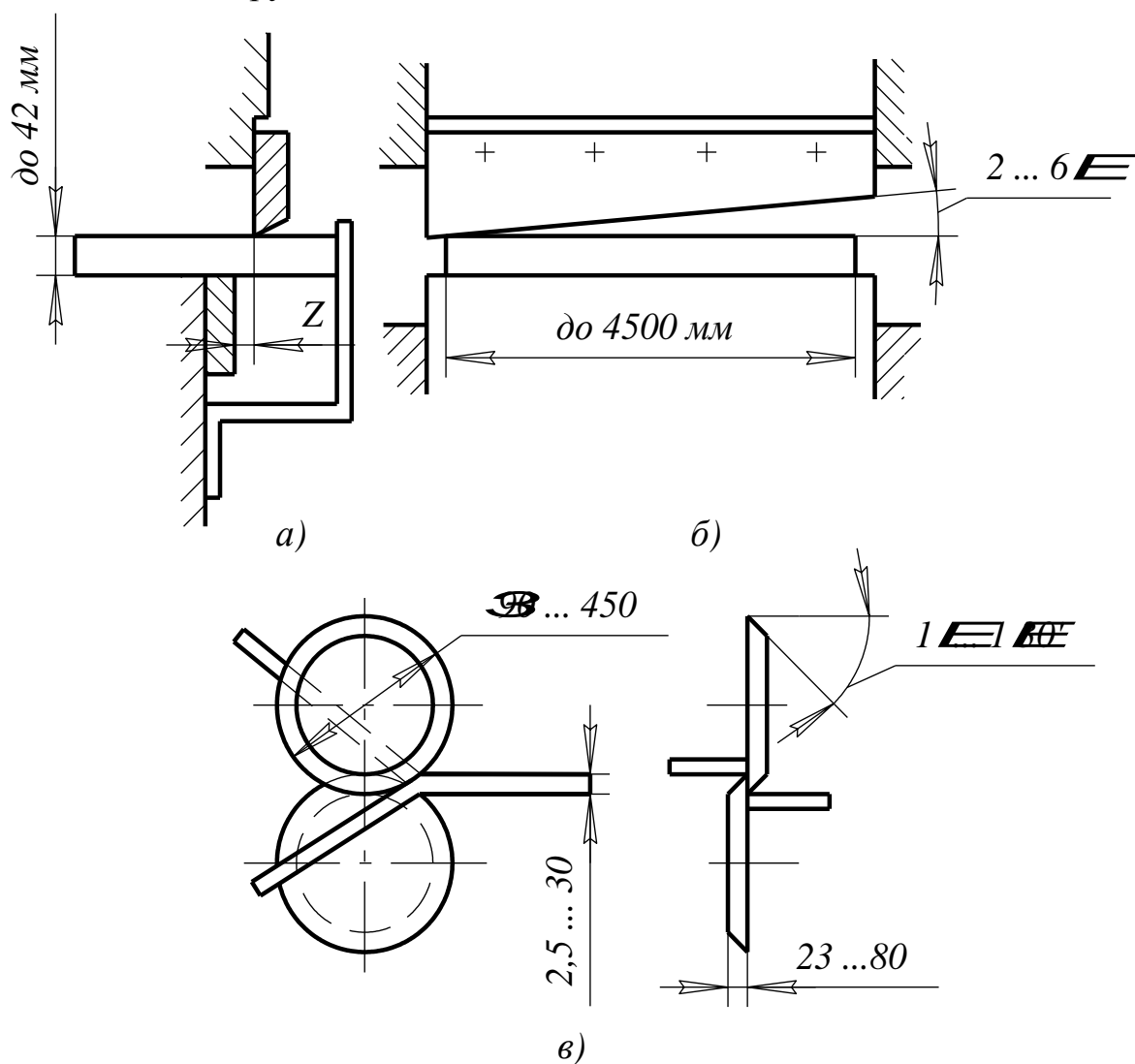


Рисунок 14 - Розрізання листового матеріалу на ножицях:
а - гільйотинних, б - дискових.

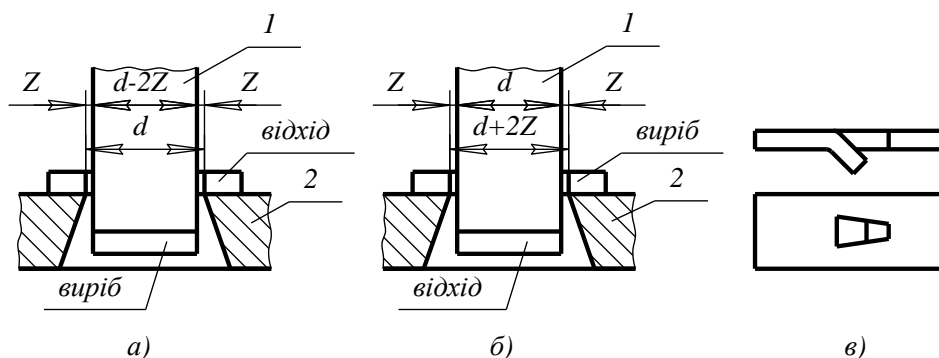


Рисунок 15 - Схеми роздільних операцій:
 а - вирізування; б - пробивання; в - надрізання

1.2.1.1 Витягання без стоншування стінки. Неглибокі деталі простої форми витягають за один перехід. Деталі більшої глибини а також складної форми витягають за кілька послідовних переходів. При багаторазовому витяганні діаметр деталі зменшується з кожним переходом, а глибина збільшується.

На рис.16, а показана схема витягання чашечки діаметром d_1 з вихідної заготовки діаметром D . На рис.16,б показана схема другого переходу для одержання чашечки діаметром d_2 .

Відношення зовнішнього діаметра одержаної деталі до діаметра вихідної заготовки називається коефіцієнтом витяжки K . Для практичних розрахунків заготовок із сталі і сплавів кольорових металів користуються такими значеннями коефіцієнтів витяжки: для першого переходу $K = d/D = 0,5...0,7$; для другого і наступних переходів $K_2 = K_3 = \dots = K_n = d_1/d_2 = \dots = d_n/d_{n-1} = 0,75...0,90$.

Зазор між пуансоном і матрицею Z повинен бути таким, щоб заготовку можна було втягнути в цей зазор. Звичайно приймають $Z = (1,2...1,3)S$, а для останнього переходу витяжки $Z = 1,1S$.

1.2.1.2 Витягання з стоншуванням стінки (редукування) є додатковою операцією, яка застосовується для стоншування бічних стінок поперечно витягнутої деталі.

Це досягається тим, що зазор між пуансоном і матрицею беруть меншим, ніж товщина стінки вихідної заготовки, а робочий отвір матриці у верхній частині виконують конічним (рис.16,в). За рахунок стоншування бічних стінок з розміру S_0 до S_1 збільшується висота деталі. Зменшення товщини стінки, що допускається за один перехід, має дорівнювати 40..60%.

1.2.2 Згинання – операція, яка змінює напрямлення осі деталі. При згинанні формозміна обмежується мінімальним радіусом інструмента R в

зоні згинання. В залежності від пластичних властивостей металу радіус R приймається рівним $0,1 \dots 0,2$ товщини заготовки (рис.16, *з*).

1.2.3 Розборткування – полягає в утворенні борта в заготовці з попередньо пробитим отвором. Розборткуванням можна одержати порожнисті заклепки, фланці, люки в днищах котлів та ін. (рис.16, *д*). Коефіцієнт розбортки K дорівнює відношенню діаметра отвору вихідної заготовки d_0 до діаметра борта d_1 . Допустиме без руйнування значення $K_p = 0,45 \dots 0,65$.

1.2.4 Обтискання – являє собою місцеве зменшення поперечного перерізу порожнистого виробу, одержаного витяганням (рис.16, *е*). Величина обтискання за один перехід становить $20 \dots 30\%$.

1.2.5 Формування – операція, яка виконується з метою одержання остаточного профілю (форми) чи більш точних розмірів попередньо витягнутого виробу.

Прикладом формування є одержання на виробках різного роду опуклостей, западин, орнаментів, ребер жорсткості і ін. Різновидом формування є випинання – формування зсередини, коли опуклості одержують за рахунок тиску зсередини гуми або рідини. На рис. 16, *ж* показане випинання попередньо витягнутого виробу за допомогою гумового вкладиша δ , на який тисне зверху пуансон. Штамп для випинання має роз'ємну матрицю, що дає можливість вийняти з нього готову деталь.

1.3 Визначення придатності матеріалу до листового штампування

Якість матеріалу, призначеного для штампування, повинна задовільняти вимогам, зумовленим не тільки призначенням і умовами роботи виробу, але і технологією штампування.

Здатність матеріалу до операцій листового штампування оцінюють за його механічними властивостями, а також за допомогою спеціальних технологічних проб. Для формозмінних операцій – це випробування на згинання та видавлювання (див. лаб. роботу № 1).

1.4 Обладнання для листового штампування

Більшість листоштампувальних робіт виконуються на кривошипних механічних пресах. Їм властива надійність в роботі, економічність і простота в керуванні. На рис.17 приведена схема такого пресу.

1.5 Інструмент для листового штампування

Інструментом для листового штампування є штамп, який складається з технологічних (робочих.) і конструктивних деталей (блока). Перші безпосередньо забезпечують виконання технологічних операцій. До них відносяться пуансони, матриці, притискувачі, виштовхувачі, напрямні планки та інші.

Другі служать для з'єднання всіх деталей штампа в загальну конструкцію і для закріплення штампа в пресі. Це верхня і нижня плити, хвостовик, напрямні колонки, скріплювальні деталі.

За технологічними ознаками штампи поділяються на штампи простої, суміщеної та послідовної дії.

Штампи простої дії призначені для виконання однієї або кількох од-
нойменних технологічних операцій на одній позиції за один хід рухомої
частини штампа.

В штампі суміщеної дії за один хід рухомої частини штампа вико-
нуються різнойменні технологічні операції або технологічні переходи, на-
приклад, вирубка та витяжка.

Штампи послідовної дії призначені для кількох технологічних опе-
рацій або технологічних переходів на кількох позиціях за відповідне число
ходів рухомої частини штампа.

На рис. 18 показано штамп простої дії для вирубки кружків. Нижня
частина штампа болтами прикріплюється до стола преса. До нижньої пли-
ти 6 за допомогою матрицетримача 7 і гвинтів прикріплюється матриця 5.
На матрицю кладуть дві напрямні пластини 10, а на них знімач 12. У ниж-
ній плиті 6 закріплені дві напрямні колонки 8. Верхня половина штампа
змонтована на верхній плиті 2, за допомогою пуансонотримача 3 до неї
прикріпленій пуансон 1. Хвостовик 4 служить для прикріплення верхньої
половини штампа до повзуна преса. Верхня плита 2 має дві втулки 9 для
напрямних колонок.

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити суть, операції, обладнання і інструмент для листового
штампування.
2. Виконати завдання згідно з таблицею 1. Номер завдання відпові-
дає порядковому номеру прізвища студента у журналі викладача.
3. Виконати штампування на пресі під керівництвом майстра.
4. Скласти звіт про роботу.

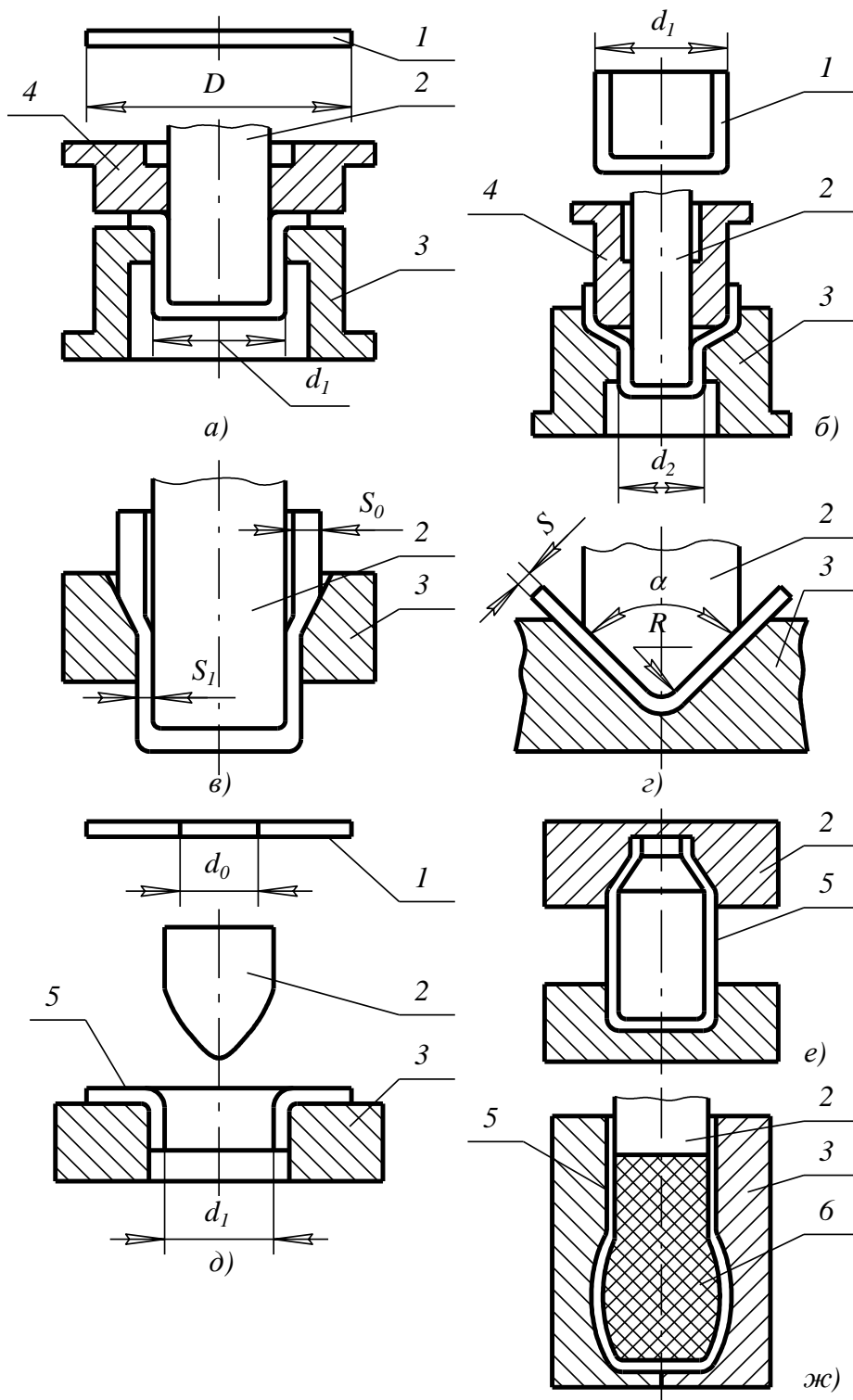


Рисунок 16 - Формозмінні операції листового штампування:
 1 - вихідна заготовка; 2 - пуансон; 3 - матриця; 4 - притискувач;
 5 - виріб; б - гумовий вкладиш. а, б - витягання; в - редукування;
 г - згинання; д - розборткування; е - обтискання; ж - формування.

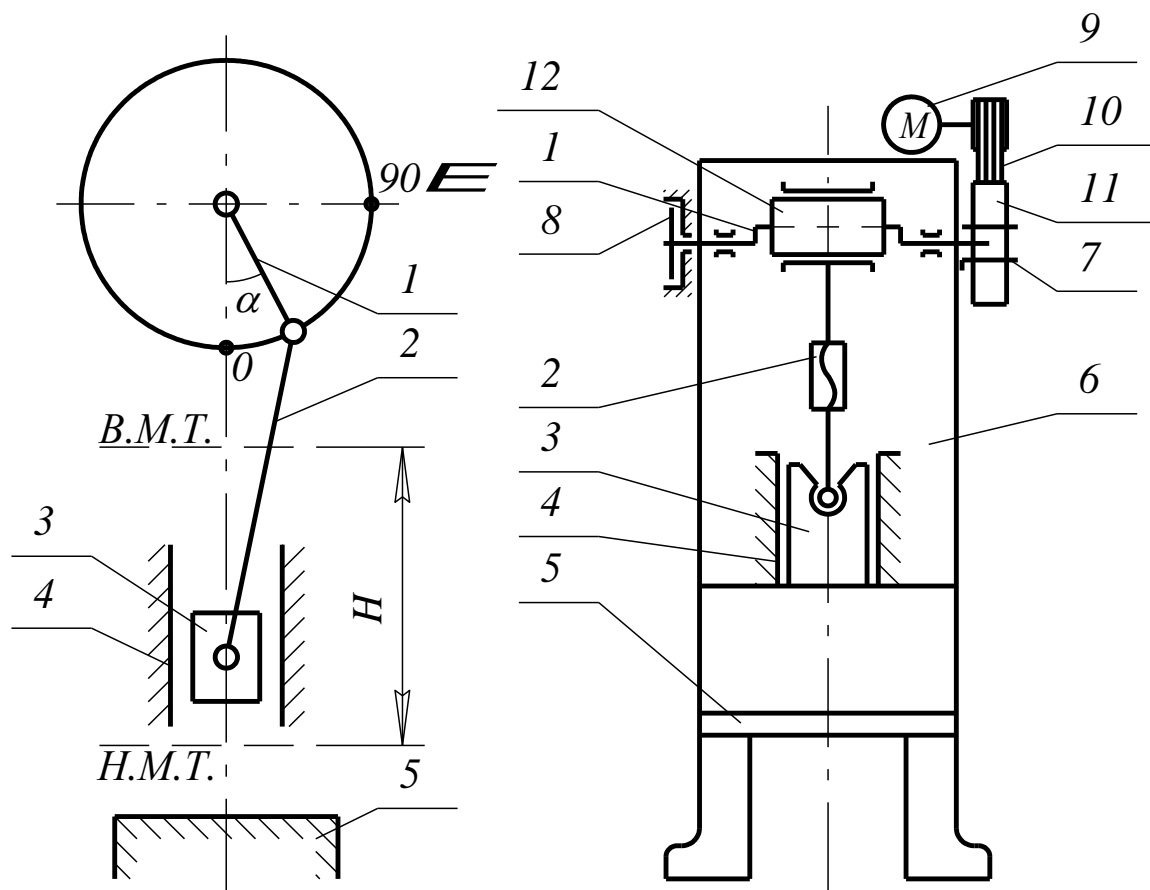


Рисунок 17 - Однокривошипний механічний прес:

- 1 - кривошип; 2 – шатун; 3 - повзун; 4 - напрямні повзуна; 5 - стіл;
 6 - станина; 7 - муфта включення кривошипа; 8 - гальмо;
 9 - електродвигун; 10 - пасова передача; 11 - маховик;
 12 - ексцентрикова втулка для регулювання величини ходу повзуна

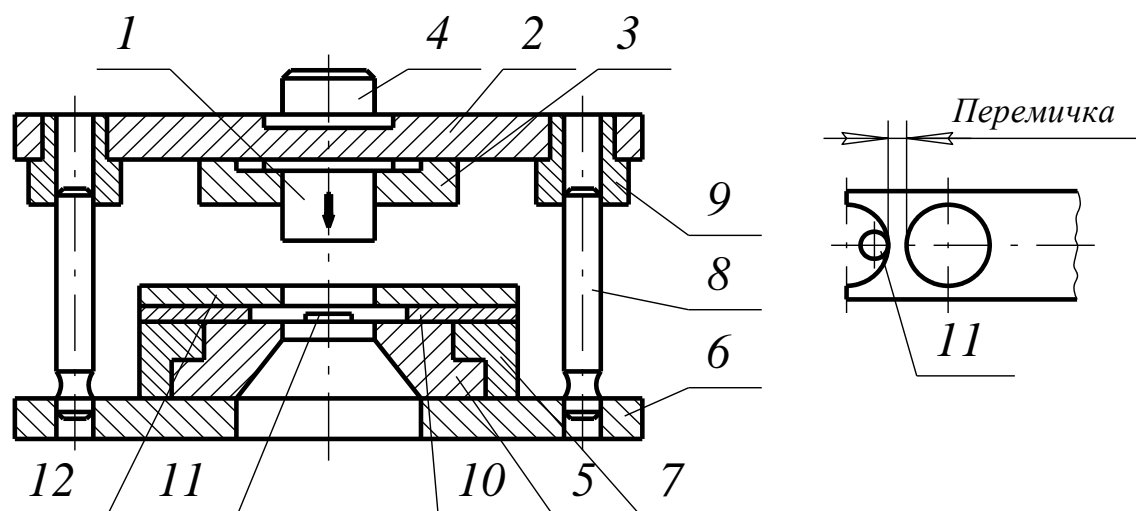


Рисунок 18 - Штамп простої дії

- 1 – пуансон; 2 – верхня плита; 3 – пуансонотримач; 4 – хвостовик; 5 - матриця; 6 – нижня плита; 7 – матрице тримач; 8 – напрямні; 9 – напрямні втулки; 10 – штаба; 11 – фіксатор; 12 - знімач

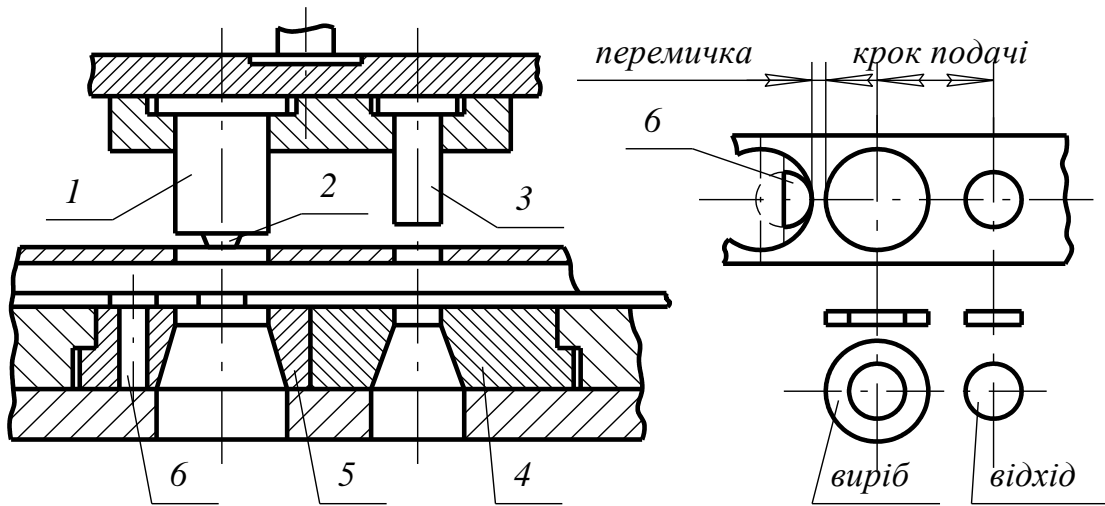


Рисунок 19 - Штамп послідовної дії:

1 - пуансон вирубки; 2 - фіксатор; 3 - пуансон пробивки;
4 - матриця пробивки; 5 - матриця вирубки

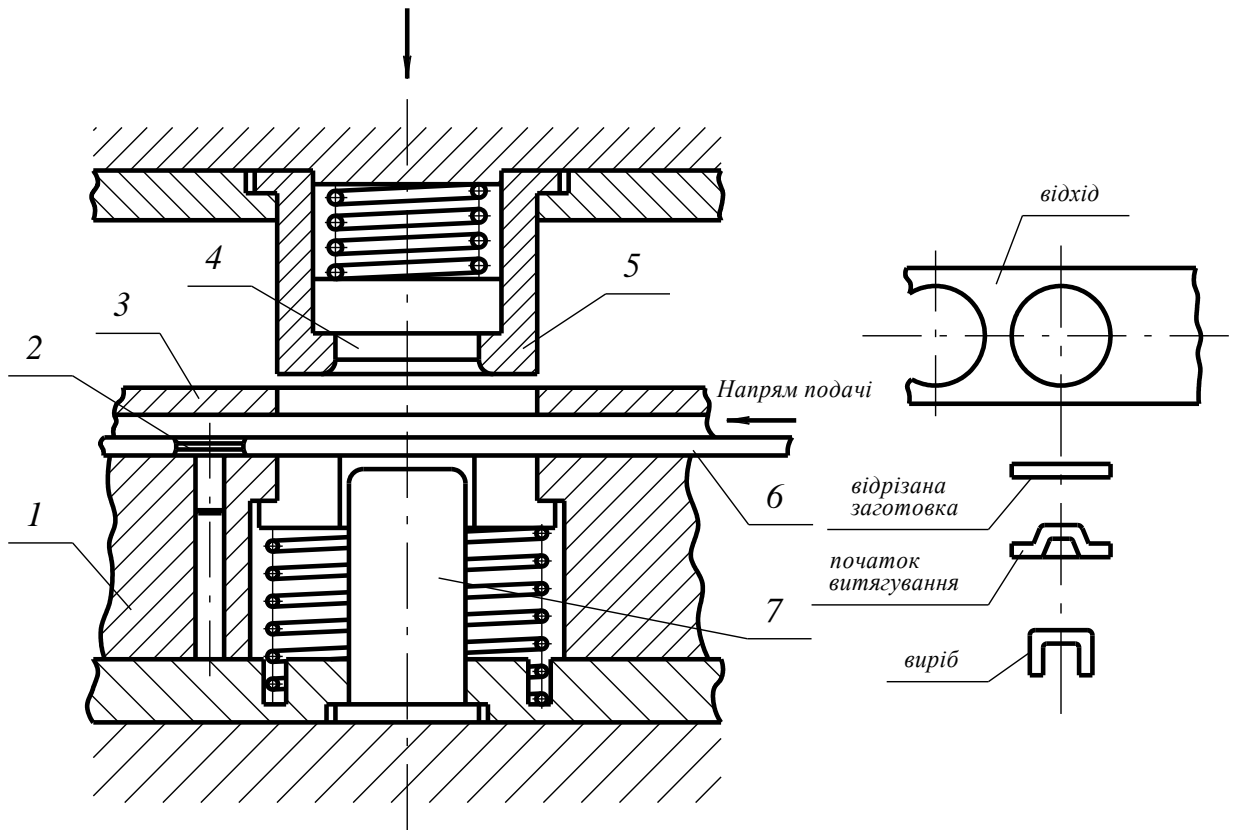
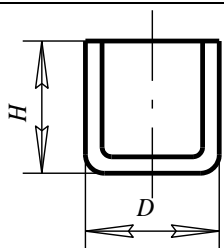
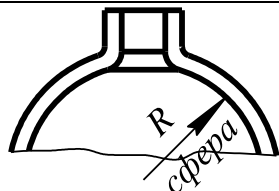
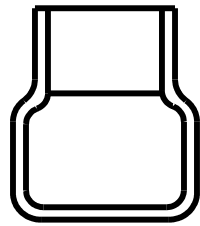


Рисунок 20 - Штамп суміщеної дії:

1 - матриця вирубки; 2 - упор; 3 - знімач; 4 - виштовхувач; 5 - пуансон ви-
рубки і матриця витяжки; 6 - штаба; 7 - пуансон витяжки

Таблиця 7- Варіанти завдань

Ескіз деталі		розміри		Завдання
		D	H	
1		300	200	Визначити кількість переходів, потрібних для виготовлення деталі
2		300	100	
3		200	100	
4		200	50	
5		100	100	
6		100	50	
7				Визначити які операції потрібні для виготовлення деталі
8				
9				
10				
11				Визначити операції, потрібні для виготовлення деталі
12				
13				
14				

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Короткі теоретичні відомості про листове штампування.
2. Необхідні схеми та розрахунки, потрібні для виконання індивідуального завдання згідно з таблицею 7.
3. Схема штампа, з допомогою якого проводилась практична робота та ескіз виготовленої деталі.
4. Висновки про роботу.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Як перевіряють здатність матеріалу до листового штампування ?
2. Які операції відносяться до роздільних, формозмінних ?
3. Яке обладнання використовується для листового штампування ?
4. Інструмент для листового штампування.
5. Типи штампів.
6. Суть листового штампування.

Лабораторна робота №6 **Ручне дугове зварювання металів**

Мета роботи - вивчення фізичної суті дугового зварювання, технології, обладнання та матеріалів для ручного дугового зварювання, виконання розрахунків режиму зварювання, отримання практичних навичок виконання найпростіших електрозварювальних робіт.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Електричне дугове зварювання – це процес з'єднання металевих заготовок шляхом розплавлення їх кромки теплом електричної дуги з наступною сумісною кристалізацією розплавленого металу.

1.1 Джерела зварювального струму

Для дугового зварювання застосовують як постійний, так і змінний струм. Джерелами постійного струму служать зварювальні генератори постійного струму і зварювальні випрямлячі.

При зварюванні змінним струмом використовують переважно зварювальні трансформатори. Оскільки режим дугового зварювання характеризується частими короткими замиканнями, то для обмеження струму короткого замикання джерела струму у більшості випадків мають так звану падаючу зовнішню характеристику.

Зовнішньою характеристикою – називається залежність між напругою U на затискувачах джерела струму і струмом навантаження I . Падаючою ж характеристикою називається такий характер цієї залежності, коли зі збільшенням струму навантаження напруга на клеммах джерела струму знижується.

На рис. 21 показано два види зовнішніх характеристик: жорсткої 1 і падаючої 2. Жорстку характеристику звичайно мають джерела струму, які призначені для силових або освітлювальних навантажень. Напруга у таких джерел при зміні струму навантаження залишається постійною.

Якщо ж джерело струму має падаючу зовнішню характеристику, то зі збільшенням струму навантаження напруга на затискувачах джерела струму падатиме і це приведе до обмеження струму короткого замикання.

Падаючу зовнішню характеристику зварювального трансформатора отримуємо за рахунок того, що послідовно з дугою і вторинною обмоткою трансформатора вмикають так звану дросельну або реактивну обмотку. При проходженні зварного струму у витках дросельної обмотки індукуються е.р.с. (електрорушійна сила) самоіндукції, яка має напрям, протилежний основній е.р.с. трансформатора. Тому напруга, підведена до дуги, знижується від значення холостого ходу (55...80 В) до 15...45 В під час горіння дуги і майже до нуля при короткому замиканні.

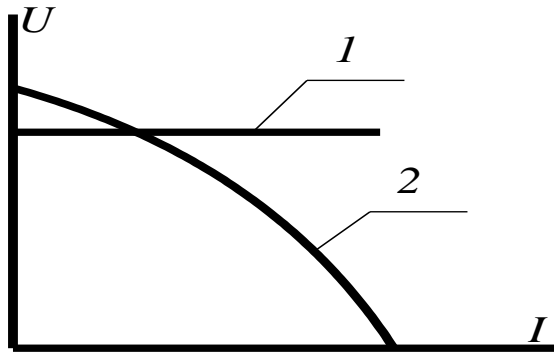


Рисунок 21 - Зовнішні характеристики джерел струму:
1 - жорстка, 2 - спадна

Є кілька схем вмикання дросельної обмотки з трансформаторними обмотками (рис.22). При першій схемі (рис.22, а) первинна I і вторинна II обмотки знижувального однофазного трансформатора розташовані на залізногому сердечнику 1, а дросельна обмотка III - на сердечнику 2, які є двома окремо виконаними апаратами.

При другій схемі вмикання (рис.22, б) трансформаторні (I - II) і дросельна (III) обмотки розташовані на спільному залізному сердечнику і являють собою один апарат. Причому, та частина сердечника, на якій розміщені обмотки I і II, є власне трансформатором, а частина, на якій розташована обмотка III – дроселем. Сила зварювального струму регулюється зміною повітряного зазору "С".

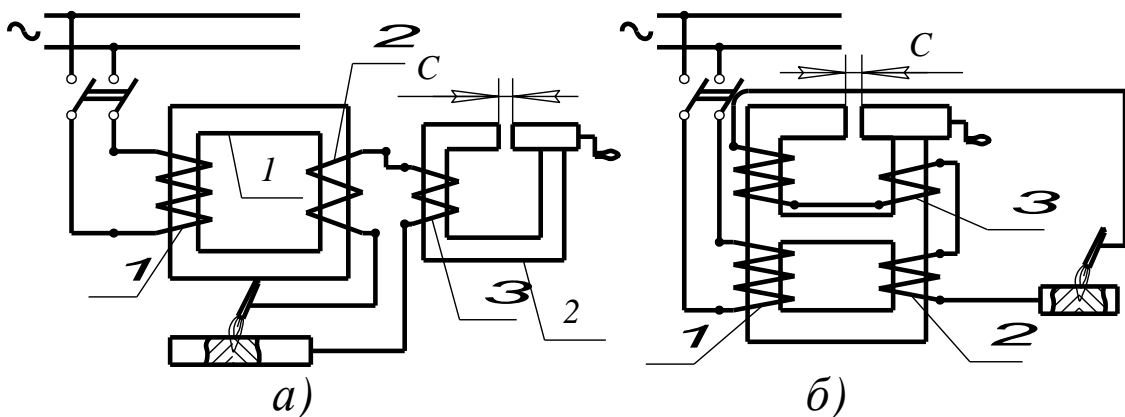


Рисунок 22 - Схеми зварювальних трансформаторів:

I - первинна обмотка, II - вторинна обмотка, III - дросельна обмотка.

1 - сердечник трансформатора; 2 - сердечник дроселя

1.2 Електроди для ручного дугового зварювання

Для ручного дугового зварювання використовують електроди, що розплавляються, і електроди, що не розплавляються. Найчастіше зварювання проводять електродом, що розплавляється. Їх виготовляють із сталюого зварювального дроту у вигляді стержнів діаметром від 1 до 12 мм (у більшості випадків до 6 мм) і довжиною від 150 до 450 мм, на які нане-

сені покриття. Електроди класифікують за такими ознаками: матеріалом, з якого вони виготовлені; призначенням для зварювання відповідних сталей; товщиною покриття, нанесеного на стержень; видом покриття; характером шлаку, який утворюється при розплавленні покриття; технічними властивостями металу шва; просторовими положеннями зварювання, родом та полярністю зварювального струму.

Застосування електродів повинно забезпечувати такі технологічні умови: легке запалювання і стійке горіння дуги; рівномірне розплавлення покриття; рівномірне покриття шва шлаком; легке відокремлення шлаку після зварювання; відсутність непроварів, пор, тріщин та інших дефектів в металі шва.

Покриття на електроді виконує такі функції:

- забезпечує стабільне горіння дуги за рахунок зниження потенціалу іонізації повітряного простору між електродом і деталлю, що зварюється. Для цього в покриття вводяться крейда, мармур, силікати натрію і калію, поташ;

- забезпечує газовий захист дуги, зони зварювання і розплавленого металу за рахунок речовин у складі покриття, які легко розкладаються при високій температурі - крохмалю, целюлози, магнезиту та ін.;

- забезпечує шлаковий захист поверхні розплавленого металу. Шлакоутворюючими компонентами покриття є марганцева руда, плавиковий шпат, рутил, мармур, крейда та ін.;

- розкислення металу зварювальної ванни. Як розкислювачі застосовують феромарганець, феросиліцій;

- легування металу шва феросплавами. Як скріплювач перерахованих компонентів звичайно використовують рідке скло (силікат натрію $Na_2O (SiO_2)_m$).

2 ТЕХНОЛОГІЯ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

2.1 Підготовка металу до зварювання

Підготовка металу до зварювання складається з правки, очистки, розмітки і збирання підготовлених деталей для зварювання. Правкою ліквідується деформація прокатоної сталі, з якої головним чином і виготовляють зварні конструкції. Очистку кромки від іржі, забруднень проводять металевою щіткою, роблять це, а також сушку вологих місць, досить ретельно, щоб запобігти утворенню в зварних швах пор, раковин, різних включень та інших дефектів. Різку при підготовці деталей застосовують головним чином термічну (вогневу). Механічне різання доцільно виконувати при заготовці однотипних деталей, підготовці кромки. Зібрані вузли і деталі з'єднують прихватками, які являють собою короткі шви з поперечним перерізом 1/3 поперечного перерізу повного шва. Довжина прихватки 20...100 мм в залежності від товщини листів і довжини шва.

2.2 Підготовка кромки під зварювання

При зварюванні встик листів товщиною до 6 мм кромки не скошують (рис. 23, а). Для досягнення необхідного провару листи розташовують з зазором 2...4 мм. При товщині листів від 6 до 20 мм роблять V - подібний скіс кромки під кутом 60...70 (рис. 23,б). Біля вершини кута залишають притуплення 3...5 мм щоб запобігти пропалу і для зменшення кількості наплавленого металу. Між листами залишають зазор 2...4 мм для покращання провару вершини шва. Для стикових швів в горизонтальному положенні звичайно роблять скіс кромки одного листа під кутом 45° (рис. 23,в) . При зварюванні листів товщиною більше 20 мм роблять X- або К-подібну розробку (рис. 23,г,д). Для зварювання встик більших товщин роблять чашо-подібну підготовку кромки (рис. 23,е).

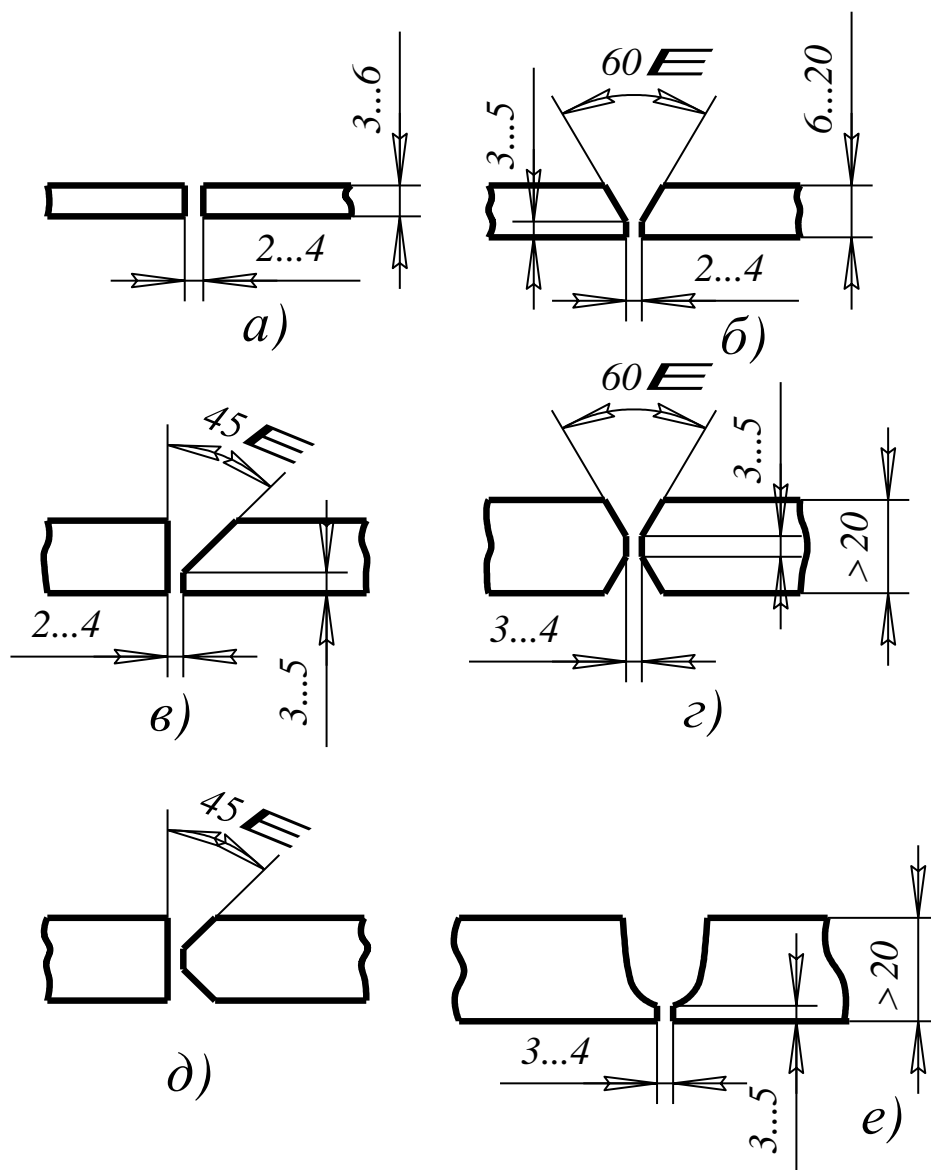


Рисунок 23 - Підготовка кромки для ручного дугового зварювання в стик

При зварюванні кутовими швами з'єднань внапусток (рис.24, а) кромки не скошують, а тільки очищають від окалини, іржі та забруднень. Таврові з'єднання часто зварюють без скошу кромки (рис.24, б). В конструкціях таврових з'єднань, що працюють при динамічних навантаженнях, рекомендується робити підготовку кромки стінки з V- або К-подібною розробкою (рис.24, в, г).

У всіх випадках кромки листів, що підлягають зварюванню, повинні бути очищені від іржі, окалини та інших забруднень. Підготовка кромки під зварювання виконується на стругальному або фрезерному верстаті, а також за допомогою газорізки з наступною очисткою від окалини.

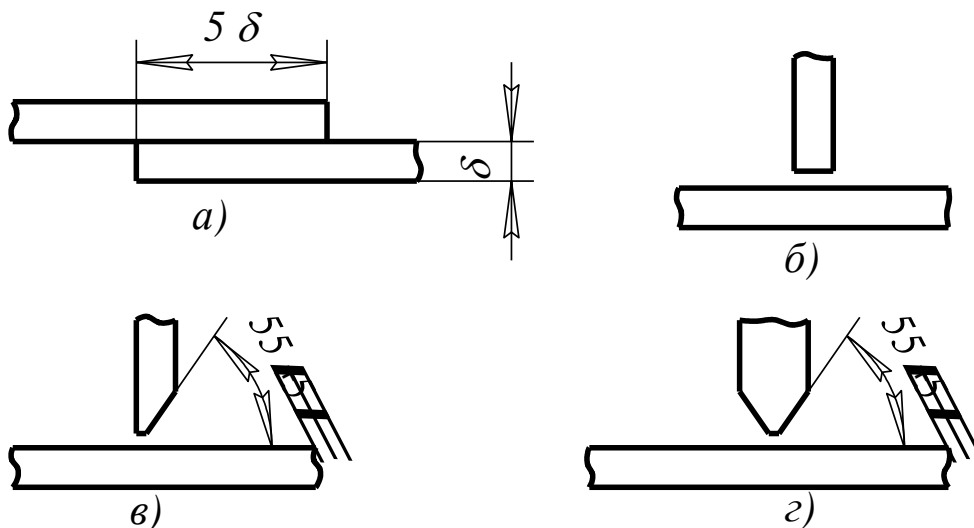


Рисунок 24 - Підготовка кромки для кутових швів:
з'єднань внапусток (а) і таврових (б - г)

2.3 Вибір режиму зварювання

Під режимом зварювання розуміють сукупність показників, які визначають характер протікання процесу зварювання. Ці показники впливають на кількість тепла, що вводиться у виріб при зварюванні. До основних показників режиму зварювання відносяться: діаметр електрода, сила зварювального струму, напруга на дузі і швидкість зварювання. Допоміжними показниками режиму зварювання вважаються вид і полярність струму, тип і марка покриття електрода, кут нахилу електрода, температура попереднього нагріву металу.

Вибір режиму ручного дугового зварювання часто обмежується визначенням діаметра електрода і сили зварювального струму. Швидкість зварювання і напруга на дузі встановлюються зварником в залежності від виду зварного з'єднання, марки сталі, марки електрода, положення шва у просторі.

Діаметр електрода вибирається в залежності від товщини зварюваного металу, виду зварного з'єднання, типу шва тощо. При стиковому зварюванні листів товщиною до 4 мм у нижньому положенні діаметр електрода

береться рівним товщині листа. При зварюванні сталі більшої товщини беруть електроди діаметром 4...6 мм за умови забезпечення повної можливості проварювання металу деталей, що з'єднуються, і правильного формування шва.

В багат шарових стикових і кутових швах перший шар чи прохід виконується електродами діаметром 2...4 мм, наступні шари і проходи виконуються електродами більшого діаметра.

Зварювання у вертикальному положенні звичайно виконується електродами діаметром не більше 4 мм, електроди більшого (5...6 мм) діаметра можуть застосовуватись тільки зварниками високої кваліфікації.

Стельові шви звичайно виконуються електродами діаметром не більше 4 мм.

Силу зварювального струму вибирають в залежності від діаметра електродів за формулою

$$I = K \cdot d, A,$$

де K - коефіцієнт, що дорівнює 35...60 А/мм,

d - діаметр електрода, мм.

Відносно малий струм приводить до нестійкого горіння дуги, непровару і низької продуктивності. Надто великий – до сильного перегріву електрода при зварюванні, збільшенню швидкості розплавлення електрода, підвищеному розбризкуванню електродного матеріалу і погіршенню формування шва.

При зварюванні вертикальних і горизонтальних швів струм повинен бути меншим проти прийнятого для зварювання у нижньому положенні приблизно на 5...10%, а для стельових на 10...15% для того, щоб рідкий метал не витікав із зварювальної ванни. Положення швів у просторі показане на рис. 25.

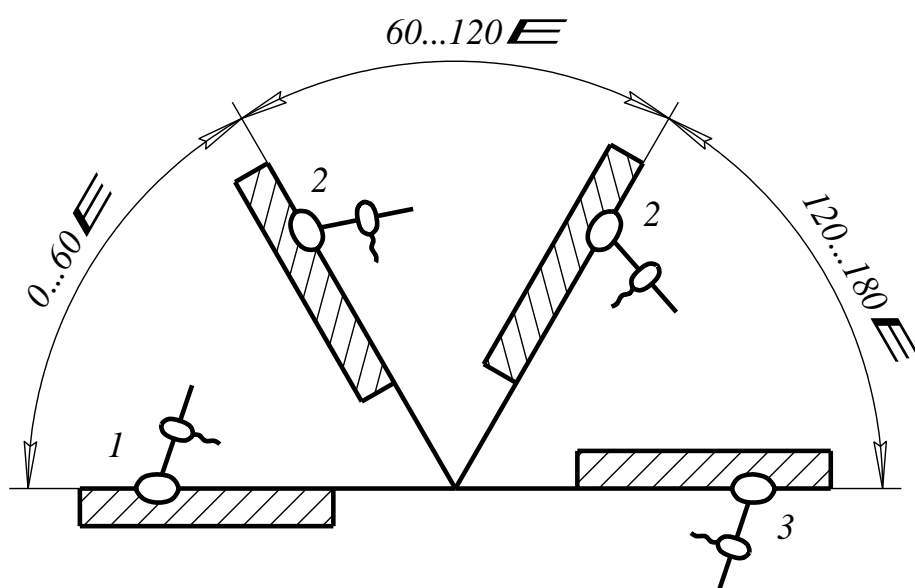


Рисунок 25 - Положення зварних швів у просторі:
1 - нижнє; 2 - вертикальне або горизонтальне; 3 - стельове

2.4 Техніка виконання швів

Запалювання дуги. Існує два способи запалювання дуги електродами з покриттям - прямим відривом електрода і відривом по кривій. Перший спосіб називається запалюванням впритул; другий - нагадує рух при запалюванні сірника і його називають чирканням.

Довжина дуги. Негайно після запалювання дуги починається плавлення металу. Довжина дуги повинна бути постійною. Від вірно вибраної довжини дуги у великій мірі залежить продуктивність зварювання і якість зварного шва.

Нормальною вважається довжина дуги, що дорівнює 0,5...1,1 діаметра електрода стержня. Збільшення довжини дуги знижує стійкість її горіння, глибину проплавлення основного металу, збільшує витрати на угар і розбризування металу, викликає утворення шва з нерівною поверхнею і збільшує вплив навколишньої атмосфери на розплавлений метал.

Швидкість подачі електрода в дугу повинна бути рівною швидкості розплавлення електрода.

Положення електрода. Нахил електрода при зварюванні залежить від положення зварювання у просторі, товщини і складу зварюваного металу, діаметра електрода, виду і товщини покриття. Напрямок зварювання може бути зліва направо, справа наліво, від себе і на себе (рис. 26, а). Незалежно від напрямку зварювання положення електрода повинно бути визначеним: він повинен бути нахиленим до осі шва так, щоб метал виробу проплавився на найбільшу глибину. Для отримання щільного і рівного шва при зварюванні у нижньому положенні на горизонтальній площині кут нахилу електрода повинен бути 15° від вертикалі у бік ведення шва (рис.26, б).

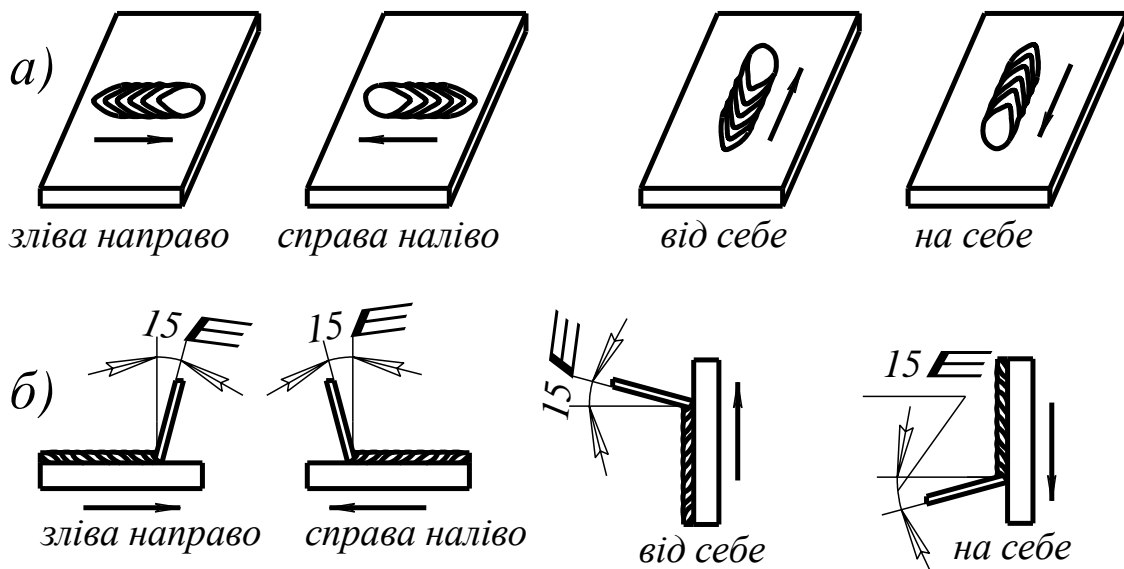


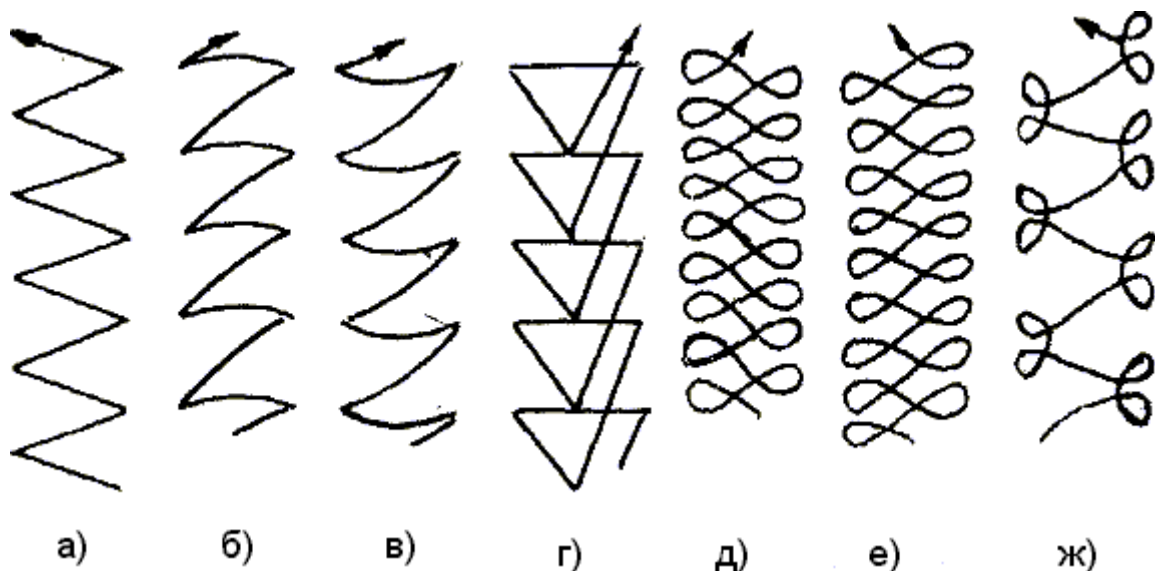
Рисунок 26 - Напрямок зварювання (а) і нахил електрода (б)

Кут нахилу електрода при ручному дуговому зварюванні у різних просторових положеннях шва приводиться на рис.26, б.

Коливальні рухи електрода. Для отримання валика потрібної ширини проводяться поперечні коливальні рухи електрода. Якщо пересувати електрод тільки вздовж осі шва без його поперечного коливання, то ширина валика визначається тільки силою зварювального струму і швидкістю зварювання і складає 0,8...1,5 діаметра електрода. Такі вузькі (ниточні) валики застосовують при зварюванні тонких листів, при накладанні першого кореневого шару багат шарового шва та в деяких інших випадках.

Найчастіше використовують шви шириною від 1,5 до 4 діаметрів електрода, які одержують за допомогою поперечних коливальних рухів.

Найбільш поширені види поперечних коливальних рухів електрода при ручному зварюванні (рис. 27): прямі по ламаній лінії; півмісяцем, поверненим кінцями до наплавленого шва; півмісяцем, поверненим кінцями до напрямку зварювання; трикутниками; петлеподібні з затримкою у певних місцях.



*Рисунок 27 - Основні види поперечних рухів кінця електрода:
а - г при звичайних швах;
д - ж - при швах з посиленням прогрівом кромки*

Поперечні коливання по ламаній лінії часто застосовують для одержання наплавних валиків, при стиковому зварюванні листів без скосу кромки в нижньому положенні і в тих випадках, коли немає небезпеки пропалювання зварюваної деталі.

Рухи півмісяцем застосовують для стикових швів зі скосом кромки і для кутових швів з катетом менше 6 мм, які виконуються у будь-якому положенні електродом діаметром до 4 мм.

Рухи трикутником застосовують при виконанні кутових швів з катетом шва більше 6 мм і стикових із скосом кромки у будь-якому просторовому положенні.

Петлевидні рухи застосовують у випадках, які потребують більшого прогріву металу по краях шва, головним чином, при зварюванні листів із високолегованих сталей. Ці сталі мають високу текучість і для задовільного формування шва потрібно затримувати електрод на краях, щоб попередити пропалювання в центрі шва і витікання металу із зварної ванни при вертикальному зварюванні.

Способи заповнення шва по перерізу. За способом заповнення шва по перерізу розрізняють одношарові шви (рис.28, а), багатошарові багатопрохідні (рис.28, б) і багатошарові (рис.28, в).

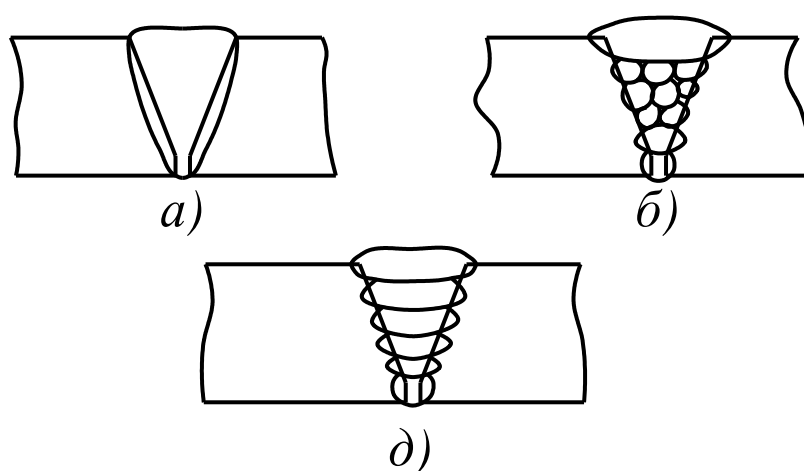


Рисунок 28 - Схеми заповнення швів по перерізу:

- а) - одношаровий і однопрохідний;
- б) - багатошаровий і багатопрохідний;
- в) - багатошаровий

Якщо число шарів дорівнює числу проходів, то такий шов називається багатошаровим. Якщо деякі з шарів виконують за кілька проходів, то такий шов називають багатопрохідним.

Багатошарові шви найчастіше використовують у стикових з'єднаннях, багатопрохідні - в кутових і таврових.

3 ВИДИ І ПРИЧИНИ БРАКУ

Дефектами зварних швів називають різні відхилення від встановлених норм і технічних вимог, що висувуються до зварних з'єднань. Дефекти зменшують міцність зварних з'єднань і можуть призвести до руйнування всієї конструкції.

До дефектів форми шва відносять: нерівномірні ширину і висоту шва, хвилястість шва, неоднакові розміри катетів кутових швів. Причиною

їх утворення є коливання напруги, нерівномірність швидкості зварювання, недостатня кваліфікація зварника.

Напливи (рис.29, а) утворюються в результаті натікання рідкого металу на кромки холодного основного металу. Це відбувається внаслідок надмірного струму, невірною нахилу електрода.

Підрізи (рис.29, б) являють собою продовгуваті заглибини (канавки), які утворились в основному металі по кореню шва, внаслідок надмірного струму і напруги на дузі.

Незаплавлені кратери утворюються при різкому обриванні дуги. Вони зменшують переріз шва і можуть бути місцем утворення тріщин. Пропалами називають проплавлення основного металу і утворення наскрізних отворів. Вони утворюються внаслідок великого зазору, надмірного струму при високих швидкостях зварювання.

Газові пори утворюються внаслідок перенасичення рідкого металу газами, які не встигли вийти на поверхню в процесі швидкого затвердіння шва. Причиною пор є:

- іржа, масло і фарба на кромках основного металу і на поверхні електродів;
- використання вологих електродів;
- надмірна швидкість зварювання, що призводить до порушення газового захисту ванни рідкого металу;
- невірно вибрана марка електродів.

Шлакові включення (рис.29, в) утворюються внаслідок незадовільної зачистки кромки металу і електродів від окалини, іржі та інших забруднень.

Непровари (рис. 29, г) - це несплавлення основного металу з наплавом, їх основна причина - недостатня сила струму і відхилення електрода від осі шва.

Тріщини (рис.29, д) є найбільш небезпечним дефектом зварних швів. Вони можуть виникати як у самому шві, так і в навколошовній зоні. Однією з багатьох причин утворення тріщин є підвищений вміст вуглецю, який сприяє утворенню структур загартування. На утворення тріщин впливає також підвищений вміст у наплавленому металі шкідливих елементів - сірки та фосфору.

4 СПОСОБИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ І З'ЄДНАНЬ

Якість зварювання визначає надійність і довговічність зварних конструкцій. Сучасна зварювальна техніка має у своєму розпорядженні різноманітні методи контролю якості зварювання.

Зовнішній огляд і обміри зварних швів. Цьому способу контролю піддають заготовки деталей і готові зварні шви. Мета зовнішнього огляду

заготовок - виявити вм'ятини, задирки та інші дефекти а також бруд, масло, іржу, окалину на поверхні кромок.

Мета зовнішнього огляду готових зварних з'єднань - виявити зовнішні дефекти (непровари кореня стикового шва, напливи, подрізи, незаварені кратери, зовнішні тріщини тощо).

Зовнішньому огляду піддають усі шви, незалежно від того, який спосіб контролю буде застосовано в подальшому.

Контроль непроникності швів. Цей спосіб полягає у контролі за проникненням газів (повітря, суміші повітря з аміаком і іншими індикаторами) та рідин (води, гасу) через щонайменші дефекти несущільності. Він широко застосовується для перевірки герметичності посудин і трубопроводів.

Гідравлічні випробування. Ними контролюється не тільки щільність зварних з'єднань, але і відносна міцність всієї зварної конструкції. При гідравлічних випробуваннях посудина наповнюється водою, потім в ній гідравлічним пресом створюється тиск, що дорівнює робочому. Якщо дефектів не виявлено, то тиск підвищується до $P = (1,25 \dots 1,50)P_{роб}$.

Пневматичні випробування виконують з метою контролю щільності зварних з'єднань в посудинах, які працюють під тиском.

Рентгенівське просвічування ґрунтується на властивості рентгенівських променів проникати через непрозорі тіла, ослаблювати свою інтенсивність в залежності від пустот, включень і тріщин. При наявності дефектів у швах, рентгенівські промені ослаблюються неоднаково і на проявленій фотоплівці з'являються місця з різною інтенсивністю затемнення, за якими і роблять висновок про характер і розміри дефектів.

Рентгенівське просвічування дозволяє виявити такі внутрішні дефекти як тріщини, непровари, шлакові включення, газові пори.

Магнітографічний метод контролю. Суть цього методу полягає у намагнічуванні зварних швів і фіксації магнітного потоку на феромагнітну стрічку.

Ультразвуковий контроль зварних швів полягає у здатності ультразвукових хвиль проникати в метал на велику глибину і відбиватися від неметалічних включень, пустот, тріщин тощо.

Металографічні випробування зварних швів дозволяють на зразках, вирізаних із шва, виявити структуру металу і її відповідність заданій.

Механічні випробування виконують на зразках, вирізаних із зварного з'єднання, або зварених окремо. Це випробування на міцність, твердість, згин, ударну в'язкість та інші.

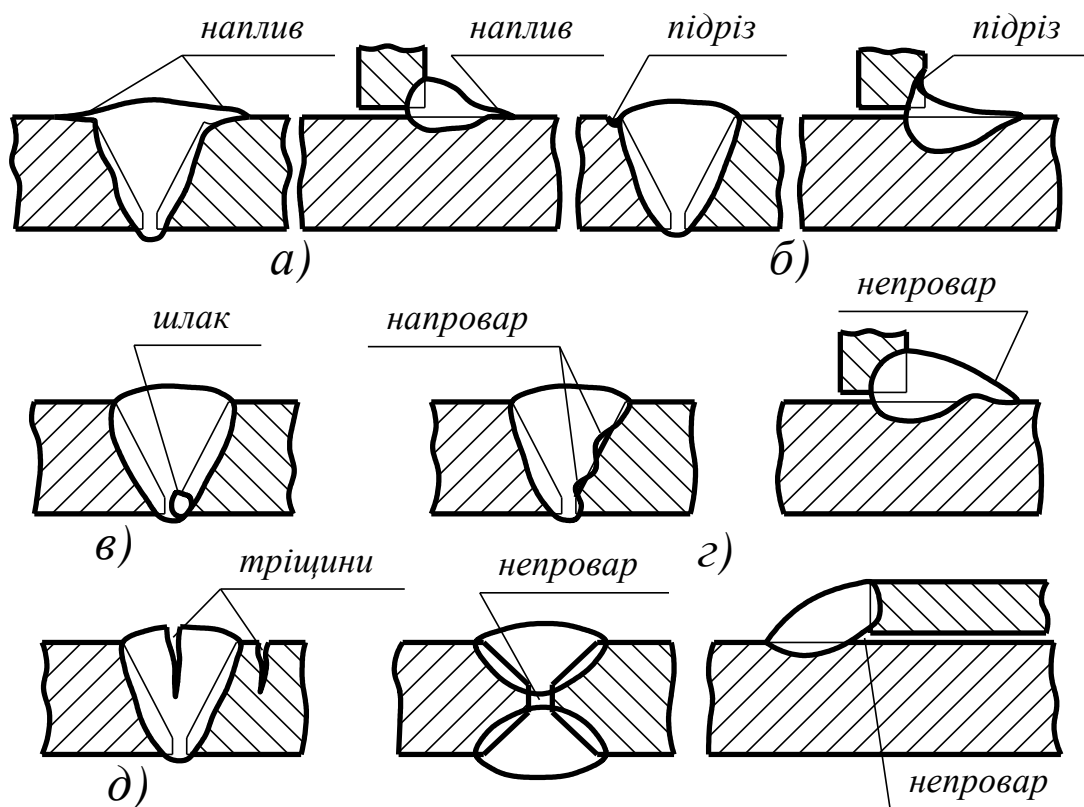


Рисунок 29 - Дефекти зварних з'єднань

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись та засвоїти правила техніки безпеки при роботі на зварювальному устаткуванні.
2. Підготувати до зварювання зразки: очистити від іржі, масла та іншого бруду, підготувати кромки і скласти зразки під зварювання.
3. Вибрати тип і діаметр електродів.
4. Призначити режим зварювання.
5. Включити живлення, запалити дугу, виконати зварювання.
6. Провести контроль якості шва зовнішнім оглядом.
7. Скласти звіт про роботу.

6 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт про роботу повинен вміщувати:

1. Короткі теоретичні відомості про зварювання плавленням.
2. Коротких теоретичних відомостей про зварювальне обладнання.
3. Електроди.
4. Типи зварних з'єднань.
5. Техніку виконання зварних швів.

6. Завдання на самостійну роботу: матеріал зразків, тип з'єднання, тип та діаметр електрода, розрахунки режиму зварювання, результати контролю шва.

7. Результати дослідів занести у таблицю 8.

Таблиця 8 – Результати дослідів

Марка матеріалу	Товщина зразків, мм	Тип з'єднання	Діаметр електрода, мм	Сила струму, А	Контроль шва	
					Дефект шва	Причина дефекту

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

1. Суть та схеми ручного дугового зварювання.
2. Класифікація електродів для ручного дугового зварювання.
3. Основні параметри режиму при ручному дуговому зварюванні.
4. Розрахунок режимів зварювання.
5. Технологія ручного дугового зварювання.
6. Що називається зварювальною дугою?
7. Класифікація електродів для ручного дугового зварювання.
8. Призначення та види покриттів електродів.
9. Основні величини, які характеризують процес зварювання.
10. Як змінюється коефіцієнт втрат на угар та розбризкування електрода із зміною довжини дуги?
11. Що викликає появу пор у металі шва?

Лабораторна робота №7 Газове зварювання та різання металів

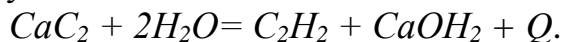
Мета роботи - вивчити будову і принцип роботи обладнання, технологію та режими газового зварювання і різання металів.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

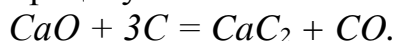
При газовому зварюванні для нагрівання кромки основного металу та присадкового матеріалу до розплавленого стану використовується тепло газового полум'я, яке утворюється від згоряння різних горючих газів в суміші з киснем. Як горючі гази використовуються водень, природний газ, пропан-бутан але найбільше розповсюдження має ацетилен, який при згорянні в кисні дає температуру полум'я достатню для зварювання сталей і більшості інших металів і сплавів. Найбільш часто газове зварювання застосовують при виготовленні листових і трубчастих конструкцій, з маловуглецевих і низьколегованих сталей товщиною до 3...5 мм, при виправленні дефектів у виливках з сірого чавуну і бронзи, а також для зварювання кольорових металів та їх сплавів (бронз, латуней).

1.1 Ацетилен та його одержання.

Ацетилен C_2H_2 одержують в апаратах - ацетиленових генераторах - при взаємодії карбіду кальцію з водою



При розкладанні 1 кг хімічно чистого карбіду кальцію виділяється близько 340 л ацетилену і 1675 кДж (400 ккал) тепла. З технічного карбіду кальцію, залежно від його сорту і грануляції, вихід ацетилену, становить від 230 до 300 л/кг. Карбід кальцію одержують в електродугових печах оплавленням коксу або антрациту з випаленим вапном



Розплавлений карбід кальцію виливають з печі в чавунні форми і після остигання подрібнюють на куски розміром 2...120 мм.

В залежності від принципу взаємодії карбіду кальцію з водою розрізняють такі системи генераторів: "карбід у воду", "вода на карбід", а також контактного типу "зануренням".

Генератор системи "вода на карбід" показано на рис.30, б. Корпус генератора 1 поділений на дві частини перегородкою 2. В корпусі розміщена реторта 6, яка сполучається з нижньою частиною корпусу резиновим рукавом 5 з краном 4. На корпусі генератора закріплюють водяний затвор 10, який з'єднується трубкою 9 з краном 16 з газовою порожниною генератора. Перед початком роботи в генератор заливають воду при закритому крані 4 і відкритому крані 16. Водяний затвор заповнюють водою до рівня контрольного крана 13. Корзину з карбідом кальцію вставляють у реторту

б, яка щільно закривається кришкою. При відкриванні крана 4 вода надходить в реторту. Ацетилен, що утворюється при цьому, надходить з реторти по трубі 3 в нижню частину генератора (під перегородку), витісняючи воду по трубі 7 у верхню частину генератора (над перегородку). Як тільки рівень води у нижній частині генератора стане нижчим рівня крана 4, вода перестає надходити в реторту, а та вода, що була в реторті, витісняється під дією тиску ацетилену у конусоподібну посудину 8, відкриту зверху. Це дещо сповільнює розкладання карбїду кальцію і зменшує виділення ацетилену. По мірі витрачання ацетилену на технологічні потреби тиск в генераторі падає. При цьому вода з посудини 8 знову надходить в реторту і інтенсивність розкладання карбїду кальцію збільшується, а значить і збільшується утворення ацетилену. Таким чином, генератор працює автоматично в залежності від витрат газу.

Ацетилен з генератора надходить по трубах 9, 11 через водяний затвор 10 по трубі 15 і резиновому шлангу до пальника або різачка. При зворотному ударі полум'я під тиском вибухової хвилі частина води і полум'я викидається в атмосферу через запобіжну трубу 12, яка занурена у воду вище труби 11, завдяки чому шлях полум'я до генератора лишається закритим рештою води у затворі і зануреним в неї кінцем труби 11. Відбійник 14 запобігає випліскуванню води з затвору.

Генератори системи "вода на карбїд" випускають невеликої продуктивності, низького тиску (0,001...0,01 МПа) і в більшості випадків переносними. Більш високий тиск ацетилену (0,01...0,03 МПа) розвивають генератори контактного типу "зануренням" (рис. 30, а). Корпус генератора 1 має знизу резервуар-промивач 5, зверху -газоутворювач 3 з горловиною, яка герметично закривається кришкою після того, як генератор заповнено водою (9 л), а в шахту генератора вставлена корзина з карбїдом кальцію (2,2 кг). При змочуванні карбїду кальцію водою утворюється ацетилен, який із газоутворювача по трубі 4 надходить в промивач 5, проходить в ньому через шар води і по трубі 6 надходить в водяний затвор 7, звідки по трубі і гумовому шлангу надходить до місця споживання. Вода з газоутворювача тиском газу витісняється в простір між стінками шахти 1 і корпусу 2, внаслідок чого газоутворення сповільнюється.

В міру витрат газу тиск в генераторі падає і рівень води в газоутворювачі знову підвищується, змочуючи карбїд кальцію в корзині. Таким чином, автоматично регулюється процес газоутворення і тиску газу.

При нормальній роботі ацетилен проходить по трубі 6 через зворотний клапан 8, шар води в корпус 7 водяного затвору і далі - по трубі і шлангу до пальника або різачка. Якщо сопло пальника з якихось причин забивається, полум'я проникає в ацетиленовий шланг і швидкість його розповсюдження стає більшою, ніж швидкість руху ацетилену по шлангу, то воно (полум'я) може проникнути в генератор і спричинити вибух. Таке явище називається зворотним ударом. Щоб запобігти цьому на шляху полум'я стоїть водяний затвор. При зворотному ударі тиск в затворі підвищується і

вода закриває зворотний клапан 8, попереджаючи можливість проходу вибухової хвилі в трубу 6 і в генератор. Одночасно відбувається розрив тонкої алюмінієвої або олов'яної мембрани 10 і вибухова суміш викидається в атмосферу.

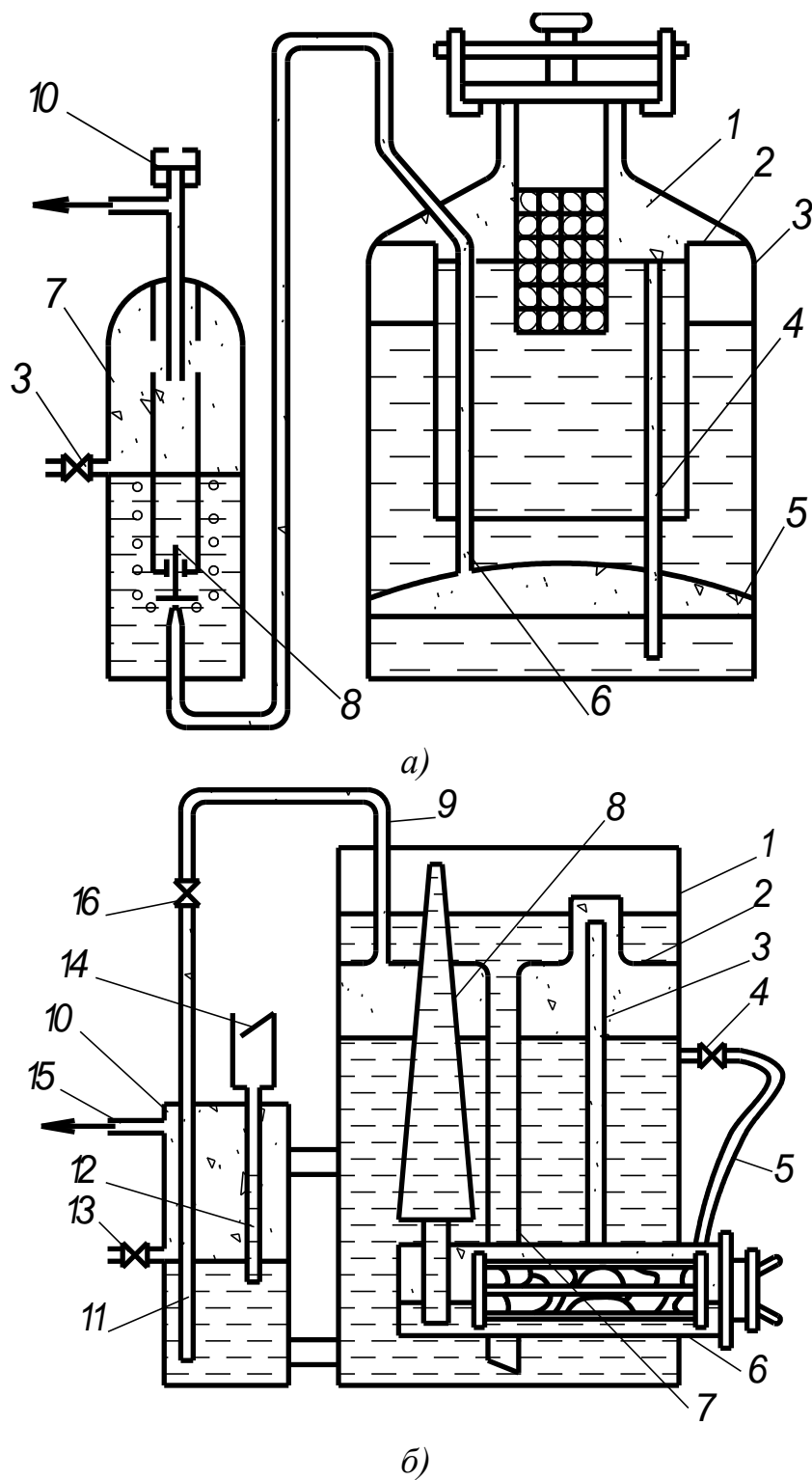


Рисунок 30 - Схеми ацетиленових генераторів:
 а - контактного типу "зануренням";

б - системи "вода на карбід"

1.2 Кисневі балони та редуктори

Транспортують і зберігають газоподібний кисень звичайно в кисневих балонах. Найбільш поширені балони місткістю 40 л. В такому балоні при тиску 15 МПа (150 кг/см²) вміщується 6000 л кисню. Для зменшення тиску кисню до робочого 1...4 кг/см² (0,1... 0,4 МПа) і підтримання його постійним в процесі зварювання застосовують кисневі редуктори (рис. 31).

Робота редуктора ґрунтується на підтриманні рухомої рівноваги між силою стискування головної пружини 8, яка намагається відкрити клапан 11, і силою стискування зворотної пружини 4 і тиском кисню, які намагаються закрити клапан 11. Ці дві протидіючі сили передаються на мембрану 7, положення якої і залежить від співвідношення цих сил.

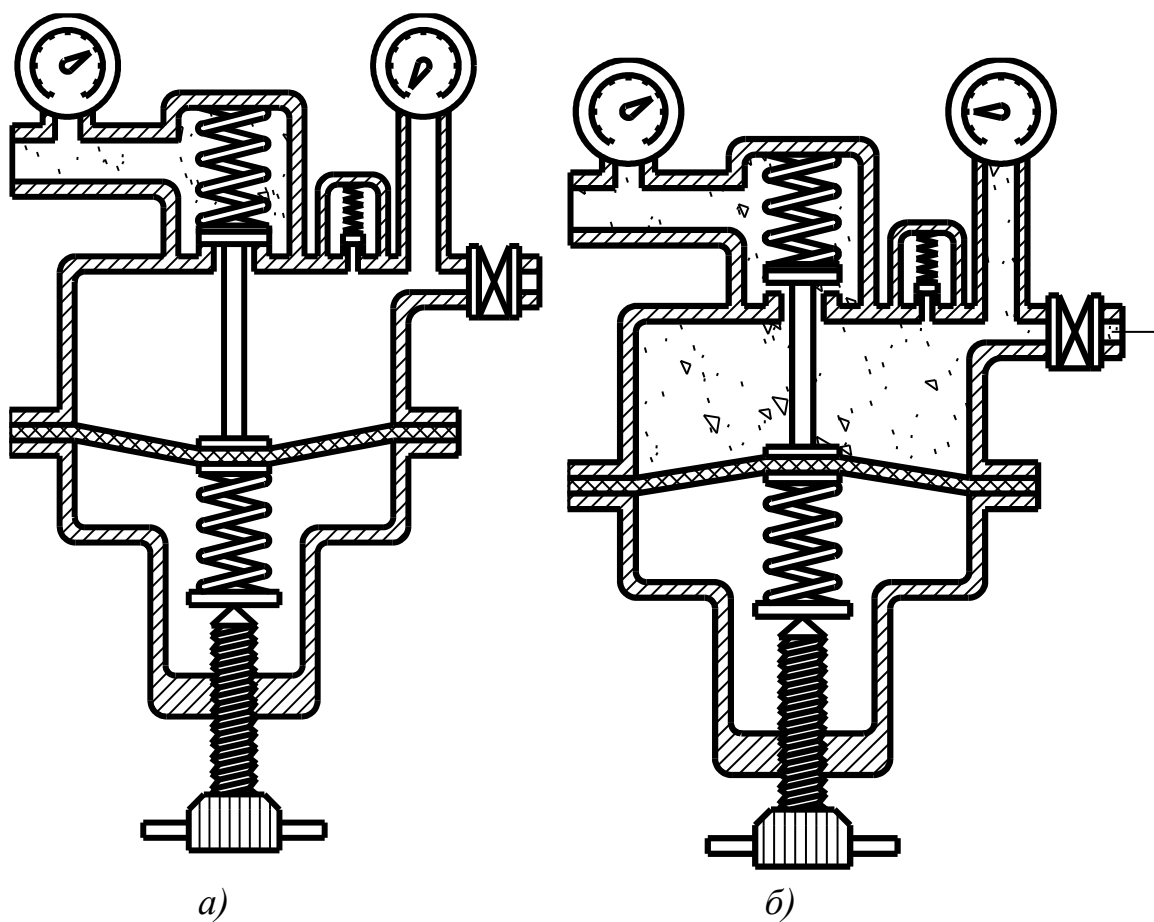
У початковий момент клапан 1 притиснутий до сідла клапана пружиною 4 та тиском кисню на клапан. Для того, щоб відкрити клапан і пропустити кисень в камеру низького тиску 10, користуються регулювальним гвинтом 9. Загвинчуючи цей гвинт у корпус редуктора, натискають через головну пружину 8 і мембрану 7 на штифт, який і відкриває клапан 11. Як тільки тиск кисню в камері низького тиску 10 подолає зусилля головної пружини 8, мембрана знову переміститься в початкове положення і пружина 4 знову закриє клапан 11. При відборі газу з редуктора через вентиль 6 тиск кисню в камері 10 знизиться і під дією головної пружини 8 клапан знову відкриється.

Кисневі редуктори постачають манометрами високого 2 і низького 3 тиску і запобіжним клапаном 5, який захищає мембрану 7 від розриву в разі підвищення тиску кисню в камері 10 вище допустимого.

1.3 Зварювальні пальники

Зварювальний пальник - основний інструмент газозварника. Він служить для змішування в потрібних пропорціях горючого газу і кисню з метою одержання потрібних властивостей зварювального полум'я.

На рис. 32 показана схема універсального зварювального пальника інжекторного типу. Кисень під тиском 0,1...0,4 МПа через ніпель 2 і вентиль 3 надходить в сопло інжектора 10 і створює на виході з нього велике розрідження, внаслідок чого ацетилен, який має більш низький тиск, засмоктується через ніпель 1, внутрішній канал рукоятки 3, регулювальний вентиль 4, повздовжні пази інжектора 10 в камеру змішування 7. Тут кисень і ацетилен утворюють горючу суміш, яка з камери змішування трубою 8 надходить в мундштук 9. При виході з мундштука і запалюванні цієї суміші утворюється зварювальне полум'я (рис. 33).



*Рисунок 31 - Схема кислородного редуктора:
а - нерабочее положение; б - рабочее положение*

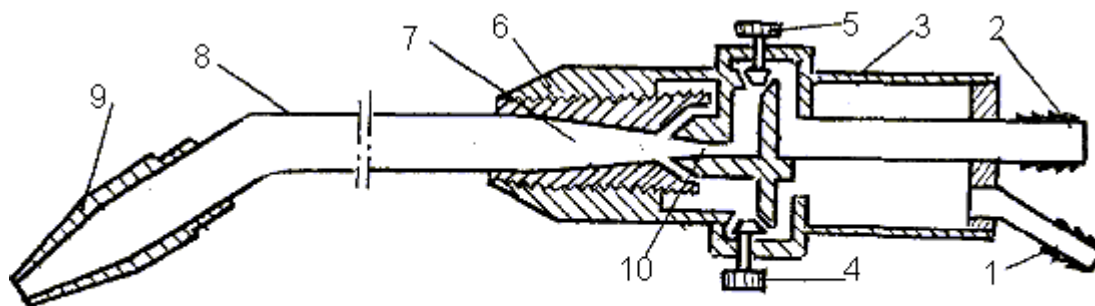


Рисунок 32 - Схема сваривального паяльника инжекторного типа

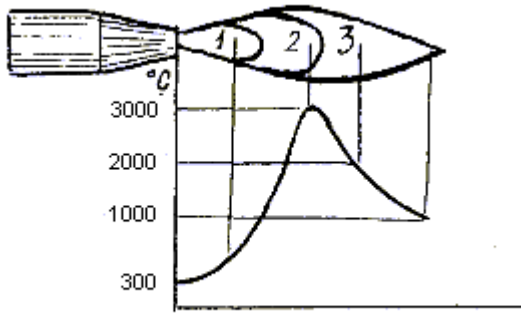


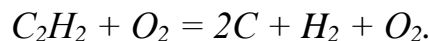
Рисунок 33 - Схема нормального ацетиленового полум'я:

1 - ядро; 2 - зона зварювання; 3 - факел

1.4 Ацетиленово - кисневе полум'я

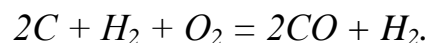
Залежно від співвідношення кисню і ацетилену в суміші, яка виходить з пальника, розрізняють три основних види ацетиленово -кисневого полум'я: нормальне або відновне; з надлишком кисню або окислювальне; з надлишком ацетилену або науглецьовувальне.

В більшості випадків при газовому зварюванні застосовують нормальне полум'я при співвідношенні кисню і ацетилену як (1,1...1,2): 1. Нормальне ацетиленово - кисневе полум'я складається з трьох зон (рис. 33). В першій зоні, яка називається ядром полум'я, проходить екзотермічний розпад ацетилену на його складові елементи:



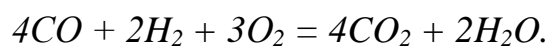
Розжарені частинки вуглецю надають цій зоні яскравого освітлення. Температура в ядрі полум'я досягає 1000°C.

В другій зоні, що називається зварювальною, відбувається неповне згоряння вуглецю за реакцією:



Завдяки відновному характеру другої зони внаслідок присутності в ній оксиду вуглецю і водню, а також високої температури цієї частини полум'я, яка досягає 3150°C, метал зварюється другою зоною.

Третя зона називається факелом. В ній за рахунок кисню повітря проходить згоряння оксиду вуглецю і водню за рівнянням:



Температура третьої зони приблизно 1200°C.

При співвідношенні кисню і ацетилену, більшому ніж 1,2, полум'я має зайвий кисень і стає окислювальним. Таке полум'я використовують для зварювання латуней.

Якщо ж це співвідношення буде меншим 1, то полум'я матиме надлишок ацетилену і стане науглецьовувальним. Його використовують інколи для зварювання чавуну.

1.5 Техніка та режим газового зварювання

При газовому зварюванні використовують два способи переміщення пальника - лівий і правий. При лівому способі полум'я пальника переміщується справа наліво і напрямлене на холодний метал. Попереду пальника переміщують присадний матеріал. При правому способі пальник переміщують зліва направо і зварне полум'я напрямлене на гарячий метал, а присадний дріт рухається попереду пальника.

При товщині сталі до 3 мм більш продуктивним є лівий спосіб, а для більших товщинах - правий.

Однак, при виборі способу газового зварювання керуються не тільки товщиною зварюваного металу, а й положенням шва у просторі. Так, вертикальні шви незалежно від товщини листів виконують тільки лівим способом знизу вгору, а стельові - тільки правим.

При товщині металу до 2 мм зварювання стикових з'єднань виконують без зазору і розробки кромки. Листи товщиною 2...5 мм зварюють з зазором 1...2 мм також без скосу кромки. При більших товщинах виконують одно- або двосторонній скіс кромки під кутом 60...90°.

Діаметр присадного дроту " d " приймається в залежності від товщини зварюваного металу " S ":

$$d = S / 2 + 1 \text{ мм} - \text{для лівого способу};$$

$$d = S / 2 \text{ мм} - \text{для правого способу}.$$

Витрати ацетилену можна визначити за формулою

$$A = K \cdot S, \text{ л/год},$$

де S - товщина металу, мм,

K - коефіцієнт, що дорівнює для маловуглецевої сталі 100..130.

Швидкість зварювання

$$V = n / S, \text{ м/год},$$

де n - коефіцієнт, який дорівнює для лівого способу 12, а для правого - 15.

2 ГАЗОКИСНЕВЕ РІЗАННЯ МЕТАЛУ

Газокисневе різання ґрунтується на здатності металу, підігрітого до температури займання, згоряти в струмені чистого кисню.

Для здійснення кисневого різання необхідно, щоб метал задовольняв таким основним вимогам:

1. Температура займання металу повинна бути нижчою від температури його плавлення.
2. Температура плавлення оксидів металу, що утворюються в процесі різання, повинна бути нижчою від температури плавлення ос-

нового металу.

3. Оксиди металу повинні бути досить рідкоплинними і легко видуватися із порожнини різання.
4. Теплопровідність металу не повинна бути дуже високою.
5. При горінні металу повинна виділятися достатня кількість теплоти, необхідної для нагрівання шарів металу, що лежать нижче, до температури займання.

Цим вимогам найбільш повно задовольняють тільки вуглецеві і низьколеговані сталі, що містять вуглецю до 0,7%. Температура займання цих металів (1300°C) нижче температури їх плавлення (1535°C).

Для кисневого різання застосовують обладнання для ацетиленового зварювання, тільки замість пальника використовують різак, який являє собою комбінацію зварювального пальника з окремою трубкою 4, призначеною для подачі ріжучого струменя кисню (рис.34).

Кисень через кисневий ніпель 1 подається в різак. Частина кисню, проходячи вентиль 2 і інжектор 10, іде в камеру змішування 9 для утворення горючої суміші з ацетиленом, яка використовується для нагрівання металу до температури займання. Решта кисню (ріжучий кисень) направляється в головку 5 через вентиль 3 і трубу 4.

Ацетилен підводиться в різак через ніпель 12. Проходячи через вентиль 11, він засмоктується струменем кисню і по пазах інжектора потрапляє в камеру змішування 9. Далі горюча суміш по трубці 8 потрапляє в головку різака 5, звідки через кільцевий зазор між зовнішнім мундштуком 7 і внутрішнім 6 подається у вигляді підігрівуючого полум'я кільцеподібної форми.

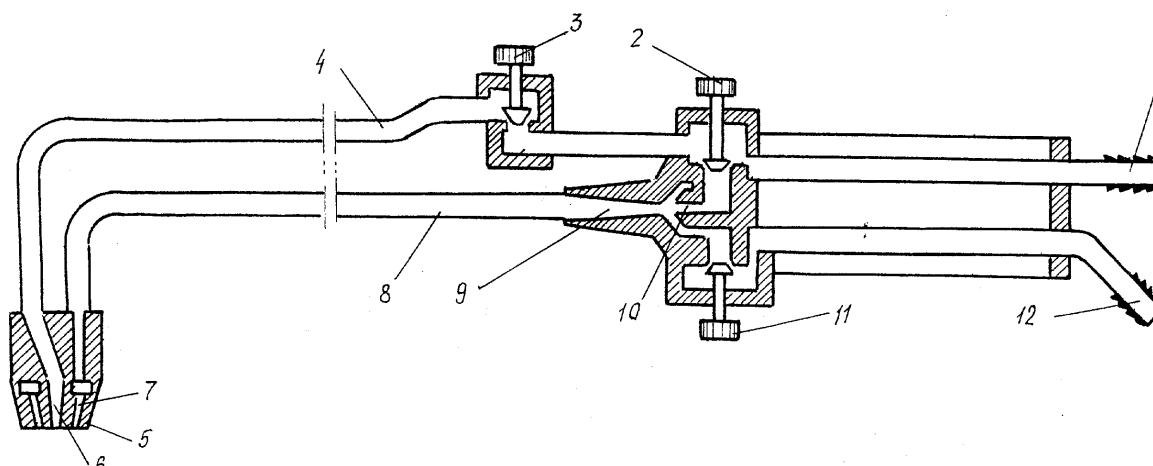


Рисунок 34 - Схема різака інжекторного типу

Після прогрівання металу до температури займання, на що витрачається від 5 до 40 сек, залежно від товщини металу, подається струмень кисню через центральний канал внутрішнього мундштука 6.

3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити будову і принцип роботи устаткування для газового зварювання і різання (ацетиленового генератора, редуктора, пальника, різачка).
2. Підготувати вироби для зварювання (розробити кромки, призначити зазори тощо).
3. Призначити режим зварювання.
4. Відрегулювати полум'я за формою його ядра.
5. Виконати пробне зварювання зразків.
6. Скласти звіт про роботу.

4 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт про виконану роботу повинен вміщувати:

1. Короткі відомості про газове зварювання і різання металу.
2. Схему ацетиленового генератора.
3. Схему пальника або різачка.
4. Схему зварювального полум'я та описання його видів.
5. Завдання на роботу.
6. Описання техніки та режиму зварювання.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

1. Суть і сфера застосування газового зварювання.
2. Властивості ацетилену і його одержання.
3. Будова і принцип роботи ацетиленового генератора.
4. Призначення і принцип роботи водяного затвора.
5. Призначення, будова і принцип роботи кисневого редуктора.
6. Будова і принцип роботи зварювального пальника.
7. Будова і види ацетиленово-кисневого полум'я.
8. Техніка та режим зварювання.
9. Суть газового різання металу.
10. Будова і принцип роботи різачка.
11. Умови газокисневого різання металу.

Лабораторна робота №8

Обробка поверхонь на токарному верстаті

Мета роботи: ознайомитись з будовою, органами управління токарно-гвинторізного верстата; набути практичних навичок з налагодження, настроювання токарного верстата і обробки на ньому різних поверхонь.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Точінням називається високопродуктивний технологічний метод обробки поверхонь, головним чином поверхонь обертання різної форми (циліндричних, конічних, фасонних) - а також плоских (торцевих) токарними різцями на токарних верстатах.

1.1 Токарні верстати

Основними розмірними характеристиками токарних верстатів є висота центрів над напрямними станини і відстань між центрами. Висота центрів над станиною визначає найбільший діаметр заготовки, яку можна обробляти на верстаті, а відстань між центрами найбільшу її довжину.

Токарно-гвинторізні верстати поділяються на дрібні з висотою центрів до 150 мм, середні з висотою центрів 150...300 мм і крупні з висотою центрів більше 300 мм.

На токарно-гвинторізних верстатах можна виконувати такі роботи:

- точіння зовнішніх і внутрішніх циліндричних і конічних поверхонь;
- точіння торцевих поверхонь;
- свердління, зенкерування, розвертання і розточування отворів;
- нарізання зовнішніх і внутрішніх різьб різцем, плашкою, гайкорізом;
- точіння фасонних і сферичних поверхонь;
- обкатування поверхонь роликками і накатування рифлень.

Незалежно від розмірів і конструктивних особливостей всі токарно-гвинторізні верстати мають загальні вузли і механізми (рис.36).

Станина 1 служить для з'єднання всіх основних вузлів і частин верстата. На ній встановлені передня бабка 3, коробка подач 2, задня бабка 11 і супорт. Передня бабка розташована зліва на станині. Вона має чавунний корпус, всередині якого розміщена коробка швидкостей 4 і пустотілий шпиндель 5. Коробка швидкостей надає обертання шпинделю і дозволяє змінювати частоту і напрям обертання. На правому кінці шпинделя встановлюється пристрій 6 для закріплення заготовки, яка оброблюється (патрон, планшайба тощо). Задня бабка 11 встановлюється на правому кінці станини і може пересуватися по її напрямних. Вона використовується для закріплення ріжучого інструменту (свердл, зенкерів, розверток) або заднього центра.

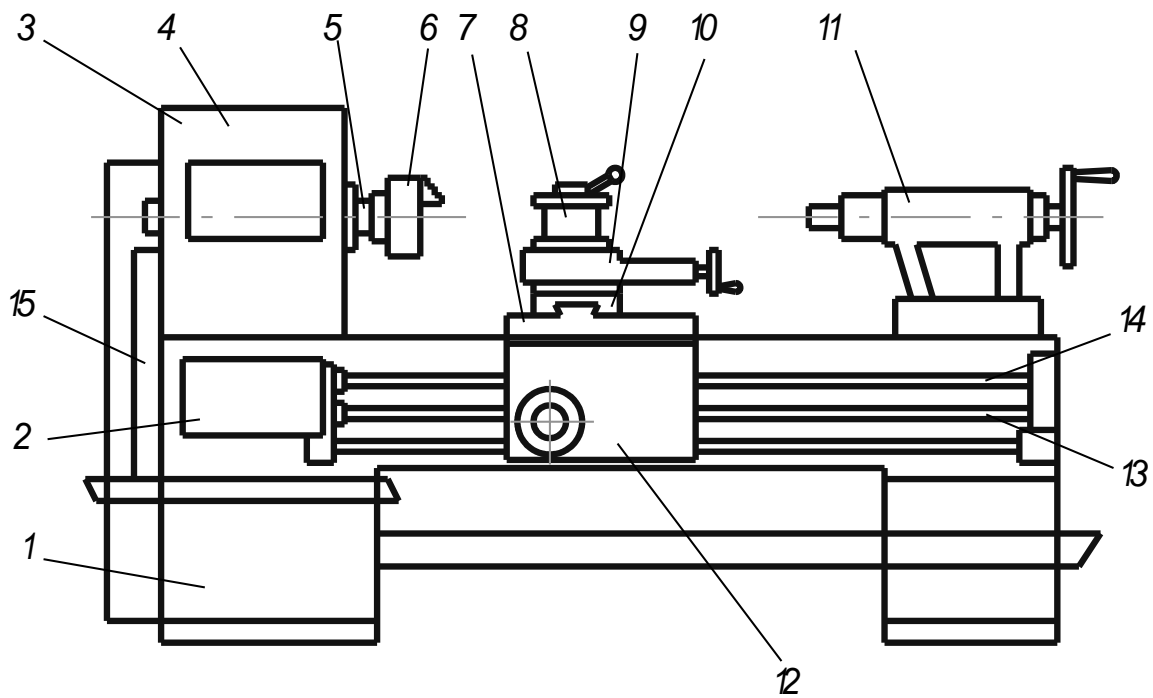


Рисунок 35 - Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата

Поздовжній супорт 7 пересувається по напрямних станини і забезпечує поздовжню подачу. Поперечний супорт 10 пересувається по напрямних поздовжнього супорта перпендикулярно до осі обертання шпинделя. На ньому змонтований верхній супорт 9 з різцетримачем 8.

Пересування супортів визначається за допомогою лімбів, які являють собою циліндричні барабани з нанесеними на них поділками. Ціна поділки лімба, тобто величина переміщення супорта при повороті рукоятки ручної подачі на одну поділку, характеризує точність верстата.

Коробка подач 2 дозволяє змінювати частоту обертання ходового вала 13 або ходового гвинта 14, отже і величину подачі. Коробка подач з'єднана зі шпинделем гітарою змінних зубчастих коліс 15.

Механізми, що розташовані у фартусі супорта 12, перетворюють обертальний рух ходового гвинта або ходового вала в прямолінійний поступальний рух поздовжнього або поперечного супортів. При нарізанні різьби використовується ходовий гвинт, а при всіх інших видах токарної обробки - тільки ходовий вал.

1.2 Рухи при токарній обробці

Рухи, які виконують інструмент і заготовка в процесі різання, називаються робочими. Для будь-якого металорізального верстата робочими рухами є рух різання (головний рух) і рух подачі.

Рух різання для токарного верстата - це обертання заготовки. Він забезпечує зняття стружки з заготовки.

Рух подачі забезпечує поздовжнє або поперечне переміщення ріжучого інструмента відносно заготовки (рис.36).

Рух різання визначається швидкістю різання, яка вимірюється в метрах за хвилину і може бути розрахована за формулою:

$$V = \pi D n / 1000 ,$$

де D - діаметр оброблюваної заготовки в мм;

n - частота обертання заготовки в обертах за хвилину.

Рух подачі визначається шляхом, пройденим інструментом відносно заготовки за її один оберт, і вимірюється в мм/об.

1.3 Режим різання

Під режимом різання розуміють сукупність показників, які визначають продуктивність процесу різання та якість оброблених поверхонь. До основних показників режиму різання відносять швидкість різання V , подачу S та глибину різання (рис. 36). Глибиною різання називають відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями за один робочий хід інструмента відносно поверхні, яка обробляється.

Призначення елементів режиму різання відбувається у такій послідовності: спочатку вибирається максимально можлива і доцільна глибина різання t , потім максимально можлива подача S , а потім вже підраховується з урахуванням оптимальної стійкості інструмента і інших конкретних умов обробки швидкість різання. Для призначення елементів режиму різання необхідно знати матеріал заготовки і його фізико-механічні властивості; розміри заготовки, розміри деталі і технічні умови на її оброблені поверхні; матеріал і геометричні елементи ріжучої частини інструмента, його розміри, максимально допустимий знос і стійкість; кінематичні і динамічні дані верстата, на якому будуть обробляти дану заготовку.

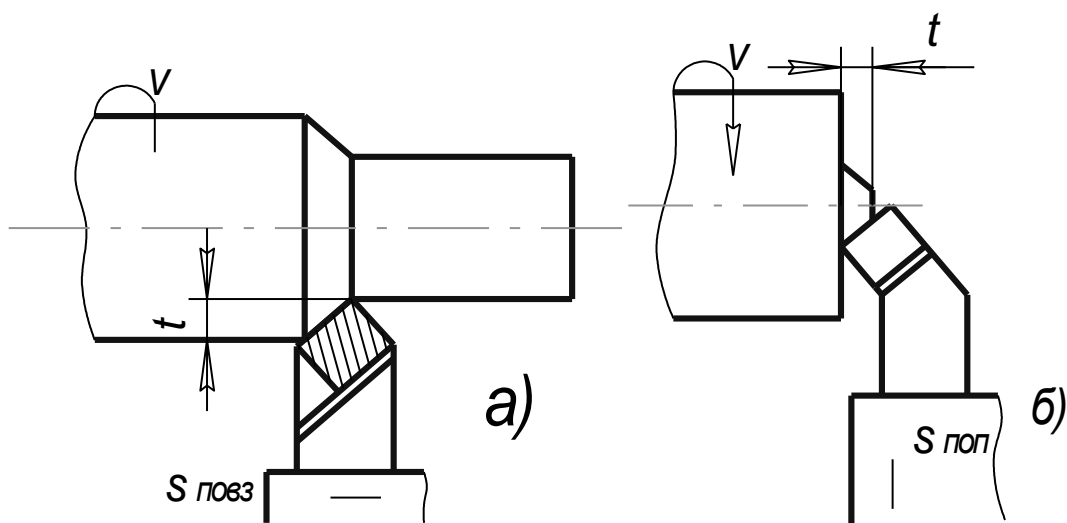


Рисунок 36 - Схеми робочих рухів при токарній обробці:

а - з поздовжньою подачею; б - з поперечною подачею

Глибина різання визначається величиною припуску на обробку. При чорновій обробці припуск доцільно видаляти за один прохід. В цьому випадку глибина різання дорівнює припуску на обробку. При зрізанні підвищених припусків або при роботі на малопотужних верстатах припуск інколи приходится розбивати на частини, роблячи уже кілька проходів.

При напівчистовій обробці глибина різання призначається в межах 0,5...2,0 мм, а при чистовій - в межах 0,1...0,4 мм.

Подачу доцільно призначати максимально можливою з метою підвищення продуктивності праці з урахуванням всіх факторів, що впливають на її величину.

На практиці подача звичайно надається з таблиць довідників з режимів різання, складених на основі досвіду роботи передових машинобудівних заводів. При чорновій (грубій) обробці максимальну подачу можуть обмежувати міцність і жорсткість ріжучого інструмента, заготовки, міцність деталей механізмів верстата.

При напівчистовій і чистовій обробці максимальну подачу обмежують вимоги до якості обробленої поверхні, тому що чим більша подача, тим більш шорстка оброблена поверхня.

Після визначення глибини різання і подачі при відомій стійкості інструмента визначається швидкість різання V за формулами, що приводяться у довідниках з режимів різання.

1.4 Токарні різці і їх застосування

Для обробки заготовки на токарно-гвинторізних верстатах застосовують різноманітні різці, які класифікують за різними ознаками.

За матеріалом ріжучої частини розрізняють різці з швидкоріжучої сталі, твердосплавні (металокерамічні) і мінералокерамічні.

За конструкцією різці поділяють на суцільні і складені. У складених різців ріжуча частина являє собою пластинку із швидкоріжучої сталі, твердого сплаву або іншого високоякісного інструментального матеріалу, яка з'єднана механічно, зварюванням або паянням з державкою різця, що виконана з вуглецевої сталі.

За розташуванням головної ріжучої кромки різці поділяють на праві і ліві. Правим називається різець 2 (рис. 37), у якого головна ріжуча кромка знаходиться з боку великого пальця правої руки, накладеної долонею зверху на різець таким чином, що пальці напрямлені до вершини різця. На верстаті такі різці (9, 10) працюють при подачі справа наліво (до передньої бабки). Лівим називають різець 1, у якого головна ріжуча кромка знаходиться з боку великого пальця лівої руки. На верстаті він працює при подачі зліва направо (різець 4).

За виглядом осі різця в плані розрізняють різці прямі 4 і відігнуті 9 (див. також рис. 36, відповідно *а* і *б*).

За характером обробки різці поділяють на обдирні (чорнові) і чистові.

За призначенням токарні різці поділяють на прохідні, підрізні, відрізні, розточні, різьбові, канавні, фасонні.

Прохідні, різці призначені для обточування зовнішніх поверхонь тіл обертання і для підрізання торцевих поверхонь. Прохідні прямі різці використовують головним чином для обробки зовнішніх 4 (рис. 37, рис. 36, а) поверхонь.

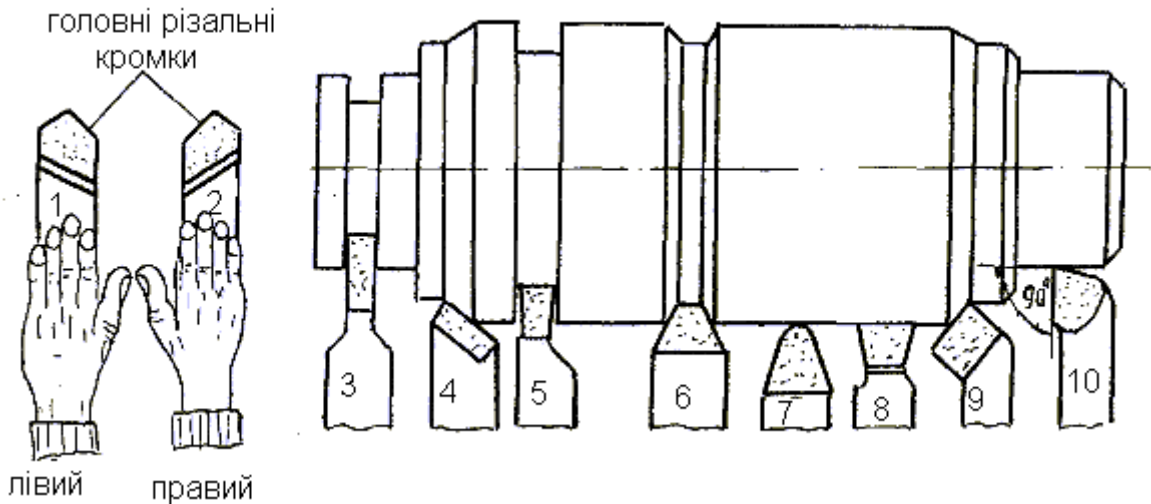


Рисунок 36 – Основні види різців

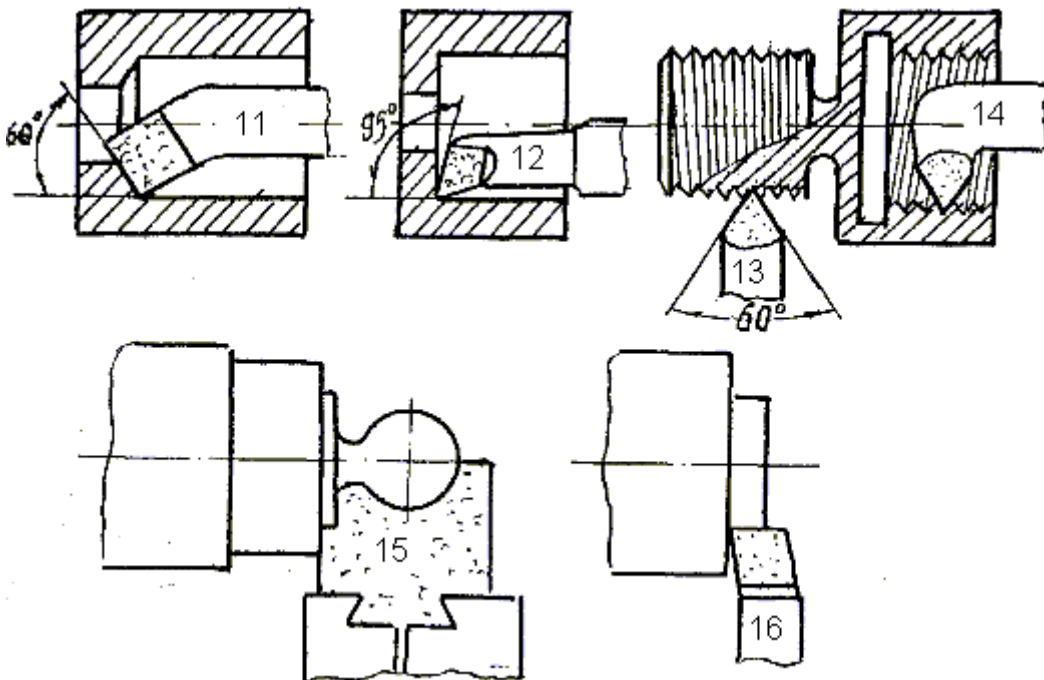


Рисунок 37 - Типи токарних різців

Прохідні відігнуті різці більш універсальні, тому що ними можна обробляти як зовнішні поверхні тіл обертання (9, рис.37), так і підрізати торець (рис.36,6).

Прохідні упорні різці 10 (рис.37) з головним кутом у плані, що дорі-

вноє 90° , застосовують для деталей, у яких обробка циліндричної поверхні повинна бути закінчена підрізкою невеликого уступу.

Для чистової обробки застосовують різці двох типів: з закругленою вершиною (7, рис. 37) і широкі чистові 8 з прямолінійною головною ріжучою кромкою. Перші застосовують при обробці невеликих деталей, другі - великих.

Підрізні торцеві різці 16 (рис. 37) застосовують для обробки торцевих площин.

Відрізні різці 3 застосовують для розрізання заготовки.

Розточувальні різці прохідні 11 та упорні 12 призначені для розточування відповідно наскрізних і глухих отворів.

Різьбові різці 13 та 14 застосовують для нарізання на заготовках відповідно зовнішніх і внутрішніх різьб. Форма ріжучої частини різця повинна відповідати формі профілю різьби (трикутна з кутами 60° і 55° , трапецеїдальна, прямокутна та ін.).

Фасонними різцями 15 обробляють фасонні поверхні.

Канавкові різці 5, 6 застосовують для прорізання канавок різного профілю.

2 ОСНОВНІ РОБОТИ, ЩО ВИКОНУЮТЬСЯ НА ТОКАРНО–ГВИНТОРІЗНИХ ВЕРСТАТАХ

2.1 Обробка циліндричних поверхонь

Циліндричні поверхні обробляють при поздовжньому переміщенні поздовжнього супорта або верхнього супорта. Зовнішні циліндричні поверхні обробляють звичайно прохідними різцями, а внутрішні розточувальними. Пристосування для закріплення заготовок вибирають в залежності від їх форми і розмірів. Заготовку типу вал в залежності від відношення її довжини до діаметра рекомендується закріплювати так:

при $l/d < 4$ - в патроні;

при $4 \geq l/d < 10$ - в центрах;

при $l/d > 10 \dots 12$ - в центрах з додатковою опорою заготовки на кулачки рухомого або нерухомого люнета.

2.2 Обробка конічних поверхонь

Конічні поверхні на токарному верстаті можуть бути оброблені одним з таких методів:

- різцем з похило розташованою ріжучою кромкою;
- за допомогою повороту верхньої каретки супорта (верхнього супорта);
- зміщенням задньої бабки;
- за допомогою копіювальної лінійки.

Різцем з похило розташованою ріжучою кромкою обробляють зов-

нішні 1 і внутрішні 2 конічні поверхні (рис.38,а), довжина яких не перевищує 20...25 мм.

За допомогою повороту верхнього супорта обробляють зовнішні і внутрішні конічні поверхні, довжина яких не перевищує довжини ходу верхнього супорта. Напрямні верхнього супорта встановлюють під кутом φ (рис.38,б) до осі обертання заготовки, який дорівнює половині кута при вершині оброблюваного конуса. Подача різця здійснюється вручну.

Методом зміщення корпусу задньої бабки обробляють тільки зовнішні конічні поверхні, у яких довжина твірної порівняно велика, а кут при вершині конуса не перевищує $10...12^{\circ}$. Заготовку в цьому випадку закріплюють у центрах, а корпус задньої бабки зміщують в поперечному напрямі на величину h (рис.38, в):

$$h = L \cdot \sin \varphi,$$

де L - довжина заготовки, мм;

φ - половина кута при вершині конуса.

За допомогою копійчальної лінійки можна обробляти зовнішні і внутрішні конічні поверхні великої довжини, кут при вершині у яких не перевищує 25° .

На рис.38,г показано будову однієї з конструкцій конусної лінійки.

Основою конусної лінійки служить кронштейн 5, прикріплений болтами до поздовжніх полозків супорта; в кронштейні є поздовжні напрямні у вигляді ластівчиного хвоста для основи лінійки 7. В основу лінійки вкручений стержень 8, який другим кінцем входить в отвір кронштейна 10 і закріплюється в ньому болтом 9.

Кронштейн 10 за допомогою болтів 11 закріплюють на станині верстата. На верхній площині основи лінійки встановлена конусна лінійка 1, в якій зроблено прямокутний паз 6. В пазу знаходиться повзунок 2, з яким за допомогою болта 4 з'єднана тяга 3 другий кінець тяги гвинтами з'єднаний з поперечними полозками супорта.

При користуванні конусною лінійкою поперечні полозки відокремлюють від гвинта поперечної подачі, для чого звичайно гвинт поперечної подачі виймають із супорта. Конусну лінійку встановлюють по одній з шкал, нанесених на кінцях основи лінійки, на кут φ , який дорівнює половині кута при вершині конуса, що обробляється, і закріплюють болтами. При поздовжньому автоматичному або ручному переміщенні супорта повзунок 2 і різець переміщуються паралельно твірній оброблюваного конуса. Необхідну глибину різання встановлюють ручним переміщенням верхнього супорта.

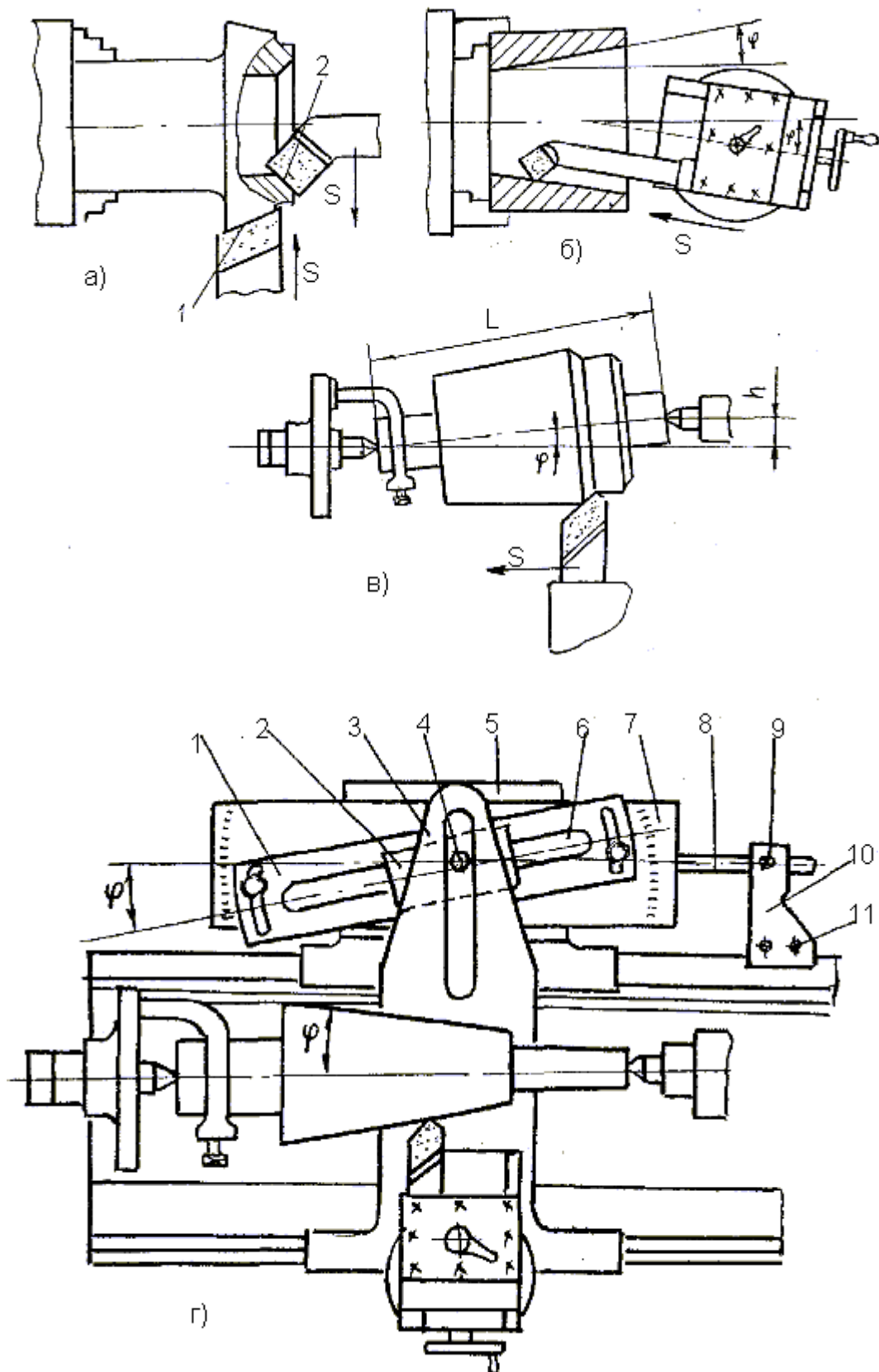


Рисунок 38 - Схеми обробки конічних поверхонь на токарних верстатах

2.3 Нарізання різьби

На токарно-гвинторізних верстатах можна нарізати різні типи різьби у великому діапазоні їх кроків за допомогою токарних різців. Перед нарізанням різьби механізм подачі верстата настроюють таким чином, щоб за кожний оберт шпинделя, а отже, і заготовки різець разом з супортом (який дістає в цьому випадку рух від ходового гвинта) переміщувався б на величину кроку різьби. Це досягається за допомогою коробки подач та гітари. При необхідності нарізання різьби підвищеної точності коробка подач відокремлюється від механізму подачі, а необхідний крок різьби забезпечується настройкою тільки однієї гітари змінних зубчастих коліс.

На рис. 37 показана схема нарізання зовнішньої і внутрішньої різьб відповідно різцями 13 і 14.

2.4 Обробка фасонних поверхонь

Фасонні поверхні 2 невеликої довжини на заготовці 1 обробляють фасонним різцем, застосовуючи тільки поперечну подачу (рис. 39, *a*).

Фасонні поверхні великої довжини обробляють за допомогою копіра. Призначення копіра: передати різцю за допомогою спеціальної слідкуючої системи поперечне переміщення, погоджене з його поздовжнім переміщенням. Застосовують різні слідкуючі системи: механічну, гідравлічну, електромеханічну та ін. Як приклад на рис. 39, *б* показана схема обробки фасонної поверхні 2 за допомогою копіра 5 з механічною слідкуючою системою. Копір 5 закріплений на кронштейні 6, який болтами прикріплений до станини верстата. В копірі зроблений криволінійний паз по формі твірної поверхні, що обробляється. В паз входить ролик 7, вільно насаджений на осі 4, яка закріплена в тязі 3, з'єднаній жорстко з поперечними полозками супорта. Гвинт поперечної подачі повинен бути відокремлений від поперечних полозків. При поздовжньому переміщенні супорта ролик котиться по криволінійному пазу і механічно через тягу переміщує в поперечному напрямі супорт разом з різцем 1, вершина якого при цьому переміщується еквідистантно криволінійній твірній поверхні, що оброблюється. Встановлюють різець на глибину різання за допомогою верхніх полозків, для чого поворотний круг закріплюють так, щоб напрямні верхніх полозків були перпендикулярні напрямним станини.

3 ХІД РОБОТИ

1. Вивчити принцип роботи та будову токарно-гвинторізного верстата: розташування та призначення головних вузлів та механізмів, рукояток управління.
2. Вивчити конструкцію та типи токарних різців, їх призначення.
3. Вивчити методи обробки різних поверхонь на токарних верстатах.
4. Виконати точіння заготовки діаметром D , розраховавши за вказаною швидкістю різання необхідну частоту обертів шпинделя. За вимірним часом обробки знайти подачу.

5. Скласти звіт про роботу.

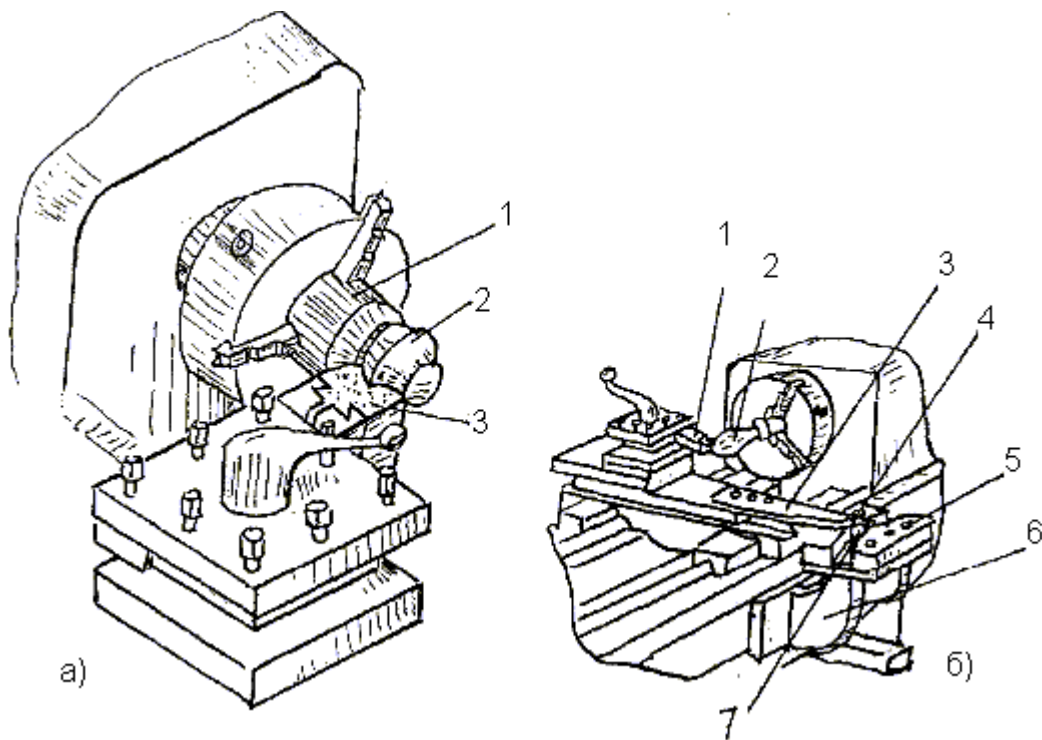


Рисунок 39 - Схеми обробки фасонних поверхонь на токарному верстаті різцем:

а - фасонним; *б* - прохідним за допомогою копіювальної лінійки

4 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

1. Короткі теоретичні відомості про обробку на токарних верстатах.
2. Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата з позначеннями. Ескізи токарних різців і схеми обробки різних поверхонь .
3. Розрахунки частот обертання шпинделя, подачі (або швидкості різання і часу обробки за вказаними частотою обертання і подачею).
4. Висновки про роботу.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

1. Призначення токарних верстатів. Типи токарних верстатів.
2. Призначення основних вузлів і механізмів токарно-гвинторізного верстата. Рухи при токарній обробці.
3. Режим різання при точінні.
4. Порядок розрахунку елементів режиму різання при точінні.
5. Методи обробки конічних поверхонь на токарних верстатах.
6. Методи нарізання різьби на токарно-гвинторізних верстатах.
7. Способи закріплення заготовок на токарних верстатах.
8. Методи обробки фасонних поверхонь на токарних верстатах.

Лабораторна робота №9 Обробка отворів на свердлильних верстатах

Мета роботи: вивчити типові способи обробки отворів, інструмент, що при цьому застосовується, основні типи свердлильних верстатів; навчитися вибирати режими різання процесів обробки отворів; набути навички роботи на вертикально-свердлильних верстатах.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Обробка заготовок на свердлильних верстатах - розповсюджений метод отримання отворів з різною точністю розмірів і шорсткістю поверхні. Процес різання здійснюється за рахунок обертального руху інструмента або заготовки (головного руху) і одночасного переміщення інструмента вздовж осі (руху подачі).

На свердлильних верстатах отримують отвори як в суцільному матеріалі, так і збільшують діаметр готових отворів (литих, штампованих, попередньо просвердлених).

На свердлильних верстатах виконують такі основні технологічні процеси:

свердління глухих і наскрізних отворів у суцільному матеріалі за допомогою свердел як по розмітці, так і по кондукторах (рис.40,а). Свердління як закінчена операція виконується тоді, коли точність отвору не перевищує 12 квалітету, а шорсткість – 3...4 класів;

розсвердлювання (рис. 40, б) - процес збільшення свердлом діаметра наявних отворів, головним чином просвердлених. Отвори, одержані литтям, штампуванням, розсвердлювати не рекомендується через сильне відхилення свердла внаслідок неправильної форми отворів або незбігу центра отвору з віссю свердла;

зенкерування (рис. 40, в) - процес обробки циліндричних литих, штампованих або попередньо просвердлених отворів зенкером для надання їм правильної геометричної форми, потрібних розмірів і необхідної шорсткості поверхні;

розточування отворів (рис. 40, г, д) – здійснюється різцями у тих випадках, коли осі їх повинні бути розташовані за точними координатами;

розвертання (рис. 40, е, ж) – процес остаточної обробки отворів розвертками з метою надання їм точних розмірів і високої чистоти поверхні;

зенкування (рис.40, а, к) – процес одержання циліндричних або конічних заглиблень у попередньо просвердлених отворах під головки болтів, гвинтів і інших деталей за допомогою циліндричних і конічних зенкерів (зенківок);

цекування – обробка торцевих поверхонь під гайки, шайби, кільця пластинками або торцевими зенкерами (рис. 40, л,м);

нарізання різьби в отворах може здійснюватися на свердлильних верста-

тах гайкорізами (рис. 40, н).

При нарізанні різьби в глухих отворах верстат повинен мати пристрій для реверсивного (зворотного) обертання шпинделя для викручування гайкоріза з нарізаного отвору. З цією метою застосовують також спеціальні патрони, що дають змогу змінювати напрям обертання гайкоріза без зміни напрямку обертання шпинделя верстата.

Найбільш поширеною схемою обробки отворів свердлами, зенкерами, розвертками є така, коли головний рух надається інструменту. Однак при цьому вісь отвору може відхилитися вбік. Це відхилення зростає із збільшенням глибини отвору. Тому при свердлінні глибоких отворів, у яких глибина перевищує діаметр у 5 і більше разів, обертального руху надають заготовці, а поступального – свердлу. При цьому відхилення осі отвору вбік значно зменшується.

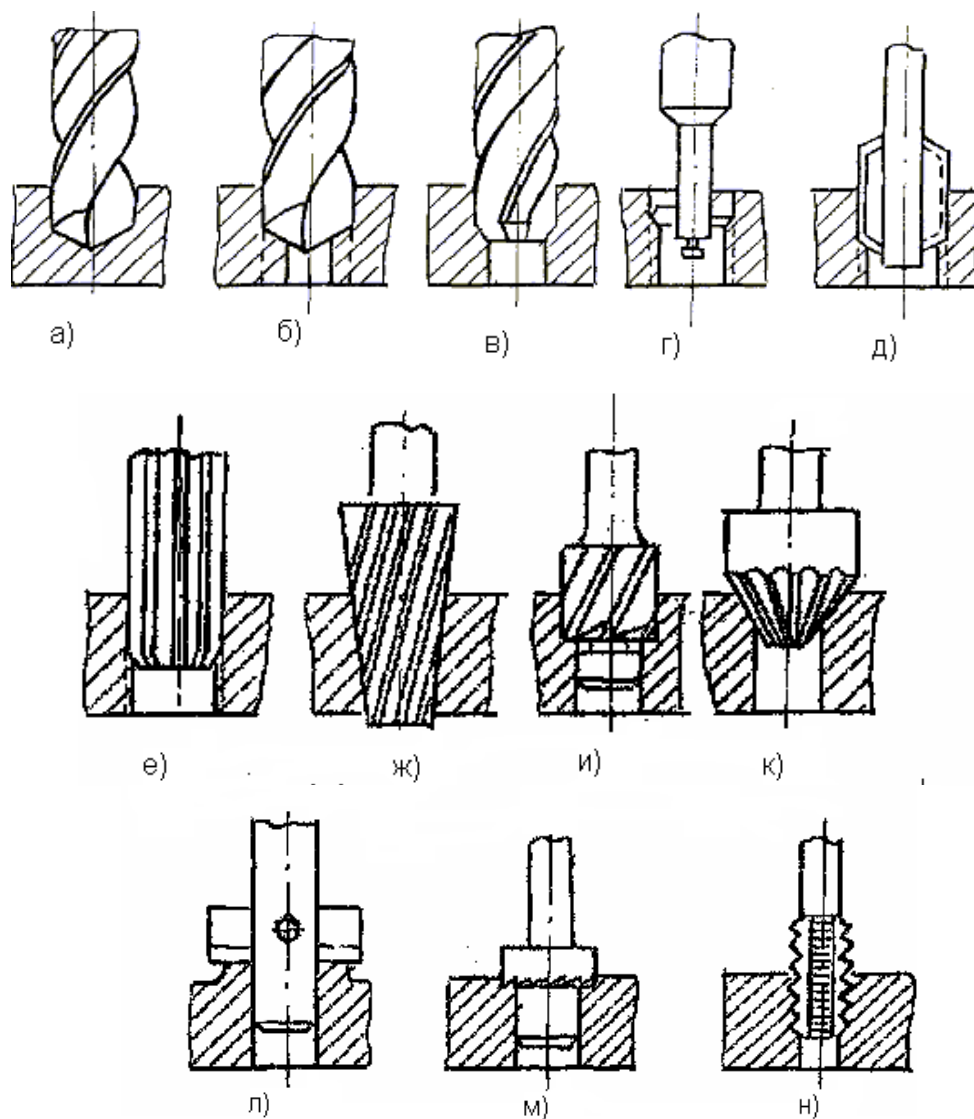


Рисунок 40 - Схеми одержання і обробки отворів на свердильних верстатах

1.2 Різальний інструмент

1.2.1 Свердла

Свердла виготовляють діаметром від 0,1 до 200 мм. Розрізняють такі основні типи сверدل:

перові (рис. 41, а), що являють собою стержень або закріплювану в оправці пластинку з ріжучими кромками, заточеними під кутом $2\varphi = 80...150^\circ$. Застосовують їх рідко, в основному для свердління отворів у твердих поковках і виливках і для обробки ступінчастих отворів;

спіральні (рис. 41, б), які широко застосовують при роботі на свердлильних та інших верстатах для отримання отворів. Величина кута між головними ріжучими кромками, утвореними перетином передніх і задніх поверхонь, при обробці сталі і чавуну приймається $2\varphi = 118^\circ$, для свердління м'яких і в'язких матеріалів (алюмінію, магнію) $2\varphi = 80...90^\circ$, для свердління твердих і крихких матеріалів – $2\varphi = 130...140^\circ$.

Для свердління отворів у твердому чавуні, загартованій сталі і інших матеріалах підвищеної твердості великого поширення набули спіральні свердла, оснащені пластинками з твердих сплавів, що дає змогу значно підвищувати режими різання і продуктивність праці.

свердла для глибокого свердління (рис. 41, в), що використовуються при свердлінні отворів діаметром до 80 мм, глибина яких перевищує діаметр в 5 і більше разів;

центрувальні (рис. 41, г), які служать для одержання центрових отворів у деталях машин, що обробляються в центрах на токарних верстатах;

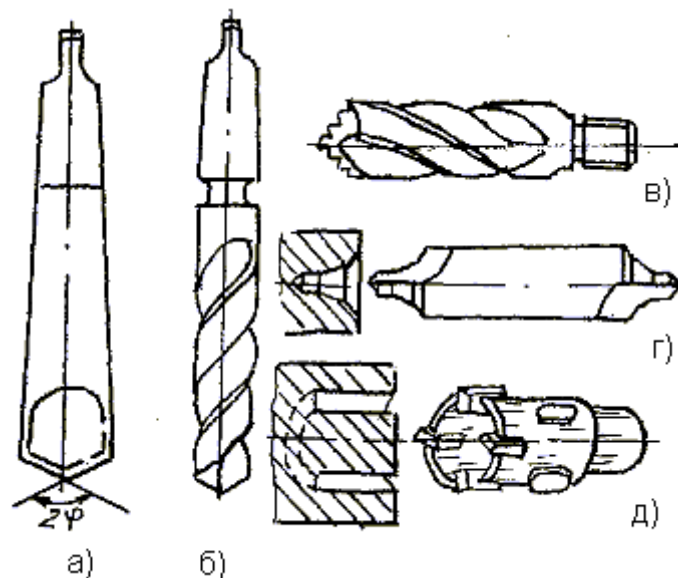


Рисунок 41 - Свердла

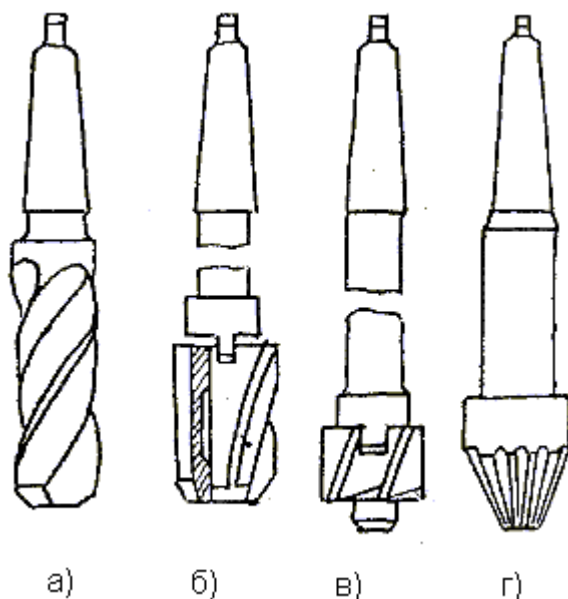


Рисунок 42 - Типи зенкерів

свердла для кільцевого свердління (рис. 41, д), що застосовуються при свердлінні глибоких отворів діаметром від 90 до 200 мм. При кільцевому свердлінні в стружку відходить тільки вузька кільцева частина матеріалу, а серцевина залишається суцільною і може бути використана.

1.2.2 Зенкери

Залежно від призначення розрізняють такі основні типи зенкерів:

- а) спіральні (рис. 42, а, б), що застосовують для обробки наскрізних отворів;
- б) циліндричні - з прямою цапфою (рис. 42, в), які служать для обробки торцевих площин або отворів під циліндричні головки гвинтів;
- в) конічні (зенківки) (рис. 42, г) що застосовують для зенкування конічних заглиблень у циліндричних отворах.

За способами кріплення розрізняють зенкера хвостові (рис. 42, а) і насадні (рис. 42, б).

Зенкери виготовляють суцільними, з напаяними пластинками і збірними з вставними ножами.

Наявність більшої кількості зубців у порівнянні з свердлом підвищує стійкість і продуктивність зенкерів, а також точність отворів і чистоту їх поверхні.

Зенкерування отворів більш продуктивна операція, ніж розсвердлювання, оскільки може здійснюватися з подачами в 2...2,5 разів більшими, ніж свердління; воно забезпечує одержання отворів 9...11 квалітетів і 4...5 класів шорсткості поверхні.

1.2.3 Розвертки

В залежності від способу застосування розвертки поділяються на ручні і машинні.

За конструктивними особливостями розвертки поділяються на хвостові і насадні, суцільні і з вставними ножами.

За формою оброблюваного отвору розрізняють розвертки циліндричні, конічні і ступінчасті.

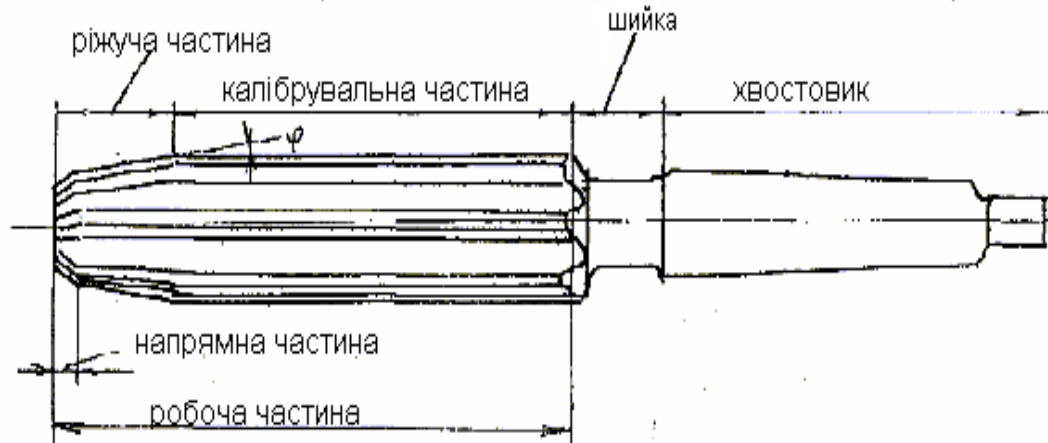


Рисунок 43 – Розвертка

Розвертка складається з робочої частини, шийки і хвостовика (рис. 43). В робочу частину входять ріжуча і калібрувальна частини. Різальна частина виконує основну роботу різання. Кут φ для ручних розверток приймають таким, що дорівнює $1... 2^\circ$, а у машинних для обробки крихких і твердих матеріалів $\varphi = 3...5^\circ$ і для в'язких матеріалів – $12...15^\circ$.

Калібрувальна частина спрямовує розвертку в отворі, надає йому потрібної точності і шорсткості поверхні.

Число зубців розверток від 6 до 12 і більше. За допомогою розверток одержують отвори 7...11 квалітетів і 7...9 класів шорсткості.

1.3 Режими різання

При свердлінні глибина різання дорівнює половині діаметра отвору D :

$$t = D/2, \text{ мм},$$

При розсвердлюванні, розвертанні і зенкеруванні глибина різання

$$t = (D - d)/2, \text{ мм},$$

де D - діаметр отвору після обробки, мм;

d - діаметр отвору до обробки, мм.

Величину подачі при свердлінні визначають за емпіричною формулою

$$S = CD^{0,6}, \text{ мм/об,}$$

де C - коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що обробляється, точності і шорсткості поверхні отвору. Значення C беруть з довідників.

При зенкеруванні величина подачі приймається приблизно в 2...2.5 разів більша, ніж при свердлінні. Залежно від оброблюваного матеріалу, діаметра зенкера і точності отвору вона змінюється в межах від 0,2 до 3,4 мм/об.

При розвертанні величина подачі може змінюватися від 0,2 до 7,5 мм/об. При чистовому розвертанні точних отворів подача не повинна перевищувати 1...1,5 мм/об.

Швидкість різання при обробці отворів

$$V = \pi Dn / 1000, \text{ м/хв,}$$

де D - діаметр різального інструменту, мм;

n - число його обертів за хвилину.

1.4 Свердлильні верстати

Свердлильні верстати поділяються на такі основні типи:

1. Вертикально-свердлильні - найбільш поширені верстати, що застосовуються в одиничному і серійному виробництві. Основною характеристикою їх є найбільший діаметр отвору, який можна свердлити на них в сталі середньої твердості. Цей діаметр в сучасних вертикально-свердлильних верстатах складає 6, 12, 18, 25, 35, 50 і 75 мм.

Загальний вигляд вертикально-свердлильного верстата показано на рис. 44. Він складається з фундаментної плити 7, станини 6, коробки швидкостей 4, шпинделя 2, коробки подач 3 і стола 1, на якому встановлюється оброблювана деталь. Для закріплення деталей на столі верстата застосовують універсальні і спеціальні пристрої. До універсальних затискних пристроїв відносяться притискні планки, призми, машинні лещата, кутники. Для забезпечення правильного положення інструмента відносно осі оброблюваного отвору і спрямування його під час роботи застосовують спеціальні пристрої-кондуктори.

2. Радіально-свердлильні верстати призначені для обробки отворів у великих і важких деталях. Загальний вигляд такого верстата показано на рис.45. Навколо нерухомої колони 2, закріпленої на фундаментній плиті 1, може повертатися на кут 360° гільза 3, по якій за допомогою електродвигуна 5, зубчасті передачі і гвинта 6 може переміщуватися ввєрх і вниз і закріплюватися у потрібному положенні траверса 4. По напрямних травер-

си вручну переміщується шпindelна головка 8, всередині якої вміщена коробка швидкостей і коробка подач, за допомогою яких шпindel 9 дістає обертання і осьову подачу. В конічному отворі шпинделя закріплюється ріжучий інструмент. Оброблюваний виріб встановлюється на плиті 1 або на столі 10.

В результаті переміщення шпindelної головки по траверсі і обертання траверси вісь шпинделя можна встановити в будь-якій точці площини, обмеженої колами, радіуси яких дорівнюють найбільшій і найменшій відстані осі шпинделя від осі колони 2. Таким чином, при обробці отворів у великих і важких деталях при переході від одного отвору до другого не треба пересувати деталь, а у відповідне місце переміщується шпindel верстата.

3. Багатошпindelні свердлильні - мають кілька шпинделів, взаємне розташування яких може бути постійним або змінюватися залежно від оброблюваної деталі. Ці верстати широко застосовуються в серійному і масовому виробництві.

4. Горизонтально-свердлильні – застосовуються для свердлення глибоких отворів. В цих верстатах обертається оброблювана деталь, а свердло має лише позовжню подачу.

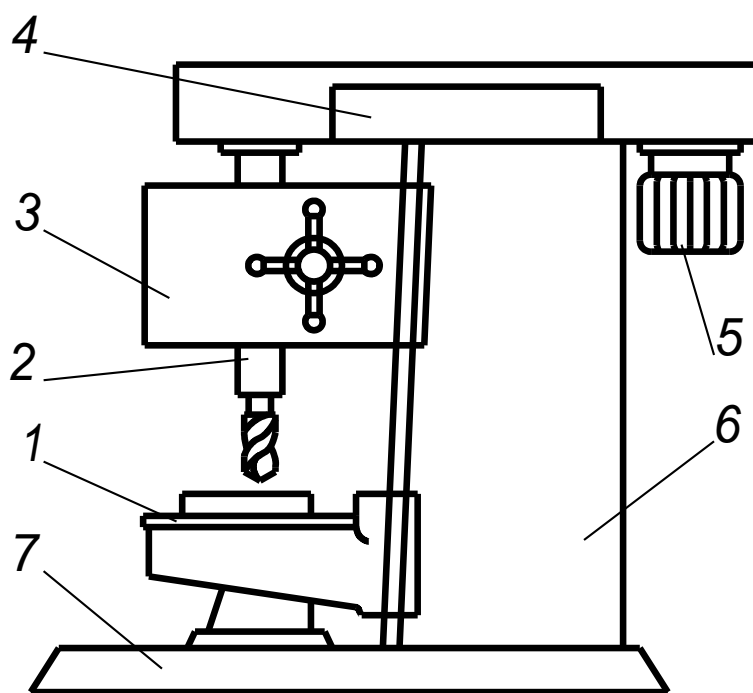


Рисунок 44 - Загальний вигляд вертикально-свердлильного верстата

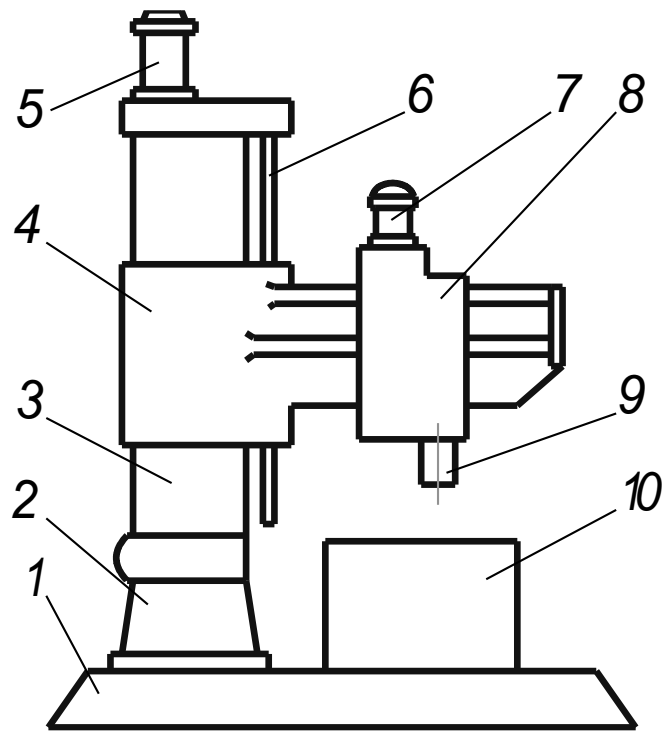


Рисунок 45 - Загальний вигляд радіально-свердлильного верстата

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити методи, інструмент та технологію обробки отворів на свердлильних верстатах.
2. Ознайомитись з конструкцією, принципом роботи, призначенням рукояток управління вертикально-свердлильного верстата.
3. Виконати розрахунки режиму різання при свердлінні, зенкеруванні та розвертанні за заданими викладачем вхідними даними.
4. Виконати обробку отворів свердлінням, зенкеруванням, розвертанням.
5. Скласти звіт про роботу.

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт про виконану роботу повинен вміщувати:

1. Короткі теоретичні відомості про обробку отворів на свердлильних верстатах.
2. Схеми обробки поверхонь на свердлильних верстатах.
3. Ескізи ріжучого інструмента для обробки отворів (свердл, зенкерів, розверток).
4. Ескіз загального вигляду вертикально-свердлильного верстата.
5. Розрахунки режимів різання за вказаними даними.
6. Описання ходу та результатів виконаної роботи по обробці отворів.

7. Висновки про роботу.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

1. Методи обробки отворів.
2. Інструмент для обробки отворів.
3. Верстати, на яких обробляють отвори.
4. Операції, які виконуються на свердлильних верстатах.
5. Особливості обробки глибоких отворів.
6. Точність і якість поверхні отворів, оброблених різними способами.
7. Елементи режиму різання при свердленні, зенкеруванні, розвертанні.
8. Порядок призначення елементів режиму різання.
9. Особливості обробки отворів у великих та важких деталях.

Лабораторна робота №10 Обробка поверхонь на фрезерних верстатах

Мета роботи: вивчити типові способи обробки поверхонь, ріжучий інструмент та обладнання при фрезеруванні; набути практичних навичок з обробки заготовок на фрезерних верстатах.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Фрезеруванням називається технологічний метод обробки поверхонь заготовок різанням, при якому різальний інструмент - фреза - виконує обертальний (головний) рух, а заготовка, що оброблюється, - поступальний рух подачі.

Фрезерування – це високопродуктивний і розповсюджений у машинобудуванні метод обробки поверхонь заготовок багатолезовим різальним інструментом - фрезою.

На фрезерних верстатах обробляють горизонтальні, вертикальні та похилі поверхні, фасонні поверхні, пази різного профілю.

Технологічний метод формоутворення поверхонь фрезеруванням визначається головним обертальним рухом інструмента і, зазвичай, поступальним рухом подачі заготовки. Подачею може бути і обертальний рух заготовки навкруги осі стола, який обертається.

Фреза - ріжучий інструмент, що являє собою тіло обертання, на твірній або торцевій поверхні якого, або на обох цих поверхнях розташовані ріжучі зубці.

Фрезерування - один з дуже продуктивних і поширених методів обробки різанням. Цим методом обробляють площини, фасонні поверхні, пази, канавки, нарізають зубці в зубчастих колесах, різьби тощо.

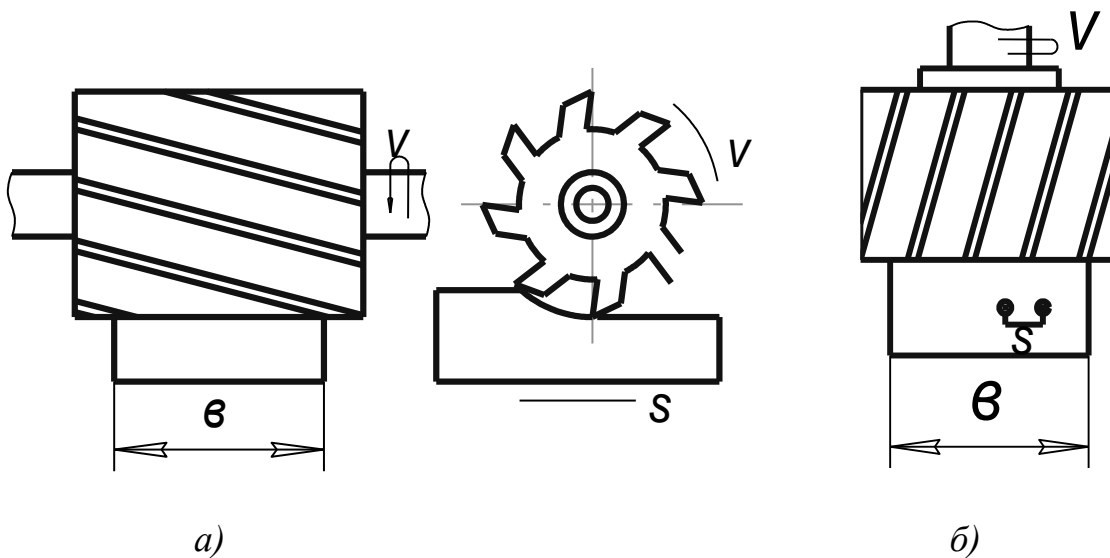


Рисунок 46 - Схеми фрезерування площин фрезою:
а - циліндричною; б - торцевою

Точність обробки і шорсткість обробленої поверхні при фрезеруванні залежать від типу верстата, застосовуваних фрез, режимів різання і інших факторів і можуть досягати 9...11 квалітетів і 7...8 класів шорсткості поверхні.

На рис. 46 показані схеми обробки площин циліндричною і торцевою фрезами. Ці види фрезерування є найбільш поширеними.

1.1 Типи фрез і основні види фрезерних робіт

В залежності від форми і призначення фрези поділяються на циліндричні, торцеві, дискові, кінцеві, кутові, фасонні, різьбові, черв'ячні і т.п.

За конструктивними ознаками фрези поділяють на суцільні і з вставними зубцями (ножами). В залежності від способу кріплення фрез на верстаті розрізняють фрези насадні, які мають отвір і закріплюються на оправці, і фрези кінцеві з конічним або циліндричним хвостовиком.

Горизонтальні площини обробляють циліндричними фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах або торцевими фрезами на вертикально-фрезерних і поздовжньо-фрезерних верстатах (рис. 47, а, б).

Найбільш продуктивною є обробка площин торцевими фрезами, оснащеними пластинками з твердих сплавів.

Вертикальні площини обробляють на горизонтально-фрезерних верстатах торцевими (рис. 47, в) або дисковими (рис. 47, с) фрезами, на вертикально-фрезерних – кінцевими фрезами (рис. 47, з).

Похилі площини обробляють на горизонтально-фрезерних верстатах кутовими фрезами (рис. 47, д), або на вертикально-фрезерних верстатах з поворотною головкою – торцевими. При цьому шпиндель верстата повертають на потрібний кут (рис. 47, е).

Прямокутні пази фрезерують дисковими фрезами на горизонтально-фрезерних або кінцевими фрезами - на вертикально-фрезерних верстатах (рис. 47, ж, п).

Пази Т-подібні і типу ластівчаного хвоста фрезерують на вертикально-фрезерних верстатах фрезами відповідного профілю (рис. 47, и, к).

Шпонкові канавки прямокутного перерізу обробляють на вертикально-фрезерних верстатах кінцевими (рис.47,м) або спеціальними шпонковими фрезами (рис. 47, н), або на горизонтально-фрезерних верстатах – дисковими фрезами (рис. 47, л).

Фасонні поверхні обробляють фасонними фрезами відповідного профілю найчастіше на горизонтально-фрезерних верстатах (рис. 47, р), а складні просторові фасонні поверхні – на спеціальних копіювально-фрезерних верстатах.

Складні поверхні, що є сполученням горизонтальних, вертикальних і похилих площин, часто фрезерують набором фрез на горизонтально-фрезерних і поздовжньо-фрезерних верстатах (рис. 47, с).

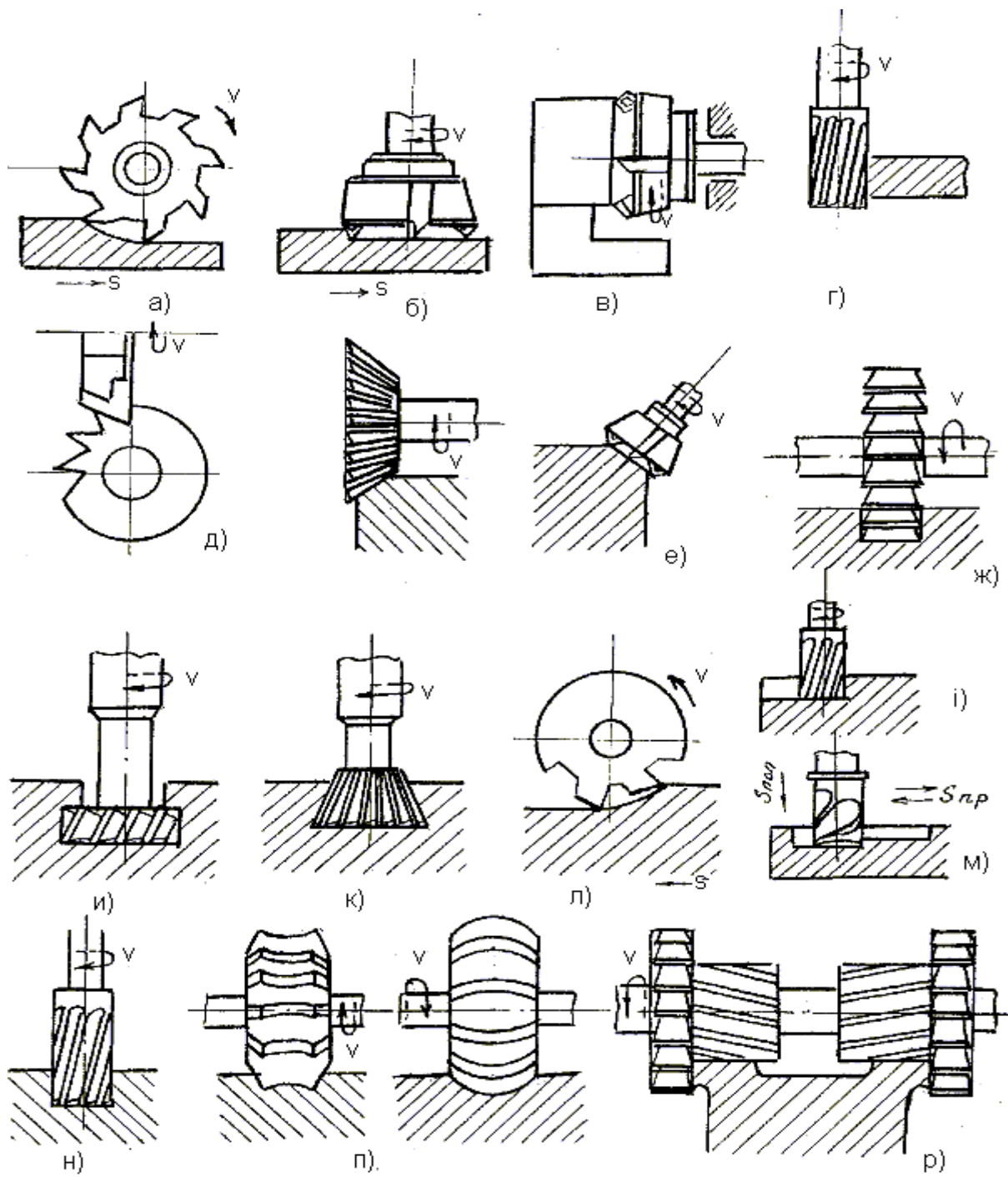


Рисунок 47 - Приклади робіт, що виконуються на фрезерних верстатах

1.2 Типи фрезерних верстатів

Існує велика кількість типів фрезерних верстатів як універсальних широкого призначення, так і спеціалізованих, наприклад, шпонко-фрезерні, різьбо-фрезерні тощо. Найбільш розповсюдженими є консольні горизонтально-фрезерні та вертикально-фрезерні верстати.

Консольними фрезерні верстати називають тому, що стіл їх розташований на консольній балці, яка може переміщуватись по вертикальних напрямних станини. На цих верстатах виконують різні фрезерні роботи, вони є найбільш поширеними фрезерними верстатами.

На рис. 48 показані схеми горизонтально-фрезерного та вертикально-фрезерного верстатів. Основні вузли верстатів – фундаментна плита 1, станина 2, електродвигун з клинопасовою передачею 3, коробка швидкостей 4, шпиндель 5, хобот 6, підвіски 7 для закріплення оправки з фрезою, стіл 8, поперечні полозки 9, консоль 10, коробка подач 11.

Оброблювана деталь встановлюється на столі, який може переміщуватися в поздовжньому, поперечному, а також разом з консолю у вертикальному напрямках.

Деякі горизонтально- та вертикально-фрезерні верстати мають стіл, який може бути повернутий в горизонтальній площині на кут $\pm 45^\circ$. Такі верстати називаються універсально-фрезерними

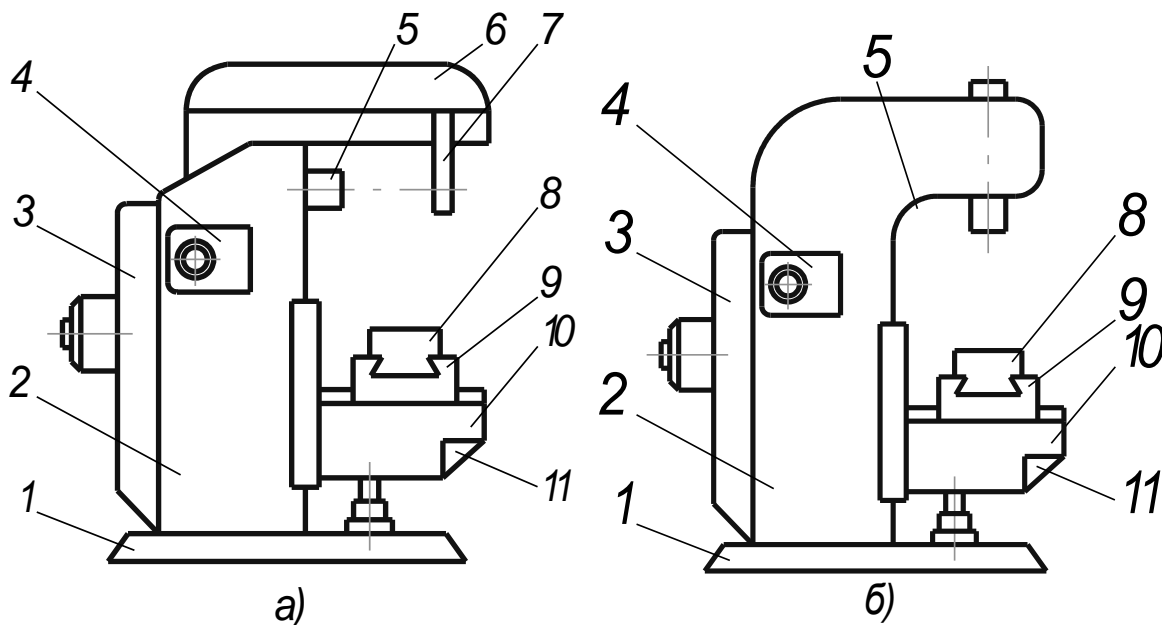


Рисунок 48 - Схеми горизонтально-фрезерного (а) та вертикально-фрезерного (б) верстатів

1.3 Режими різання при фрезеруванні

Від правильного вибору елементів режиму різання – глибини різання, подачі і швидкості різання – залежить продуктивність процесу фрезерування, точність і шорсткість обробленої поверхні, потрібна потужність верстата. При встановленні оптимального режиму різання насамперед визначають глибину різання, потім – найбільшу технологічно допустиму подачу і, нарешті, за прийнятими значеннями t і S швидкість різання. При фрезеруванні розрізняють хвилину подачу $S_{xв}$ - переміщення оброблюваної деталі *мм/хв*; подачу за оберт S_0 - переміщення деталі за один оберт фрези, *мм*; подачу на зубець S_z - переміщення деталі при повороті фрези на кут між двома сусідніми зубцями, *мм/зуб*.

$$S_{xв} = S_0 n = S_z Z n.$$

Швидкість різання V - колова швидкість найбільш віддаленої від осі обертання точки ріжучої кромки фрези:

$$V = \pi D n / 1000 \text{ м/хв},$$

де D - зовнішній діаметр фрези, *мм*.

До елементів режиму різання при фрезеруванні відноситься також ширина фрезерування B - довжина поверхні контакту фрези з оброблюваною заготовкою, виміряна в напрямі, перпендикулярному напрямку подачі (див. рис. 46).

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити конструкцію наявного в лабораторії фрезерного верстата, його основні вузли і роботу.
2. Ознайомитися з основними типами фрез, способом їх кріплення на даному верстаті; ознайомитися з основними операціями обробки заготовок на фрезерних верстатах.
3. За індивідуальним завданням (табл.9) налаштувати верстат для обробки деталі. При цьому за заданою швидкістю різання і діаметром фрези визначити необхідну частоту обертання шпинделя верстата.
4. Обробити деталь при встановленому режимі.
5. Розрахувати час обробки поверхні, вимірявши її розміри.
6. Скласти звіт про роботу.

Таблиця 9 – Варіанти завдань

Варіант	Швидкість різання, м/хв	Подача, мм/зуб	Глибина різання, мм	Діаметр фрези, мм	Число зубців фрези
1	15,7	0,01	1	120	14
2	15,7	0,02	1	120	12
3	15,7	0,04	1	160	14
4	31,4	0,05	1	140	14
5	31,4	0,06	2	100	10
6	31,4	0,07	2	80	10
7	62,8	0,1	2	80	12
8	62,8	0,2	3	100	14
9	31,4	0,3	2	100	12
10	15,7	0,08	2	90	12
11	31,4	0,05	1	90	14
12	62,8	0,06	1	110	16
13	62,8	0,02	2	140	18
14	15,7	0,05	1	140	16
15	31,4	0,06	3	100	12

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт про виконану роботу повинен вміщувати:

1. Короткі теоретичні відомості про обробку заготовок на фрезерних верстатах.
2. Схеми обробки поверхонь на фрезерних верстатах.
3. Схему верстата, на якому проводилась лабораторна робота.
4. Розрахунки режимів обробки за індивідуальним завданням.
5. Висновки про роботу.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

1. Основні види рухів при фрезеруванні.
2. Типи фрез.
3. Роботи, які виконуються на фрезерних верстатах.
4. Типи фрезерних верстатів.
5. Елементи режиму різання при фрезеруванні.
6. Порядок розрахунку елементів режиму різання.

Лабораторна робота №11 Настройка ділільних головок

Мета роботи: вивчити конструкцію і методи настройки універсальної лімбової ділільної головки; отримати навички в практичному застосуванні ділільної головки.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Ділільні головки призначені для здійснення періодичних поворотів заготовки на рівні, а інколи і на нерівні долі кола. Вони застосовуються при обробці різних ріжучих інструментів: гайкорізів, розверток, фрез, зенкерів тощо; нормалізованих деталей машин: болтів, гайок, зубчастих коліс і інших деталей на верстатах фрезерної та шліфувальної груп.

Існує кілька конструкцій ділільних головок: лімбові, безлімбові, оптичні та інші. Найбільше поширення в промисловості отримали універсальні лімбові ділільні головки УДГ (рис. 49). Вони мають чавунну основу 1, корпус 4, який може повертатися на певний кут у вертикальній площині, ділільний лімб 2, привідну рамку з рукояткою 3. В корпусі розташований шпиндель 6, на передньому кінці якого може встановлюватися пристрій для закріплення деталі.

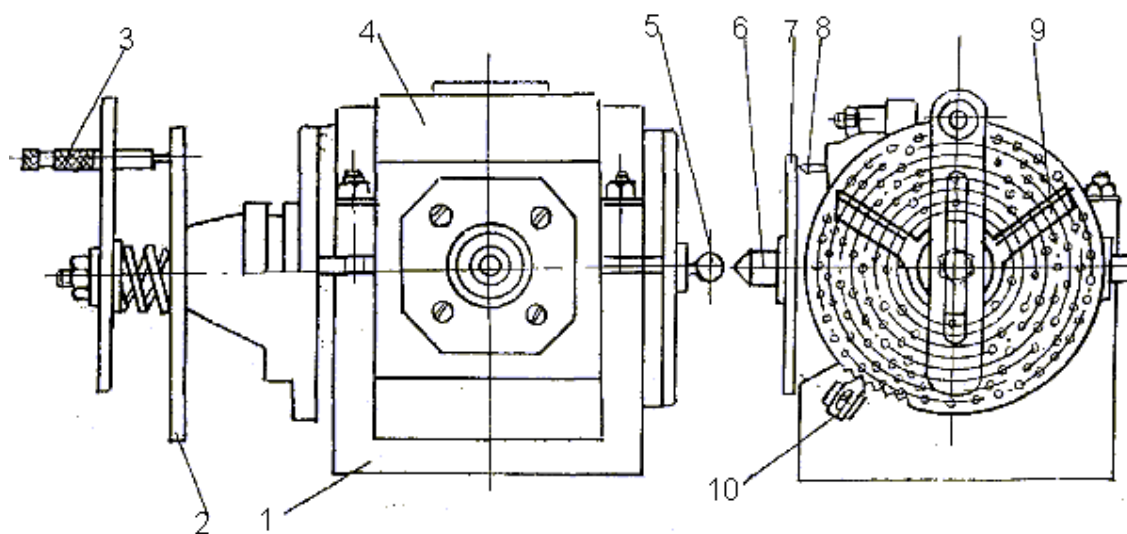


Рисунок 49 - Загальний вигляд універсальної лімбової ділільної головки

На шпинделі є диск 7 для безпосереднього ділення, який має 360 поділок. Таким чином, ціна поділки 1° . В деяких конструкціях УДГ диск 7 має 24 отвори.

На шпинделі закріплене черв'ячне колесо Z_0 (рис. 50), яке одержує обертання від черв'яка К, розташованого в ексцентричній втулці. Черв'як може бути введеним в зачеплення з черв'ячним колесом або виведеним з нього поворотом ексцентричної втулки за допомогою рукоятки 5 (рис. 49).

Ділильний лімб 2 має з обох боків ряд концентричних кіл з різним числом глухих отворів розташованих на цих колах. Так, з одного боку лімба числа отворів 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31 і з другого 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54. На валу ділильного лімба встановлена конічна шестерня а також привідна рамка, що має рукоятку з фіксатором, який своїм вістряем може вставлятися в будь-який отвір на лімбі. Привідна рамка може переміщуватися в радіальному напрямі для установки рукоятки на потрібний ряд отворів на лімбі. До ділильного лімба за допомогою пружини притиснутий поворотний сектор з двома розсувними лінійками.

1.1 Налаштування ділильних головок для безпосереднього ділення

Цей вид ділення здійснюється для випадків, що не потребують великої точності ділильних поворотів. Він має обмежене використання. Черв'як вводить з зачеплення з черв'ячним колесом. Заготовка вручну повертається по шкалі диска 7 на потрібний кут

$$\alpha = 360/Z,$$

де Z - число на яке потрібно поділити заготовку.

1.2 Налаштування ділильних головок при простому діленні (рис. 50)

Цей спосіб найбільш поширений. Ділильний лімб за допомогою спеціального стопора 10 з'єднується з корпусом головки. Черв'як вводить з зачеплення з черв'ячним колесом. Кількість обертів рукоятки 3 (рис.49), необхідна для обертання шпинделя на $1/Z$ частину кола (Z - число, на яке потрібно поділити заготовку), може бути визначена так:

$$n_p = N/Z,$$

де N - характеристика ділильної головки, що являє собою число обертів рукоятки 3, яке треба зробити, щоб шпиндель головки зробив один повний оберт.

$$N = Z_0/K,$$

де Z_0 - число зубців черв'ячного колеса,

K - число заходів черв'яка.

У ділильних головках УДГ черв'ячне колесо частіше за все має 40 зубців, а черв'як виконаний однозахідним. У цьому випадку

$$N = Z_0 / K = 40 / 1 = 40.$$

Якщо кількість обертів рукоятки n_p - число дробове, то цей дріб потрібно перетворити у такий вигляд:

$$n_p = N / Z = A + a/b = A + am / bm,$$

де A - ціле число обертів рукоятки;

a/b - правильний простий нескоротний дріб;

m - спільний, множник для a і b , вибраний, таким чином, щоб добуток bm дорівнював одному з чисел отворів, що є на ділильному лімбі;

am - число ділень (кроків), на яке треба повернути рукоятку по колу, що має bm отворів.

Для зручності відлічування по ділильному лімбу використовують поворотний сектор (рис. 49), розсунві ніжки якого встановлюються так, щоб число потрібних ділень am було між скошеними краями ніжок. Штифт рукоятки переставляють між першою і другою ніжками, після чого сектор повертають так, щоб його перша ніжка знову торкнулась штифта і тим самим друга вказала границю його чергового переміщення.

Приклад 1. Виконати розрахунки, потрібні для фрезерування зубчастого колеса $Z = 35$, якщо характеристика головки $N = 40$.

Число обертів рукоятки

$$n_p = N/Z = 40 / 35 = 1 + 1/7 = 1 + 1 \cdot 3 / 7 \cdot 3 = 1 + 3 / 21.$$

Після фрезерування кожного зубця треба рукоятку повернути на повний оберт і 3 відстані між центрами отворів по колу з 21 отвором.

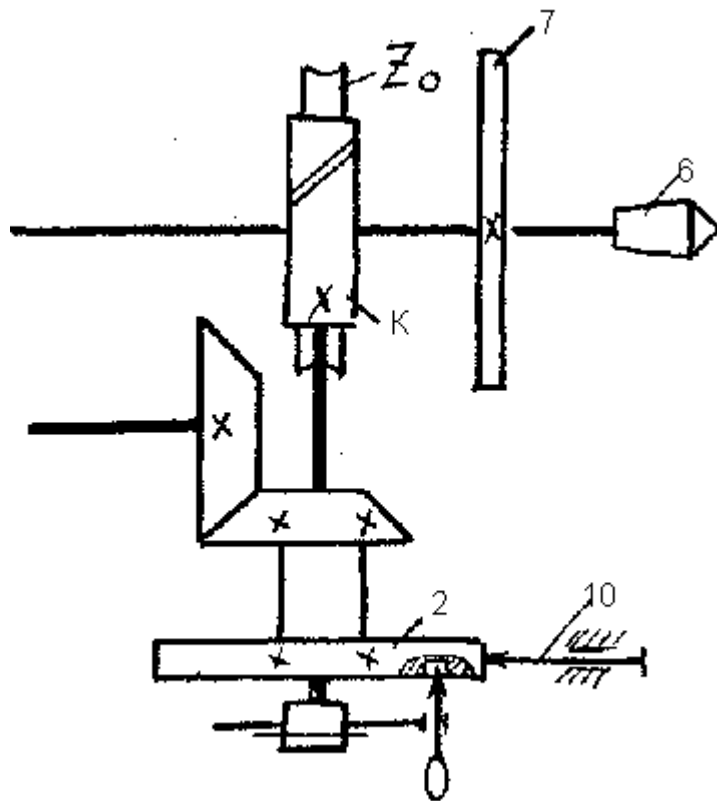


Рисунок 50 - Кінематична схема ділильної головки при простому діленні

1.3 Настройка ділильної головки для диференціального ділення (рис. 51)

Диференціальний метод ділення застосовують у тих випадках, коли

неможливо здійснити просте ділення через відсутність необхідного числа отворів на ділильному лімбі.

Суть цього методу полягає в тому, що потрібний поворот заготовки здійснюється як результат двох рухів:

- 1) обертання рукоятки відносно ділильного лімба;
- 2) додаткового обертання самого ділильного лімба.

Отже, поворот рукоятки здійснюється відносно лімба, який обертається.

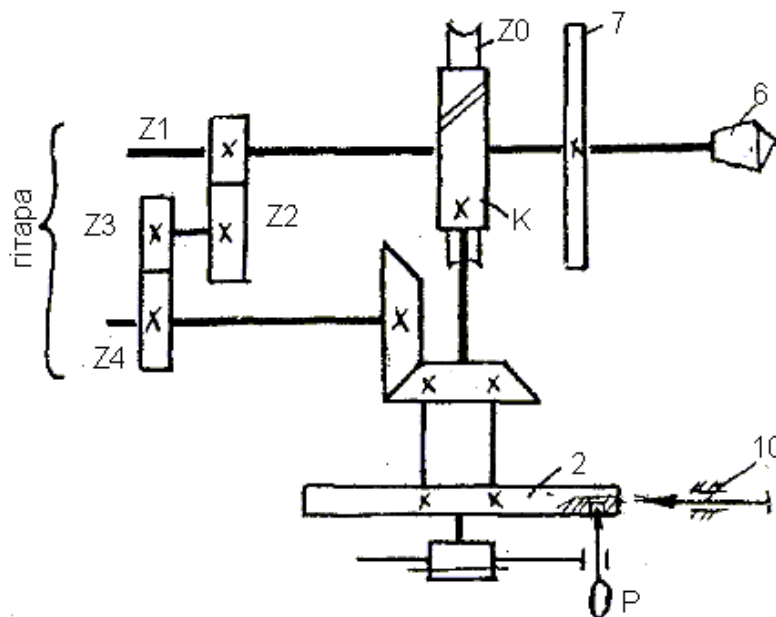
Обертання лімба передається від шпинделя через змінні зубчасті колеса гітара з передаточним відношенням $i_2 = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}$ і постійну конічну зубчасту передачу. Лімб при цьому вивільняється від стопора, що з'єднує його з корпусом головки.

При диференціальному діленні для визначення числа обертів n_p рукоятки Z , необхідного для повороту заготовки на $1/Z$ частину кола, застосовують ту саму формулу, що й при простому діленні:

$$n_p = N / Z_{\text{наб}},$$

де $Z_{\text{наб}}$ - наближене число ділень, що близьке до Z і задовольняє умови простого ділення.

При цьому шпиндель головки повернеться на $1/Z_{\text{наб}}$ частину обертання замість необхідної $1/Z$ частини. Помилка в повороті шпинделя, яка дорівнює $1/Z - 1/Z_{\text{наб}}$, компенсується поворотом самого ділильного лімба, який і повинен повернутися саме на цю частину кола.



**Рисунок 51 - Кінематична схема ділильної головки
при диференціальному діленні**

Передаточне відношення змінних коліс гітари визначається за формулою

$$i_2 = N / Z_{\text{наб}} (Z_{\text{наб}} - Z).$$

Якщо $Z_{\text{наб}} < Z$ то i_2 має від'ємне значення. При цьому ділильний лімб повинен обертатися в бік, протилежний рукоятці, що досягається встановленням проміжного (паразитного) колеса між колесами Z_1 і Z_2 або Z_3 і Z_4 .

Для настроювання гітари, тобто для визначення числа зубців коліс Z_1, Z_2, Z_3 і Z_4 звичайно до ділильних головок надається комплект зубчастих коліс з числами зубців від 20 до 100, кратних 5 (так званий "п'ятковий" набір), який дає змогу підібрати зубчасті колеса для забезпечення будь-якого передаточного відношення.

Приклад 2. Настроїти ділильну головку для фрезерування зубчастого колеса $Z = 67$ якщо характеристика головки $N = 40$. В даному випадку просте ділення здійснити неможливо тому що дріб $40/67$ нескоротний, а на ділильному лімбі немає 67 отворів. Ділимо диференціальним методом. Приймаємо $Z_{\text{наб}} = 68$, тоді

$$i_2 = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} = (N / Z_{\text{наб}}) \cdot (Z_{\text{наб}} - Z) = (40 / 68) \cdot (68 - 67) = 40/68.$$

Цей дріб потрібно перетворити так, щоб з "п'яткового" набору можна було підібрати зубчасті колеса Z_1, Z_2, Z_3 і Z_4 , маючи на увазі, що в наборі є тільки по одному колесу з визначеним числом зубців в межах від 20 до

$$100: \frac{5}{4} \cdot \frac{8}{17} = \frac{25}{20} \cdot \frac{40}{85}$$

$$i_r = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} = 40 / 68 = \frac{5}{4} \cdot \frac{8}{17} = \frac{25}{20} \cdot \frac{40}{85}$$

При підборі зубчастих коліс потрібно також враховувати умову зчеплюваності коліс в гітарі: $Z_1 + Z_2 > Z_3$ на 10...15 зубців і $Z_1 + Z_4 > Z_2$ на 10...15 зубців. У нашому прикладі $Z_1 = 25, Z_2 = 20, Z_3 = 40, Z_4 = 85$. $Z_1 + Z_2 > Z_3$, але всього на 5 зубців, що не задовольняє умові зчеплюваності коліс. Тому приймаємо $Z_1 = 75, Z_2 = 60$. Передаточне відношення при цьому не зміниться а умова зчеплюваності буде виконана.

Число обертів рукоятки 3 для здійснення ділильного повороту заготовки $1/68$:

$$n_p = N/Z_{\text{наб}} = 40 / 68 = 5 / 17$$

Таким чином, рукоятку 3 необхідно повернути на 5 поділок круга, що має 17 отворів.

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити конструкцію універсальної лімбової ділильної головки та методи її настройки.

2. За індивідуальним завданням (табл. 9) настроїти головку на просте та диференціальне ділення. Характеристика головки $N = 40$.

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт про виконану роботу повинен вміщувати:

1. Короткі теоретичні відомості про ділильні головки.
2. Кінематичні схеми ділильних головок для простого і диференціального ділення.
3. Розрахунки, необхідні для настройки головки на просте і диференціальне ділення.

Таблиця 10 – Варіанти завдань

Варіант	Число ділень	Варіант	Число ділень
1	25, 57	9	54, 77
2	26, 59	10	56, 79
3	27, 63	11	58, 81
4	28, 67	12	60, 83
5	44, 69	13	72, 97
6	46, 71	14	76, 101
7	48, 73	15	78, 113
8	52, 75	16	80, 127

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

1. Методи поділу на універсальних ділильних головках
2. Налаштування ділильної головки на фрезерування спіральних канавок.

3. Налагодження ділильної головки для безпосереднього ділення.
4. Налагодження ділильної головки для диференціального ділення.

Лабораторна робота №12

Обробка заготовок на шліфувальних верстатах

Мета роботи: вивчити особливості шліфування, абразивний інструмент і види робіт, що виконуються на шліфувальних верстатах; навчитися вибирати режими різання при шліфуванні.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Шліфуванням називається процес обробки поверхонь абразивним (шліфуючим) інструментом, найчастіше шліфувальними кругами.

Застосовується шліфування головним чином для остаточної чистової обробки і є основним методом одержання високої точності і незначної шорсткості оброблюваних поверхонь. Воно дає змогу досягти 5...6 квалітетів точності і 8...10 класів шорсткості. Шліфуванням можна обробляти різні, як дуже м'які, так і найбільш тверді матеріали, включаючи загартовані сталі і тверді сплави. Шліфувати можна поверхні різної форми: плоскі, циліндричні, конічні, фасонні. У відповідності з цим застосовують різні методи шліфування, найбільш поширеними з яких є кругле і плоске шліфування.

1.1 Схеми круглого і плоского шліфування

Кругле зовнішнє шліфування може здійснюватись з поздовжньою подачею (рис. 52, *a*) або тільки з поперечною (врізне шліфування), (рис. 52, *б*). В першому випадку поперечна подача $S_{\text{поп}}$ на глибину шліфування t здійснюється шліфувальним кругом в кінці поздовжнього ходу заготовки в напрямі, перпендикулярному до її осі. По другій схемі (рис.52,б) шліфують поверхні, довжина яких менша ширини шліфувального круга. В обох випадках, як і при інших видах шліфування, головний рух з швидкістю $V = 20...40 \text{ м/с}$ здійснює шліфувальний круг. Заготовка обертається з швидкістю V_3 . Цей рух називається коловою подачею.

Схема зовнішнього безцентрового шліфування з поздовжньою подачею показана на рис. 52, *в*. Принцип її полягає в тому, що заготовку 3, яка опирається на упор (ніж) 1, пропускають між двома встановленими на певній відстані один від одного шліфувальними кругами. Один з них - 2, який обертається з великою швидкістю $V_{кр}$ (30...60 м/с), називається шліфувальним.

Другий круг 4, що називається ведучим, обертається з швидкістю $V_{в.к.}$ в багато разів меншою (0,2...1 м/с). Завдяки зрізу ножа заготовка притискується до ведучого круга і внаслідок більшого коефіцієнта тертя між цим кругом і заготовкою вона обертається з швидкістю близькою до швидкості ведучого круга.

Оскільки ведучий круг повернутий на кут α (1,5...6° при чорновому і 0,5...1,5° при чистовому шліфуванні), швидкість його обертання $V_{в.к.}$ розкладається на дві складові V_2 і V_s заготовка одержує поздовжню подачу

вздовж осі з швидкістю $V_s = V_{в.к.} \cdot \sin \alpha$

Друга складова $V_z = V_{в.к.} \cdot \cos \alpha$ швидкістю обертання заготовки (колова подача).

На рис. 52, з, д показані схеми внутрішнього шліфування. В першому випадку колову подачу одержує заготовка, в другому - шліфувальний круг. Внутрішнє шліфування за схемою рис.52, д застосовують у тих випадках, коли заготовці неможливо або надто складно надавати обертового руху.

Плоске шліфування залежно від методу роботи розрізняють переферією плоского (рис.52, е) або торцем чашкового круга (рис. 52, ж). Закріплена на столі деталь виконує зворотно-поступальний рух поздовжньої подачі $S_{позд}$, шліфувальний круг крім головного руху з швидкістю V здійснює в кінці поздовжнього ходу поперечну подачу $S_{поп}$, а після шліфування всієї площі - вертикальне переміщення на глибину різання t .

При обробці плоских похилих і вертикальних поверхонь використовують конічні чашкові круги (рис. 52, и, к).

1.2 Абразивний інструмент

Абразивним інструментом для шліфування є тверді тіла, що мають правильну геометричну форму і складаються з зерен абразивних матеріалів, скріплених між собою зв'язкою.

За формою шліфувальні круги бувають плоскі прямі (для круглого зовнішнього та внутрішнього, плоского шліфування), чашкові циліндричні та чашкові конічні (для плоского шліфування).

Для виготовлення шліфувальних кругів переважно застосовують електрорунд (кристалічний оксид алюмінію Al_2O_3), карбід кремнію SiC (карборунд) та кубічний нітрид бору (ельбор).

Зерна абразивних матеріалів з'єднуються в одне ціле за допомогою різних неорганічних та органічних зв'язок. У практиці широко використовують з неорганічних – керамічну, а з органічних – бакелітову і вулканітову зв'язки. Керамічна складається з вогнетривкої глини, польового шпату, тальку, крейди, кварцу і рідкого скла. Завдяки значній міцності, водостійкості, що дозволяє працювати з застосуванням холодної рідини, і жаростійкості абразивний інструмент на керамічній зв'язці набув переважного поширення. На цій зв'язці виготовляють до 90% шліфувальних кругів.

Абразивний інструмент на бакелітовій зв'язці, що являє собою синтетичну смолу, має велику міцність і пружність, але порівняно низьку теплостійкість (не більше $180^\circ C$). Шліфувальні круги на цій зв'язці використовують для чистових робіт.

Абразивний інструмент на вулканітовій зв'язці, яка складається з каучуку, сірки та інших речовин, має велику міцність і пружність, але низьку теплостійкість. Круги на цій зв'язці можуть бути дуже тонкими і використовуватись переважно для відрізних робіт.

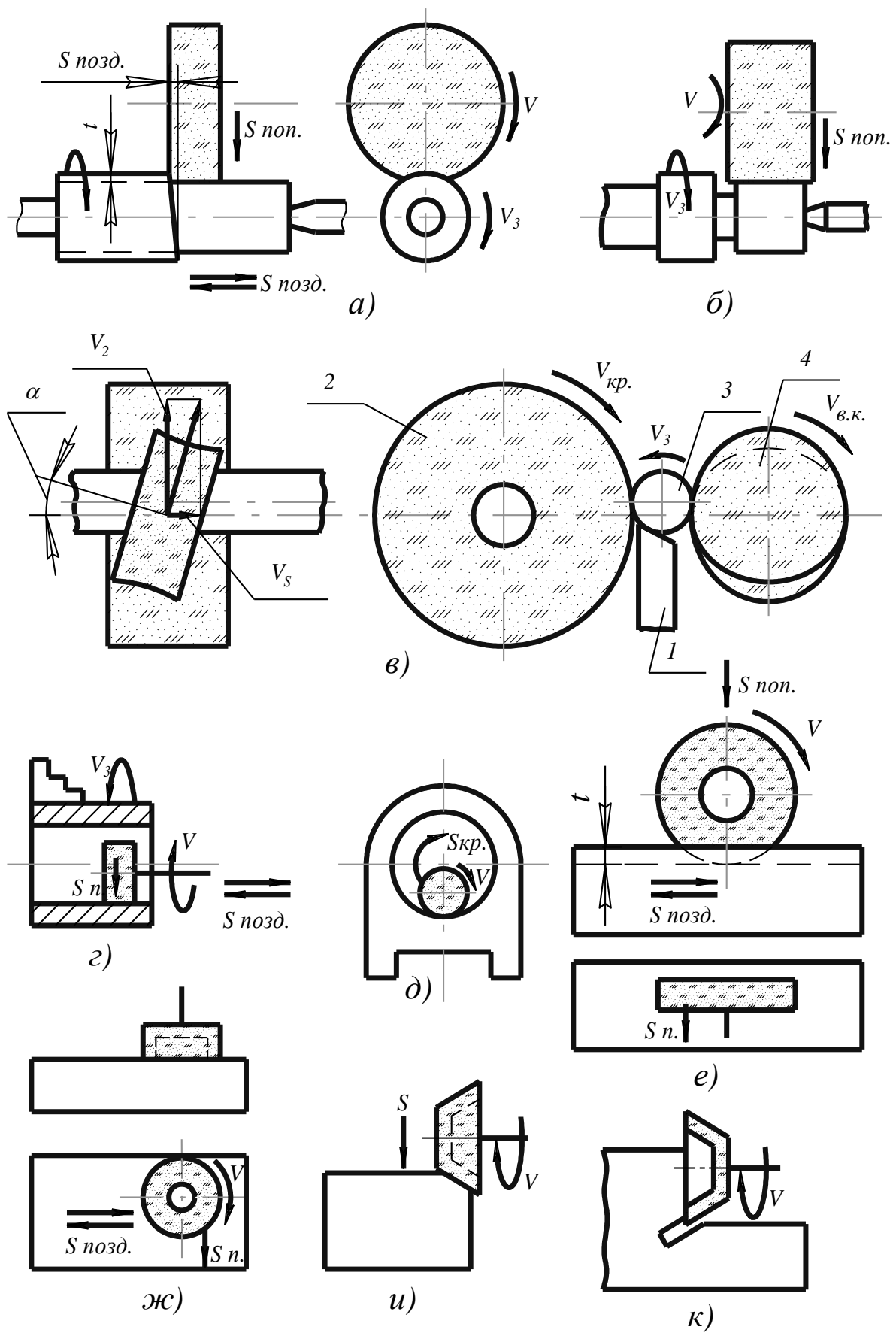


Рисунок 52 - Схеми круглого і плоского шліфування

Міцність зв'язки визначає граничну допустиму швидкість різання (звичайно не більше 50 м/с) а також іншу характеристику шліфувального круга – твердість. Під твердістю абразивного інструмента розуміють опір зв'язки викиданню абразивних зерен зовнішньою силою. Встановлена шкала, в якій є 7 класів твердості: м'який - М, середньом'який - СМ, середній - С, середньотвердий - СТ, твердий - Т, дуже твердий – ДТ, надзвичайно твердий - НТ.

Твердість круга вибирають за правилом: чим твердіший оброблюваний матеріал, тим більш м'яким повинен бути круг, і навпаки.

1.3 Режим різання при шліфуванні

Основними елементами режиму різання при шліфуванні є швидкість різання, подача і глибина різання. Швидкість різання при всіх видах шліфування це колова швидкість $V_{кол}$ шліфувального круга.

При круглому шліфуванні елементами режиму різання служать також колова швидкість заготовки, поздовжня і поперечна подачі (див. рис. 52, а, б). Колова швидкість заготовки V_3 м/хв являє собою колову подачу. Поздовжня подача $S_{позд}$ – величина переміщення заготовки відносно шліфувального круга за один її оберт. Поперечна подача $S_{поп}$ – величина переміщення шліфувального круга в напрямі, перпендикулярному до осі заготовки, що здійснюється в крайніх її положеннях. Вона чисельно дорівнює глибині різання t .

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з будовою і роботою круглошліфувального верстата, його наладкою для шліфування різних поверхонь - циліндричних, конічних; способом закріплення заготовок, способом регулювання величини ходу стола тощо.
2. Під керівництвом майстра налагодити верстат і виконати шліфування заготовки.
3. Скласти звіт про роботу.

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт про виконану роботу повинен вміщувати:

1. Короткі теоретичні відомості про обробку заготовок на шліфувальних верстатах.
2. Схеми обробки заготовок різної форми (циліндричних, конічних) на круглошліфувальних верстатах.
3. Характеристику режиму різання при виконанні практичної роботи по шліфуванню заданої заготовки.
4. Характеристику шліфувального круга, що був використаний при шліфуванні.
5. Висновки про роботу.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПІДГОТОВКИ

1. Сфера застосування шліфувальних робіт.
2. Інструмент для шліфування.
3. Абразивні матеріали.
4. Форма та застосування шліфувальних кругів.
5. Характеристика шліфувальних кругів.
6. Типи шліфувальних верстатів.
7. Режими різання при шліфуванні.
8. Суть та особливості безцентрового шліфування.

Тестові завдання з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів»

Тест 1

Яка з цих властивостей сплавів не відноситься до ливарних:

1. Ударна в'язкість
2. Рідкотекучість
3. Усадка
4. Схильність до ліквідації
5. Схильність до поглинання газів

Тест 2

До яких наслідків може призвести недостатня податливість ливарної форми:

1. До утворення газової пористості у виливках
2. До утворення тріщин у стінках форми
3. До забруднення виливків неметалевими включеннями
4. До утворення усадочних раковин у виливках
5. До жолоблення виливків

Тест 3

До складу формових сумішей додають тирсу з метою:

1. Підвищення міцності форм
2. Підвищення пластичності сумішей
3. Підвищення непригарності формових сумішей
4. Підвищення податливості сумішей
5. Покращення заповнюваності форм металом

Тест 4

Сірий чавун у ливарних цехах машинобудівних заводів плавлять переважно у:

1. Доменних печач
2. Кисневих конверторах
3. Мартенівських печач
4. Вагранках
5. Дугових електропечач

Тест 5

Які дефекти у сталевих виливках складної форми, отриманих литтям у кокіль, найімовірніші:

1. Усадочні раковини
2. Тріщини
3. Усадочна пористість
4. Пригар на стінках виливків
5. Невідповідність розмірів заданим

Тест 6

Який з цих способів лиття є найдоцільнішим при виготовленні масивних виливків із сірого чавуну (наприклад, станин металорізальних верстатів):

1. Лиття в піщано-глинястих формах
2. Лиття в кокілі
3. Лиття в оболонкових формах
4. Лиття за моделями, що витоплюються
5. Лиття під тиском

Тест 7

Який з цих факторів не впливає на здатність рідкого металу заповнювати ливарну форму:

1. Хімічний склад металу
2. Температура металу
3. Матеріал ливарної форми
4. Схильність металу до лінійної усадки
5. Температура ливарної форми

Тест 8

Що з перерахованого не впливає на силу струму при ручному дуговому зварюванні:

1. Марка матеріалу
2. Тип зварного з'єднання
3. Товщина заготовки
4. Положення шва у просторі
5. Діаметр стержня електроду

Тест 9

На якому принципі ґрунтується газокисневе різання металу:

1. На здатності металу плавитися при низькій температурі
2. На здатності металу утворювати тугоплавкі оксиди при окисленні
3. На здатності підігрітого металу горіти на повітрі
4. На здатності підігрітого металу горіти в кисні
5. На високій теплопровідності металу

Тест 10

Ацетиленокисневе полум'я може бути з надлишком:

1. Водню
2. Кисню
3. Азоту
4. Вуглекислого газу
5. Аргону

Тест 11

Який з перерахованих способів є найдоцільнішим для зварювання залізничних рейок при прокладанні довгих безстикових залізничних колій:

1. Зварювання в захисних газах
2. Точкове зварювання
3. Ручне дугове зварювання
4. Стикове зварювання
5. Шовне зварювання

Тест 12

При автоматичному зварюванні під флюсом найважливішим, що характеризує цей спосіб зварювання є:

1. Автоматична подача зварного дроту
2. Автоматичне пересування зварювального агрегату вздовж шва
3. Автоматичне підтримування постійної сили струму
4. Автоматичне запалювання дуги
5. Автоматичне підтримування постійної швидкості процесу зварювання

Тест 13

Сталь 45 відноситься до матеріалів з поганою зварністю тому, що:

1. Має високу температуру плавлення
2. Утворює при зварюванні тугоплавкі оксиди
3. Загартовується при зварюванні
4. Забруднюється шлаковими включеннями
5. Зварний шов поглинає гази

Тест 14

Що з перерахованого не відноситься до режиму різання при фрезеруванні:

1. Швидкість різання
2. Глибина різання
3. Сили різання
4. Величина подачі
5. Ширина фрезерування

Тест 15

Що з перерахованого є елементом режиму різання:

1. Потужність, що витрачається на різання

2. Сили різання
3. Годинна продуктивність
4. Глибина різання
5. Стійкість інструмента

Тест 16

Який з перерахованих процесів використовується для обробки зовнішніх поверхонь обертання:

1. Фрезерування
2. Протягування
3. Розточування
4. Шліфування
5. Стругання

Тест 17

Щоб зробити отвір у суцільному металі використовують:

1. Токарні різці
2. Зенкери
3. Протяжки
4. Свердла
5. Розвертки

Тест 18

Щоб зробити шліцьовий отвір у деталі, наприклад, зубчастому колесі при його масовому виробництві, використовують:

1. Фрезерування
2. Протягування
3. Стругання
4. Зенкерування
5. Шліфування

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

МАКРОАНАЛІЗ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: ознайомлення з методикою проведення макроструктурного аналізу; одержання практичних навичок виготовлення макрошліфів, вивчення поверхонь деталей, зламів, макрошліфів, виявлення макродефектів, неоднорідностей, причин руйнування металу; отримання навичок зарисовки макроструктур.

Матеріали та обладнання. Для виконання цієї роботи студентам надаються зразки зламів і макрошліфів, лупи з п'яти та десятиразовим збільшенням, відбитки на фотопапері, що зафіксували ліквідацію сірки.

Теоретичні відомості. Макроскопічний аналіз (макроаналіз) металів і сплавів полягає в дослідженні їх будови неозброєним оком або за допомогою невеликих збільшень (до 30 разів). Макроаналіз дозволяє оцінити якість матеріалу, виявити наявність у ньому макродефектів, характер його попередньої обробки (лиття, обробка тиском, різання, зварювання, наплавлення, термічна і хіміко-термічна обробка та ін.), структурну і хімічну неоднорідність, волокнистість, причини і характер руйнації. Структура матеріалів, що спостерігається неозброєним оком або при невеликих збільшеннях, називається макроструктурою. Її можна зафіксувати фотознімком або рисунком.

За допомогою макроаналізу можна дати загальну оцінку стану великих поверхонь матеріалу або деталі в цілому і вибрати невеликі найбільш важливі та типові ділянки для подальшого поглибленого вивчення. Макроаналіз проводять шляхом вивчення зламів, макрошліфів або зовнішніх поверхонь заготовок і деталей.

Зовнішні, або поверхневі, макродефекти розташовані безпосередньо на поверхні виробів. Якщо вироби отримані методом лиття, то на їх поверхні найбільш часто зустрічаються такі дефекти:

1) *пригар (burning-in, pickup)*, що у вигляді твердої і важковідокремлюваної кірочки утворюється на поверхні вилівка як результат фізичної або хімічної взаємодії металу, формової суміші та шлаку;

2) *усадочні пустоти (pipe defect, contraction cavity)* (раковини, пори), що утворюються в результаті усадки металу (зменшення об'єму) при його твердненні;

3) *газові раковини (бульбашки) (bleb, blowhole)*, які з'являються в металі під час його кристалізації внаслідок як значної газомісткості самого металу, так і проникнення в метал газів, які виділяються з ливарної форми;

4) *ужимини (marring, veining)* – порожнини, заповнені формувальним матеріалом;

5) *тріщини (crack, stress crack)*, що з'являються як результат високих напружень у виливках через опір форми їх усадці (неподатливості форми), а також неоднакових швидкостей охолодження різних частин литої заготовки;

б) *неметалеві включення (nonmetallics)*, що утворюються в результаті взаємодії компонентів сплаву, наприклад заліза, із розчиненими в ньому киснем, сіркою, азотом та внаслідок попадання шлаку і формової суміші при руйнуванні форми.

У пластично деформованих виробах залишається частина дефектів литого металу. Дефекти, що залишилися, при пластичному деформуванні металу видозмінюються. Усадочні пустоти перетворюються в *розшарування*. Деякі неметалеві включення (а також газові бульбашки) з поверхні окислені і тому не заварюються в процесі гарячої обробки тиском, витягуються й утворюють прямі тонкі штрихи-тріщинки глибиною не більше 1,5 мм і дов-

жиною від долей міліметра до декількох сантиметрів. Такі тріщинки, розташовані в напрямку деформування, називаються *волосовинами*. У деяких легованих сталях виявляються *флокени* (*snow flakes*) – тонкі тріщини, що у поперечному перерізі являють собою овальні плями сріблясто-білого кольору. Вони особливо добре спостерігаються на зламах і протравлених макрощліфах. Походження флокенів пов'язано з поглинанням водню рідкою сталлю, його сегрегацією в місцях великих спотворень кристалічної ґратки затверділої сталі. Це призводить до появи значних напружень і, як наслідок, тріщин при пластичній деформації сталі, а також при її нерівномірному охолодженні або фазових перетвореннях. До дефектів пластично деформованого металу відносять також сильно розгалужені, проникаючі у глиб металу тріщини і раковини, викликані перепалом (тобто окисненням металу по межах зерен); надриви, обумовлені надмірно великим ступенем деформації; окалину – прошарки окисленого металу (якщо вона втиснена в метал, на його поверхні утворюється рябизна).

У термічно обробленому металі часто виявляються знеуглецювання і гартівні тріщини. Знеуглецювання поверхневих шарів сталевих виробів є результатом окисної дії пічного газового середовища. На поверхні виробів виникають ділянки зі зниженою твердістю – м'які плями. Гартівні тріщини мають зигзагоподібний характер, часто утворюють сітку. Краї гартівних тріщин, на відміну від тріщин гарячедеформованого металу, не знеуглецюються, оскільки такі тріщини утворюються в процесі загартування при охолодженні виробів до температур нижче 100 °С або після повного охолодження.

У зварних виробках основними дефектами є тріщини, як результат високих напружень, і непровар. *Непровар* (*faulty fusion*) – місцева відсутність з'єднання основного металу і наплавленого. Цей дефект виникає при забрудненні поверхонь, що зварюються, або недостатньому розігріві основного металу. Можливий також перепал через високу температуру нагрівання металу в процесі зварювання. Він утворюється при порушенні режиму теплової обробки (висока температура нагрівання в кисневому середовищі), що викликає інтенсивне окислювання металу вздовж границь зерен. Це робить метал крихким. Перепал є дефектом непоправним.

За результатами дослідження поверхонь виробів робиться мотивований висновок про можливість їхньої подальшої експлуатації.

Внутрішні дефекти, що можуть призвести до руйнації виробу, виявляються при вивченні *зламів* (*breaking*).

Зламом називається поверхня, що утворюється внаслідок руйнації металу. Злами металів можуть істотно відрізнятися кольором. Так, сталі і білі чавуни, в яких весь вуглець зв'язаний у цементиті, мають злам світло-сірого кольору. У графітізованих сталях і чавунів, у яких вуглець знаходиться переважно у вигляді графіту, злам чорного кольору.

На поверхні зламів можна бачити дефекти, що сприяли руйнації. Залежно від складу, будови металу, наявності дефектів, умов обробки й експлуата-

ції виробів злами можуть мати в'язкий чи крихкий характер або утворитися від втоми.

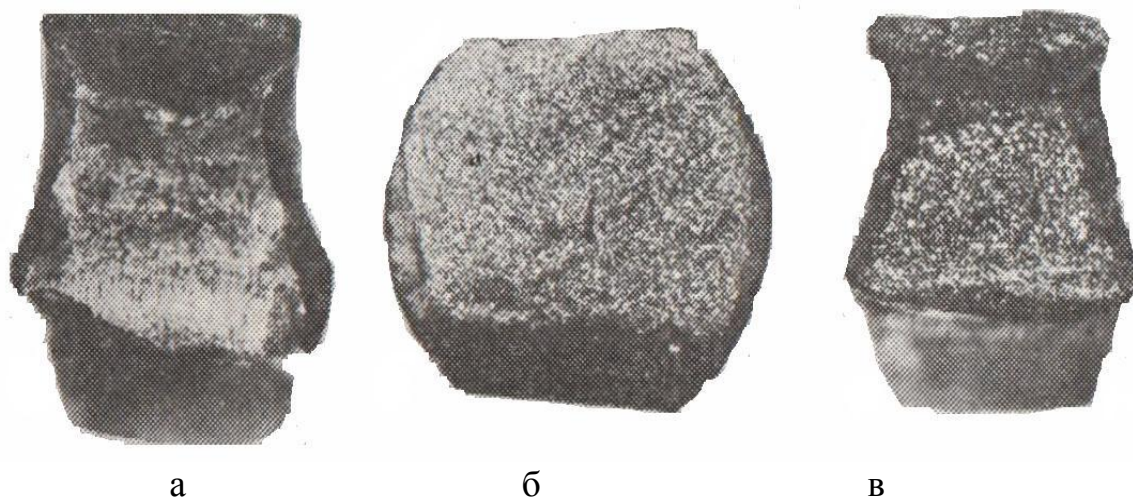


Рисунок 1.1 – Злами сталі: а – в'язкий; б – крихкий; в – змішаний

В'язкий (волохистий) злам (рис. 1.1, а) має бугристо-згладжений рельєф і свідчить про значну пластичну деформацію, що передуює руйнації. З вигляду в'язкого зламу не можна судити про форму і розміри зерен металу.

Крихкий (кристалічний) злам (рис. 1.1, б) характеризується наявністю на поверхні плоских блискучих ділянок (фасеток). Оскільки руйнація протікає без помітної пластичної деформації і форма зерна не спотворюється, то на крихкому зламі видно вихідні форми і розмір зерен металу. При цьому руйнація може відбуватися через зерна (транскристалічний злам) або по границях зерен (інтеркристалічний, або міжкристалічний, злам). Руйнація по границях зерен має місце при наявності на них неметалевих включень (фосфіди, сульфіди, оксиди тощо) або інших виділень, що послаблюють міцність меж зерна.

Крихка руйнація найбільш небезпечна, тому що відбувається найчастіше при напруженнях нижче межі текучості матеріалу. Її виникненню сприяють наявність поверхневих дефектів, конструктивні прорахунки (різка зміна перерізу, товстостінність деталей), низька температура й ударні навантаження при роботі, крупнозернистість металу, виділення по границях зерен крихких фаз, міжзеренна корозія. Різновидами крихкого зламу є нафталіноподібний, каменеподібний, фарфороподібний та ін.

Нафталіноподібний злам – транскристалічний із значним зерном і вибіркоvim блиском, подібним блиску кристалів нафталіну. Він свідчить про підвищену крихкість сталі і спостерігається в легованих, переважно швидкорізальних сталях. Причиною виникнення такого зламу є перегрів сталі, що викликає укрупнення зерен і утворення певної орієнтації структурних складових (текстура). Зовнішньо в зламі текстура виявляється як одне велике зерно. Нафталіноподібний злам усувається шляхом багаторазових повторних фазових перекристалізацій металу.

Крихкий злам називають *каменеподібним*, якщо метал має грубозернисту будову, а руйнація носить переважно міжкристалістичний характер. Причина утворення такого зламу – перерозподіл домішок при перегріві металу з виділенням їх у приграничних ділянках зерен. Каменеподібний злам можна усунути шляхом гомогенізувального відпалу.

Зазвичай злами бувають змішаними. При змішаному зламі (рис. 1.1, в) на його поверхні спостерігаються ділянки в'язкої та крихкої руйнації.

Фарфороподібний злам характерний для правильно загартованої сталі, вигляд зламу матовий, дрібнозернистий.

Від утоми злам (рис. 1.2) утвориться в результаті тривалого впливу на метал напружень, які циклічно змінюються в часі, і деформацій. Злам складається з трьох зон: зародження тріщини, поширення тріщини від утоми і доламу. Механізм руйнації від утоми такий. Тріщина при руйнації

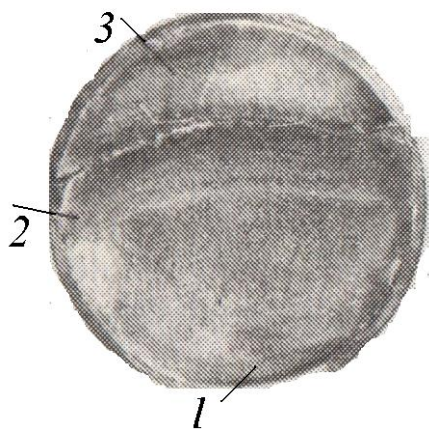


Рисунок 1.2 – Злам штока компресора від утоми:

- 1 – зона зародження тріщини;
- 2 – зона поширення тріщини;
- 3 – зона доламу.

від утоми виникає в місцях, де є концентратори напружень або дефекти. Перша зона плоска і гладенька. Збільшуючись при роботі деталі, тріщина утворює зону поширення від утоми з характерними концентричними борозенками або дугами і дрібнозернистим, фарфороподібним зламом. Найчастіше вона має окремі ділянки гладенької притертої поверхні. Долам відбувається раптово, коли ослаблений тріщиною перетин деталі не здатний витримати механічного навантаження. Долам буває в'язким або крихким.

У практиці широко використовують такий метод макроаналізу як дослідження макрошліфів. Макрошліф – це зразок із плоскою шліфованою і протравленою поверхнею, вирізаний із досліджуваної ділянки деталі або заготовки. Його одержують таким способом. На металорізальному верстаті або ножівкою вирізують зразок, одну з плоских поверхонь якого вирівнюють напилком або на плоскошліфувальному верстаті. Потім зразок шліфують вручну або на шліфувально-полірувальному верстаті шліфувальною шкуркою різної зернистості. Шліфування шкуркою проводять в одному напрямку, після чого потрібно змити залишки абразиву водою. Переходячи на дрібнішу шкурку, повертають зразок на 90° і проводять обробку до повного зникнення рисок, утворених попередньою шкуркою. Зразок проми-

вають водою, просушують і піддають глибокому або поверхневому травленню. Перед травленням зразок знежирюють і очищають, як правило, етиловим спиртом.

Деякі реактиви, що використовуються для глибокого травлення макрощліфів, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Реактиви, що застосовують для травлення макрощліфів, і особливості травлення

Сплави	Реактив, його призначення та склад		Особливості травлення
Вуглецеві та низьколеговані сталі, чавуни	Виявлення ліквациї, дефектів, дендритності, неоднорідності, волокнистості	10...20 мл сірчаної кислоти, 90...80 мл води	Температура - 20 або 70°C, тривалість - декілька годин
Високолеговані і корозійностійкі сталі	Виявлення загальної макроструктури, дефектів, ліквациї, волокнистості, дендритності	10 мл сірчаної кислоти, 50 мл соляної кислоти, 40 мл води	Киплячий розчин, тривалість - 10...60 хв.

Реактив активно взаємодіє з тими ділянками, де є дефекти і неметалічні включення, протравлює їх більш сильно і глибоко. Поверхня макрощліфа утворюється рельєфною. За допомогою реактивів для глибокого травлення виявляються навіть внутрішні дефекти (пори, раковини, ліквация, волосовини, тріщини, флокени та ін.), що не виходять безпосередньо на поверхню деталі. Поверхнєве травлення, проведене менш агресивними реактивами, дозволяє виявити в сталях, чавунах і кольорових сплавах ліквацию, макроструктуру литого або деформованого металу, дефекти, якість зварних з'єднань, структурну неоднорідність матеріалу, підданого термічній або хіміко-термічній обробці.

Протравлений макрощліф промивають водою для видалення протравлювача, обробляють спиртом, висушують із метою запобігання корозії.

Макроаналіз макрощліфів дозволяє виявити *структурну* (наприклад, у сталі, загартованої струмами високої частоти) або *хімічну* (наприклад, у сталі, науглецьованої або в наплавленій зносо- і корозійностійким сплавом) *неоднорідність*, що виникла при обробці готових виробів. Хімічна неоднорідність сплаву, що виникає при його виробництві, називається *ліквациєю* (*liquation, segregation, sweat*). Особливо схильні до ліквациї в сталі вуглець, сірка і фосфор.

Важливо знати розподіл у сталі шкідливих домішок сірки і фосфору, що створюють істотний вплив на структуру металу і його властивості. Сірка викликає червоноламкість сталі, тобто крихкість при високих температурах, а фосфор – холодноламкість, тобто крихкість при низьких температу-

рах. Тому вміст сірки і фосфору в сталях строго регламентується. Характер розподілу названих елементів залежить від процесу кристалізації металу у виливку або у зварному з'єднанні і від виду обробки тиском.

Загальну ліквідацію вуглецю, фосфору і сірки дозволяє оцінити обробка макрошліфу реактивом Гейна (8 г хлористого аміаку на 100 мл води). При взаємодії шліфа і реактиву, залізо з поверхневого шару сталі переходить у реактив, на його місце осаджується мідь, що захищає сталь від подальшого впливу реактиву.

Місця скупчень вуглецю, сірки і фосфору менше захищені міддю і протравлюються сильніше. Після видалення під струменем води шару міді, ці ділянки виглядають темніше (рис. 1.3.).

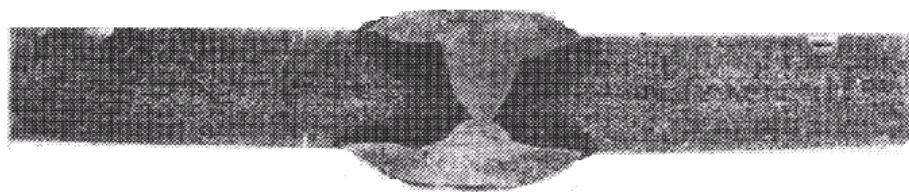


Рисунок 1.3 – Хімічна неоднорідність зварного з'єднання

Ліквідацію сірки в сталі або чавуні можна оцінити за методом Баумана (реактив - 5 мл сірчаної кислоти, 100 мл води). Нефіксований фотопапір змочують реактивом, притискають емульсією до макрошліфа на 1...10 хв, промивають, фіксують, знову промивають і висушують.

Сірка знаходиться в сталі в складі сульфідів (Fe і Mn). При взаємодії їх із сірчаною кислотою, що залишилася на фотопапері, утворюється сірководень ($\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$). Сірководень взаємодіє з бромистим сріблом фотоемульсії ($2\text{AgBr} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{HBr} + \text{Ag}_2\text{S}$). Темні ділянки, що утворюються Ag_2S , виявляють форму і характер розподілу сірки в досліджуваному металі. На рис. 1.4 показано макрознімок (відбиток, зроблений за методом Баумана), на якому чітко видно ліквідацію сірки по перерізу рейки.

З ліквідацією хімічних елементів також тісно пов'язані *дендритність* структури литих сплавів і *волокнистість* структури деформованих металів. Дендритами називають кристали (зерна) литого металу, що мають деревоподібну форму. Шкідливі домішки у вигляді неметалевих включень (сульфідів, фосфідів, оксидів) і деякі легувальні елементи накопичуються частіше всього в міждендритних просторах.



Рисунок 1.4 – Ликвація сірки в сталі

Продукцією металургійних підприємств, як правило, є метал, що перетерпів гарячу обробку тиском – кування або прокатування. При деформуванні дендрити, спочатку дезорієнтовані, поступово витягуються вздовж напрямку деформації. Витягуються і неметалеві включення. У результаті цього формується типова для прокатуваного металу стрічкова, волокниста структура. Таку волокнисту будову металу називають *первинною стрічковістю*. Повторна стрічковість утворюється в доевтектоїдній сталі (та в деяких легированих при їх охолодженні від високих температур) у результаті виділення надлишкового фериту з аустеніту на витягнутих неметалевих включеннях. Макроаналіз дозволяє встановити і спосіб виготовлення деталей – обробка тиском (рис. 1.5, а) або різанням (рис. 1.5, б).

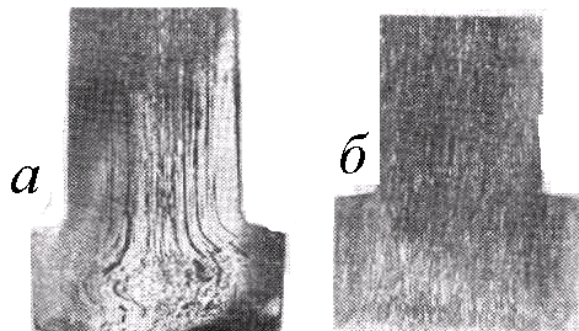


Рисунок 1.5 – Макроструктура болтів, виготовлених:
а – штампуванням; б – різанням

Волокниста будова металу обумовлює різко виражену анізотропію його властивостей (розходження їх показників вздовж і поперек волокна). Пластичність, ударна в'язкість і міцність зразків, вирізаних вздовж волокон, вище. Тому відповідальні деталі, особливо які працюють при високих динамічних навантаженнях (колінчасті вали, шестерні, шатуни, молотові штампи, клапани, гаки тощо), виготовляють так, щоб волокна в них не перерізилися, а відповідали конфігурації виробу. При обробці різанням дета-

лі з деформованої сталі її волокна перерізаються, що різко зменшує міцність деталі.

Завдання на роботу

1. Ознайомитися з методикою приготування макрошліфів.
2. Вивчити колекцію зразків з основними дефектами, що спостерігаються на їх поверхні. Замалювати ці дефекти.
3. Дослідити і замалювати макроструктуру макрошліфів із хімічною неоднорідністю (зварні з'єднання, деталі, зміцнені термічною, хіміко-термічною обробкою або наплавленням), деталей, виготовлених різанням і обробкою тиском.
4. Оцінити ліквідацію на макрошліфі згідно з методом Баумана.
5. Вивчити і замалювати основні види зламів (в'язкий, крихкий, від втоми).
6. Зробити висновки і скласти звіт по роботі відповідно до завдань (у звіті обов'язково повинні бути зазначені тема, мета роботи, пояснення до кожної розглянутої макроструктури).

Контрольні питання для самопідготовки

1. Які дослідження дозволяє виконувати макроструктурний аналіз металів і сплавів?
2. Яким методом досліджується ліквідація сірки в металі?
3. Що можна дослідити методом зламів зразків металів і сплавів?
4. Як досліджується волокниста макроструктура металів?
5. Що досліджується методом Баумана?
6. Яким спостерігається злам металу від втоми?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

МІКРОАНАЛІЗ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: *освоїти технологію приготування мікрошліфів, вивчити будову металографічного мікроскопа і навчитись на ньому працювати, вивчити мікроструктуру сплаву до та після травлення і навчитись зарисовувати найпростіші мікроструктури.*

Матеріали та обладнання. Для проведення даної лабораторної роботи студентам надаються зразки сплавів, набір шліфувального паперу, верстат для полірування зразків, паста ГОІ, реактив для протравлювання шліфів, спирт, фільтрувальний папір, металографічний мікроскоп, набір об'єктивів і окулярів.

Теоретичні відомості. Мікроскопічний аналіз (мікроаналіз) металів і сплавів полягає в дослідженні будови (мікроструктури) металу за допомогою оптичного (при збільшенні від 50 до 1500 разів) або електронного (при збільшенні до 100000 разів) мікроскопа. Між мікроструктурою металів та їх властивостями існує чіткий зв'язок. Мікроаналіз дозволяє визначити форму і розміри окремих зерен і фаз, а також їх вміст, відносно розташування, виявити наявність у металі включень, мікрodefektів і судити про властивості металів і сплавів, про попередню обробку цих матеріалів (лиття, деформування, термічна обробка). Мікроаналізу піддають спеціально підготовлені зразки, які називають **мікрошліфами**.

Мікрошліфи готують у такий спосіб. Місце вирізання зразка вибирають залежно від задач дослідження (у ряді випадків порядок і місце вирізання строго регламентуються Держстандартами). У випадку з'ясування причин руйнації деталей під час експлуатації зразки вирізають поблизу місця руйнації ножівкою, фрезою, різцем, алмазними, вулканітовими кругами або електроіскровим методом. При вирізанні і наступному шліфуванні зразка неприпустиме значне нагрівання (вище 150 °С), тому що воно може викликати суттєві структурні зміни металу.

Зазвичай зразки мають форму циліндра або чотиригранника з лінійними розмірами 10...20 мм. У випадку, коли розміри мікрошліфів малі (дріт, тонкий лист, дрібні деталі), останні закріплюють у спеціальних затискачах (струбцинах) або заливають в оправки такими матеріалами як сплав Вуда (50 % Ві, 25 % Рb, 12,5 % Sn, 12,5 % Сd) з температурою плавлення 68 °С, епоксидні або акрилові смоли, пластмаси.

Поверхню зразка роблять плоскою і **шліфують** вручну або на верстатах наждачним папером різної зернистості (різних номерів): спочатку, для чорнового шліфування, беруть більш грубий папір (номери 12 ... 6), а потім, для чистового, заключного шліфування – папір номерів 5 ... 3 (номер означає приблизний розмір абразивних зерен в сотих частках міліметра).

Якщо шліфування ведуть вручну, шліфувальний папір кладуть на рівну плоску поверхню (наприклад, на товсте скло) і зразок переміщують по ньому в одному напрямі, перпендикулярному до слідів (рисок), що залишилися після попередньої обробки до повного зникнення цих слідів. Після шліфування залишки абразиву змивають водою з поверхні шліфа. Потім для видалення дрібних рисок, що залишилися після шліфування найдрібнішою шкуркою, зразок *полірують*.

Існуючі способи полірування засновані на механічному або електрохімічному способі видалення матеріалу, або ж на їх комбінації. Механічне полірування ведуть на полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий тканиною (фетр, оксамит, тонке сукно). Тканину періодично поливають водною суспензією, що містить дрібні абразивні частки оксидів алюмінію, хрому або заліза. Добрим полірувальним матеріалом є алмазні пасти, паста ГОІ. Коли поверхня набуває дзеркального блиску, полірування припиняють. На якісно відполірованому мікрошліфі при спостереженні під мікроскопом відсутні риси, подряпини та інші механічні дефекти.

Мікрошліф промивають водою, потім спиртом, просушують стиснутим повітрям або фільтрувальним папером. Після полірування під мікроскопом спочатку вивчають нетравлений шліф, потім – протравлений.

При вивченні нетравленого шліфа можна виявити різноманітні мікрорел'єфи, наприклад мікротріщини, та неметалеві включення (оксиди, сульфіди, графіт - рис. 2.1) в металевій основі, яка має світлий колір при спостереженні під мікроскопом. Після перегляду нетравленого мікрошліфа його піддають травленню, щоб виявити мікроструктуру металевої основи шліфа. Для сталі та чавуну найчастіше застосовують 2...5%-овий розчин азотної кислоти в етиловому спирті. Поліровану поверхню шліфа занурюють у реактив на 3 ... 10 с до утворення рівного матового відтінку без наявності будь-яких плям. Потім шліф промивають водою, спиртом і просушують фільтрувальним папером.

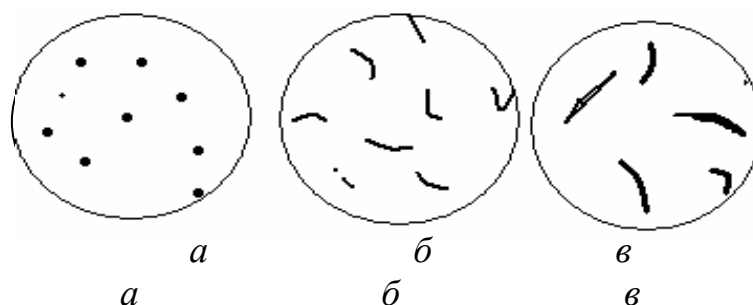


Рисунок 2.1 – Неметалеві включення в сталі та чавуні
a – оксиди; *б* – сульфіди; *в* – графіт.

Внаслідок неоднакової протравлюваності різних структурних складових на поверхні мікрошліфа утворюється мікрорельєф, складові якого по – різному відбивають світло, що падає на поверхню шліфа через оптичну систему

мікроскопа. Структура, що розчинилась на більшу глибину, під мікроскопом має темний колір, а структура, яка розчинилась менше, має світлий колір (рис. 2.2, а, в). Границі зерен будуть видні у вигляді тонкої темної сітки (рис. 2.2, б, г).

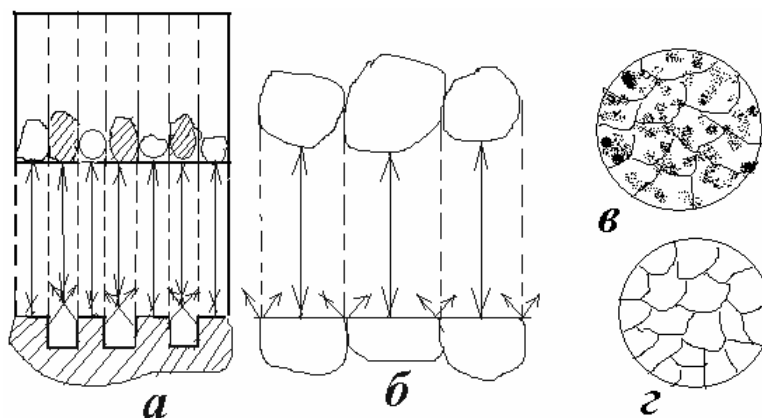


Рисунок 2.2 – Схеми, які пояснюють видимість протравлених шліфів під мікроскопом: а, в – зерна у впадинах – темного кольору, виступаючі – світлого; б, г – границі зерен металів і твердих розчинів.

Будова металу, що спостерігається під мікроскопом, називається **мікρο-структурою** (*microstructure*), яка є зображенням досить малої ділянки поверхні, складена з відбитих від неї світлових променів.

Загальний вигляд металографічного мікроскопа МИМ-7 показано на рис. 2.3. Він складається з таких основних систем: оптичної, освітлювальної з фотографічною апаратурою і механічної.

Оптична система мікроскопа включає об'єтив і окуляр, від яких залежить збільшення мікроскопа, і ряд допоміжних елементів (призми, дзеркала, лінзи й ін.). Об'єтив, що є складним сполученням лінз, дає дійсне збільшене обернене зображення мікροструктури мікροшліфа. Окуляр складається з декількох лінз і призначений для збільшення зображення, отриманого об'єктивом, і перетворення його з оберненого в пряме. Збільшення мікроскопа визначається добутком збільшення окуляра на збільшення об'єктива.

В освітлювальну систему мікроскопа входять джерело світла, серія лінз, світлофільтрів і діафрагм. Джерелом світла є електрична лампа (17 В), що включається в мережу через понижувальний трансформатор.

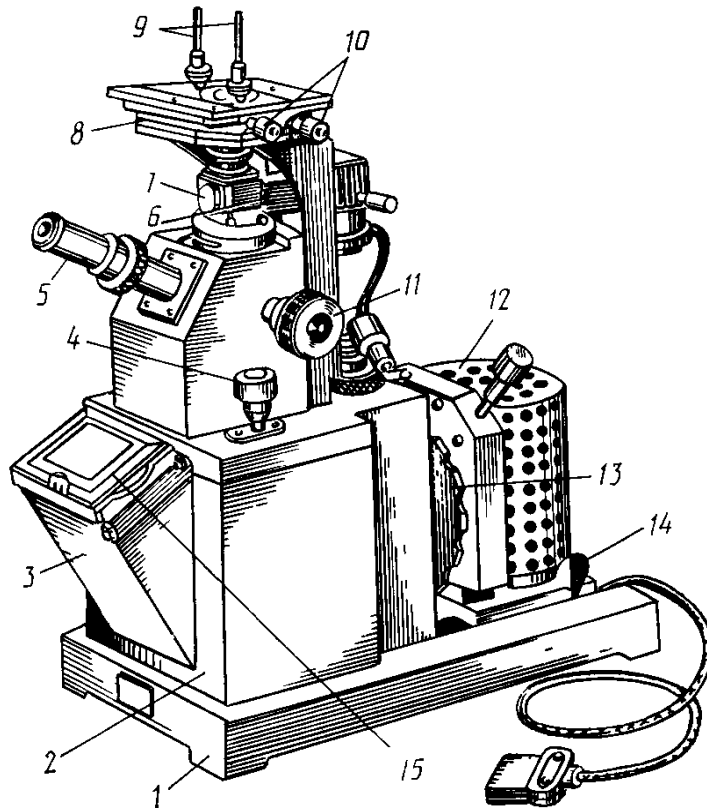


Рисунок 2.3
вигляд мікрос-
МІМ – 7

1 - основа, 2
- фотокамера,

3 - корпус, 4 - мікро-
метричний гвинт, 5 - візуальний тубус з окуляром, 6 - ручка ілюмінатора, 7
- ілюмінатор, 8 - предметний столик, 9 - клеми, 10 - гвинти переміщення
столика, 11 - макрометричний гвинт, 12 - освітлювач, 13 - ручка світوفіль-
трів, 14 - стопорний пристрій освітлювача, 15 - рамка з матовим склом.

Загальний
копу

- корпус, 3
4 - мікро-

Вивчення протравленого шліфа дозволяє вирішувати ряд задач при аналізі мікроструктурної будови металу або сплаву: встановлювати кількість структурних складових сплаву та характер їх розташування; величину зерен (шляхом їх зіставлення зі спеціально встановленою шкалою або безпосереднім вимірюванням, знаючи величину збільшення); вид термічної обробки і правильність вибору її режиму (температури нагрівання, швидкості охолодження); приблизний вміст деяких елементів, наприклад, вуглецю у відпалених сталях.

Між структурою та властивостями металів і сплавів існує пряма залежність. Тому в практиці металознавства мікроаналіз є одним з основних методів, які дозволяють вивчати будову металів і сплавів, а, отже, отримувати дані про їх властивості.

Завдання на роботу

1. Вивчити будову металографічного мікроскопа і засвоїти

- прийоми роботи на ньому.
2. Приготувати мікрошліф (наприклад, сірого чавуна або сталі), вивчити і зарисувати його структуру до і після травлення.
 3. Зробити висновки і скласти звіт по роботі відповідно до вищевказаних пунктів завдань.

Зміст звіту

У звіт потрібно включити:

- технологію приготування мікрошліфів,
- реактив, який застосовується для травлення чавуну та сталі,
- схеми мікроструктур і їх описання.

У висновках вказати:

- на особливості будови досліджуваного металу до і після травлення,
- наявність неметалевих включень, дефектів і їх вплив на властивості металу.

Контрольні питання для самопідготовки

1. З якою метою проводиться мікроструктурний аналіз металів і сплавів?
2. Технологія виготовлення мікрошліфів.
3. З якою метою мікрошліфи протравлюють?
4. Які реактиви застосовуються для протравлення шліфів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТОЧОК І ПОБУДОВА ДІАГРАМИ СТАНУ СПЛАВІВ "СВИНЕЦЬ - СУРМА"

Мета роботи: *освоїти методику побудови кривих охолодження металів і сплавів, визначення на них критичних точок методом термічного аналізу; навчитися будувати та аналізувати діаграми стану подвійної системи на прикладі сплаву свинець – сурма.*

Матеріали та обладнання. Для виконання даної лабораторної роботи необхідні такі матеріали та обладнання: електрична піч, термопара, тиглі з навісками свинцю, сурми та їх сумішей, мілівольтметр зі шкалою від 0 до 500 мВ.

Теоретичні відомості.

При нагріванні відбувається плавлення твердих тіл, при охолодженні – їх кристалізація (*crystallization*) (затвердіння). Будь-які зміни в стані металу або сплаву (фазові, структурні перетворення) супроводжуються тепловим ефектом. При нагріванні відбувається поглинання тепла, а при охолодженні – виділення тепла.

Температури, при яких відбуваються зміни стану сплаву, називаються критичними. Реєстрація зміни температури сплаву в часі здійснюється термічним методом.

При термічному аналізі за експериментальними даними будують графіки залежності зміни температури сплаву в часі в процесі охолодження (або нагрівання) з постійною швидкістю. Такі графічні залежності називаються кривими охолодження або нагрівання.

При охолодженні аморфного тіла, наприклад смоли або скла, його температура буде спадати поступово і безперервно, перехід з рідкого стану в твердий буде поступовим. Графік нагрівання матиме вигляд кривої I, показаної на рис. 3.1, а. Крива охолодження II буде являти собою дзеркальне відображення кривої нагрівання.

Кристалічні речовини мають певну фіксовану температуру плавлення або кристалізації. Графік нагрівання чистого металу, побудований в осях координат час - температура, матиме вигляд кривої I, показаної на рис. 3.1, б.

Графік охолодження чистого металу буде являти собою дзеркальне відображення графіка нагрівання (рис. 3.1, б, крива II).

Точка 1 на графіку охолодження відповідає початку кристалізації, точка 2 - закінченню кристалізації. На графіку нагрівання точка 1 відповідає початку плавлення, а точка 2 – закінченню плавлення. Процеси кристалізації і плавлення здійснюються при постійних температурах (на

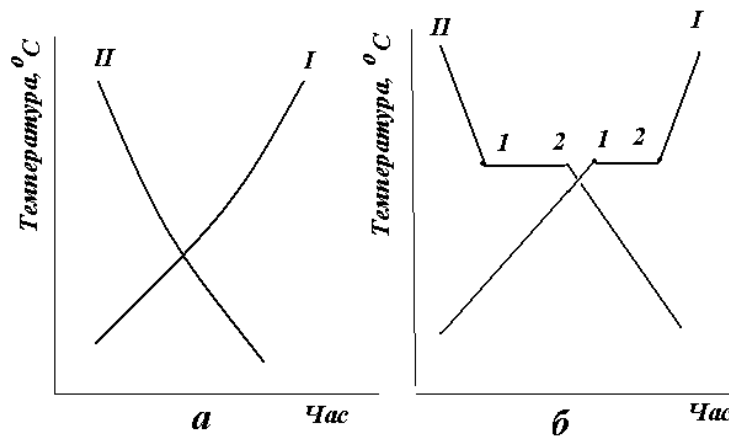


Рисунок 3.1 – Графіки нагрівання і охолодження:
 а - аморфного тіла; б - кристалічного тіла (чистого металу).

графіках – горизонтальна площадка, нижче якої метал знаходиться в твердому стані, вище – в рідкому). Ці температури, а також температури будь-яких інших змін в стані металу або сплаву, які спостерігаються в ньому при нагріванні або охолодженні і супроводжуються поглинанням або виділенням тепла, як і відповідні їм точки на графіках нагрівання або охолодження, називаються критичними.

По критичних точках температурних кривих (наприклад, початок або кінець кристалізації) будують діаграму стану сплаву.

Діаграма стану сплавів (*constitution diagram, equilibrium diagram*) - це графічне зображення зміни структури і фазового складу сплавів в залежності від температури та концентрації.

На рис. 3.2 зображена діаграма стану сплавів свинець – сурма в координатах температура (°C) - концентрація компонентів (%). Початок осі абсцис (вісь концентрацій) відповідає 100% свинцю і 0% сурми; кінець осі абсцис - 0% свинцю і 100 % сурми.

Лінію ACB, по якій рідкий сплав при охолодженні починає кристалізуватися (твердіти), називають лінією ліквідусу (*liquidus line*) (ліквідус - рідина). Лінію DCE, по якій закінчується кристалізація сплаву, називають лінією солідус (*solidus*) (солідус - твердий).

Сплав з концентрацією компонентів: Sb = 13 %, Pb = 87 % називається евтектичним (від грецького - легкоплавкий). Евтектичними називаються сплави, для яких характерно:

1. Початок і кінець кристалізації відбуваються при одній і тій же температурі (точки ліквідус та солідус збігаються);

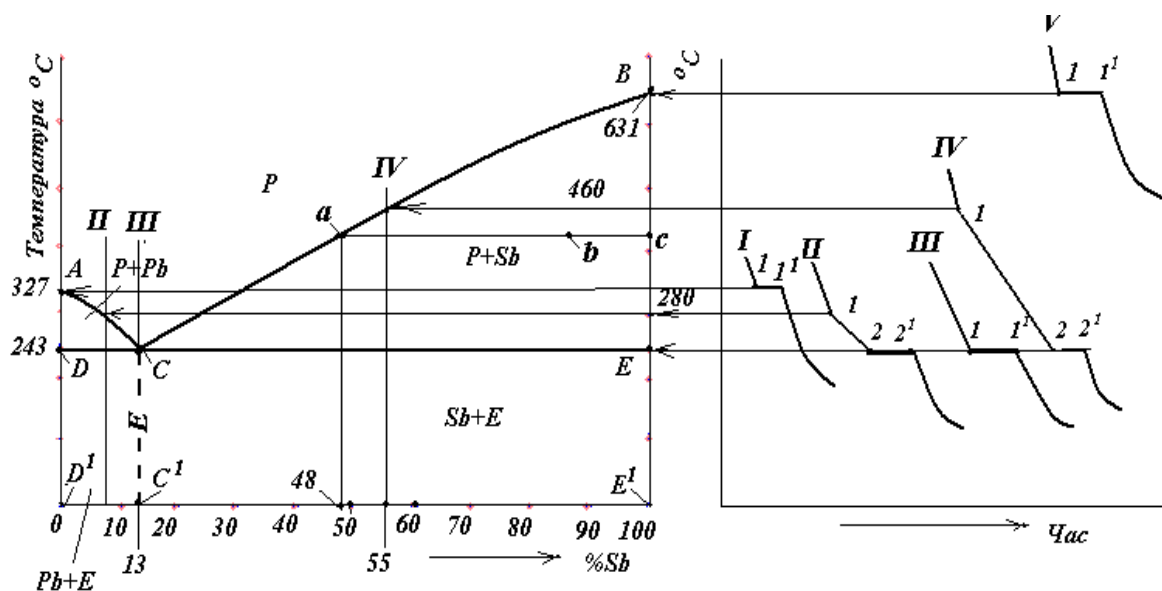


Рисунок 3.2 – Діаграма стану та криві охолодження сплавів свинець – сурма

2. Найменша температура плавлення серед сплавів даної системи;
3. Структура таких сплавів є механічною сумішшю компонентів (в даному випадку свинцю та сурми).

Сплави, які мають концентрацію сурми менше, ніж евтектичний (менше 13%) і розміщені на діаграмі лівіше точки С називаються доевтектичними. Сплави, що мають концентрацію сурми більше евтектичного і розміщені правіше точки С на діаграмі, називаються заевтектичними.

З діаграми видно, що доевтектичні сплави мають температури кристалізації (або плавлення) по лінії АС; заевтектичні - по лінії СВ. Кінець кристалізації всіх сплавів закінчується утворенням евтектики (лінія DCE).

Сплави різної концентрації мають різну структуру, а отже і різні властивості. Вище лінії АСВ сплави будуть рідкими. На ділянці АСД буде рідкий сплав з кристалами свинцю, на ділянці СВЕ буде рідкий сплав з кристалами сурми. Нижче лінії DCE буде твердий сплав.

По лінії СС¹ – евтектичний сплав, на ділянці DCC¹D¹ – сплав складається з кристалів евтектики і кристалів свинцю, це сплав доевтектичний. На ділянці СЕЕ¹С¹ - заевтектичний сплав, він складається з кристалів евтектики і кристалів сурми.

Діаграма стану сплаву свинець – сурма є діаграмою першого роду.

За діаграмою стану першого роду кристалізуються сплави, компоненти яких в рідкому стані необмежено розчиняються один в одному, а в твердому стані зовсім не розчиняються і утворюють механічну суміш компонентів. За діаграмою стану першого роду кристалізуються такі сплави як: олово – цинк, свинець – сурма та інші.

Правило відрізків

В процесі кристалізації змінюється і концентрація компонентів в фазах, і кількість кожної фази сплаву (при кристалізації кількість твердої фази збільшується, а рідкої зменшується).

Фазою (*phase*) називається хімічно однорідна частина сплаву, відокремлена від інших його частин поверхнею розділу (границею). Фазами в сплавах можуть бути хімічні елементи, хімічні сполуки, рідкі та тверді розчини. В будь-якій точці діаграми, коли в сплаві одночасно існують дві фази, можна визначити кількість обох фаз і їх концентрацію. Для цього служить правило відрізків або правило важеля.

Правило відрізків (правило важеля) застосовують для визначення:

1. Концентрації компонентів в фазах;
2. Кількості (ваги) фаз сплаву в будь-якій точці діаграми.

Використаємо правило відрізків для аналізу стану сплаву в точці *b* (рис. 3.2). Проведемо горизонтальну лінію (коноду) через точку *b* до перетину з лініями діаграми. Одержимо лінію *ac*. Точка *b* ділить лінію *ac* на відрізки *ab* і *bc*.

Для визначення концентрації компонентів в фазах необхідно з точок перетину коноди з лініями діаграми опустити перпендикуляри на вісь концентрацій (вісь абсцис) діаграми стану (рис. 3.2).

Наприклад, в точці *b* (рис. 3.2) сплав складається з кристалів сурми і рідини. Опустивши перпендикуляр з точки *a* на вісь концентрацій, визначимо концентрацію компонентів в рідині. Вона становить 48 % Pb та 52 % Sb. Опустивши перпендикуляр з точки *c* на вісь абсцис, побачимо, що тверда фаза в даній точці складається з кристалів сурми (100 % Sb).

Відповідно до правила відрізків, кількість (вага), наприклад, твердої фази – кристалів сурми – в даній точці діаграми так відноситься до кількості всього сплаву, як довжина відрізка, що прилягає до лінії ліквідус *ab*, відноситься до повної довжини лінії *ac*.

$$\frac{G_{\text{д.ф.}}}{G_{\text{в.ф.}}} = \frac{ab}{bc}, \text{ звідки: } G_{\text{т.ф.}} = \frac{ab}{ac}; \quad G_{\text{р.ф.}} = \frac{bc}{ac}.$$

Аналіз кривих охолодження

На рис. 3.2 зображені криві охолодження для чистих металів (Pb, Sb) I, V та їх сплавів II, III, IV.

Для аналізу кривих охолодження застосовують правило фаз (закон Гіббса), яке виражається формулою

$$C = K - \Phi + I,$$

де: *C* - число ступенів вільності, тобто число зовнішніх факторів (темпера-

тура, концентрація), які можна змінювати без зміни числа фаз в сплаві; K - число компонентів (в сплавах свинець - сурма $K = 2$, це свинець і сурма); Φ - число фаз.

Температура плавлення чистого свинцю - $327\text{ }^\circ\text{C}$, сурми - $630\text{ }^\circ\text{C}$.

Доевтектичному сплаву (6 % Sb, 94 % Pb) відповідає крива II. Вище точки 1 сплав знаходиться в рідкому стані і має одну фазу, тоді $C = 2 - 1 + 1 = 2$. При двох ступенях вільності в цій області можна змінювати концентрацію та температуру, а сплав залишиться однорідним – рідким. Крива охолодження круто спадає вниз.

Точка 1 - початок кристалізації, точка 2 - закінчення кристалізації. В інтервалі температур від точки 1 до точки 2 проходить утворення кристалів свинцю, на цій ділянці сплав являє собою суміш рідини і кристалів свинцю. Тобто між точками 1 і 2 існує дві фази - рідка і тверда: $C = 2 - 2 + 1 = 1$. При одному ступені вільності незалежною змінною є тільки температура. Із зменшенням температури сплаву кристалів утворюється більше, рідини залишається менше.

На ділянці 2-2' залишки рідини кристалізуються в механічну суміш свинцю та сурми – евтектику, де матимемо три фази (кристали свинцю, кристали сурми і рідкий сплав). Число ступенів вільності $C = 2 - 3 + 1 = 0$. При цьому виділяється велика кількість теплоти і температура залишається постійною.

Нижче точки 2 сплав знаходиться повністю в твердому стані і його структура складається з кристалів свинцю та евтектики (дрібнодисперсної суміші кристалів свинцю та сурми). Таким чином, сплав в даній області складається з двох фаз - кристалів свинцю і сурми: $C = 2 - 2 + 1 = 1$.

Крива III – охолодження евтектичного сплаву (13 % Sb, 87 % Pb). Евтектичний сплав має криву охолодження аналогічну кривій чистого металу, тільки із більш швидким охолодженням розчину. Кристалізація протікає при сталій температурі і концентрації (в точці C). Утворюється механічна суміш компонентів (свинцю та сурми).

Заевтектичному сплаву відповідає крива IV. Точка 1 відповідає початку кристалізації, 2 - кінцю кристалізації. В інтервалі температур від 1 до 2 проходить утворення кристалів сурми. На цій ділянці сплав являє собою суміш рідини та кристалів сурми. Із зниженням температури сплаву кристалів утворюється більше, рідини залишається менше. На ділянці 2-2' залишок рідини кристалізується в механічну суміш кристалів свинцю та сурми (евтектику) (*eutectic*).

Схеми мікроструктури сплавів після охолодження показані на рис. 3.3. Схеми мікроструктури: а – чистий свинець, б - доевтектичний сплав, в – евтектичний сплав, г - заевтектичний сплав.

Аналіз мікроструктури показує, що залежно від концентрації компонентів змінюється мікроструктура сплаву.

Діаграма стану дає можливість визначити стан сплаву при будь-якій температурі та заданій концентрації.

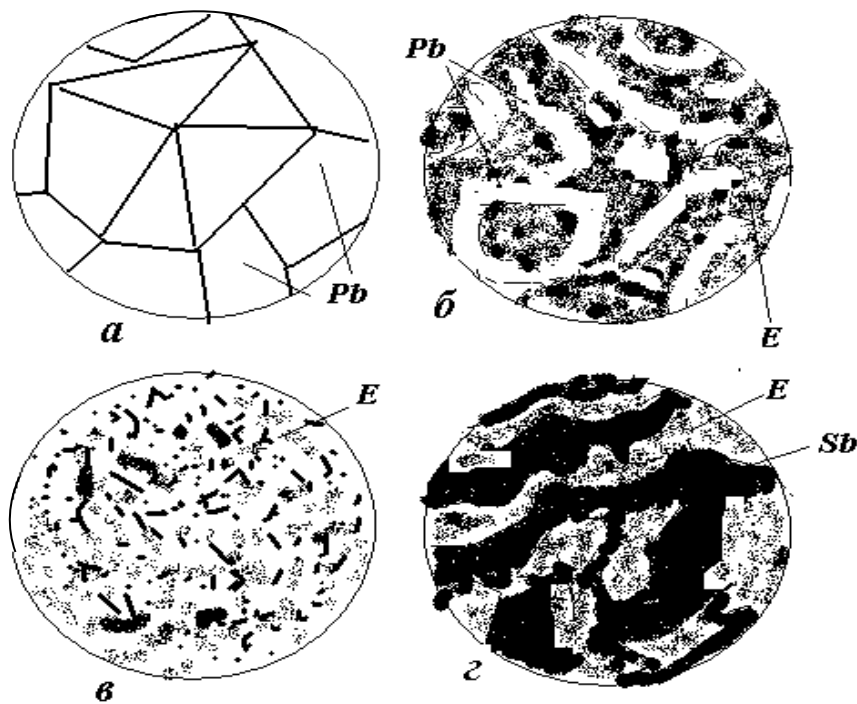


Рисунок 3.3 – Структура сплавів свинець – сурма:
 а – чистий свинець; б – доевтектичний сплав;
 в – евтектичний сплав; г – заевтектичний сплав

Установка для термічного аналізу

Установка для термічного аналізу (рис. 3.4) складається з нагрівальної та контролювальної апаратури.

Навіски з в тиглях з заданою концентрацією компонентів (Pb, Sb) доводять до повного розплавлення з перегрівом на 20...30 °С в муфелі електропечі 1. Контроль температури здійснюється хромель-алюмелевою (ХА) термопарою 4, підключеною до потенціометра 5. Після того, як температура буде достатньою для термічного аналізу, тигель з навіскою установлюють на вогнетривку підставку. Холодні кінці термопар з'єднані з клемми вимірювального приладу 5 - мілівольтметра ВЗ-36. Для знаходження відповідності показань мілівольтметра (мВ) значенням температури сплаву (°С) проводять тарування термопар. Дані заносяться в таблицю .

Слід відзначити, що отриманими даними (табл. 3.1) можна користуватися тільки для даної термопар. Це і є таруванням термопар. Отримані дані мілівольтметра (мВ) під час досліду згідно з таблицею переводять в відповідні значення температур (°С).

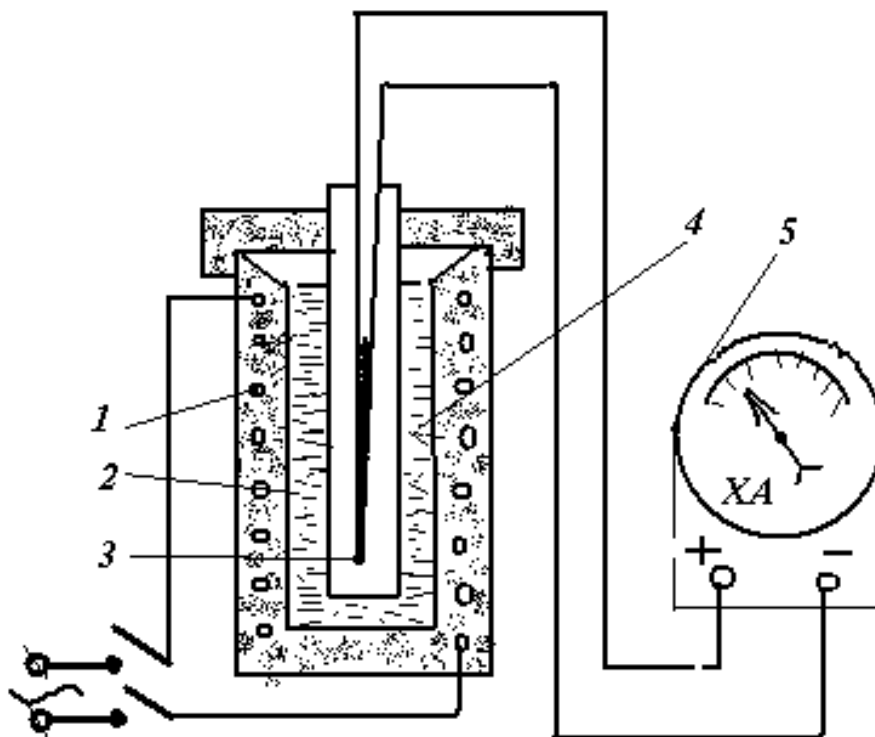


Рисунок 3.4 – Схема установки для визначення критичних точок металів і сплавів:

- 1 – електричний нагрівач; 2 – тигель; 3 – термопара;
4 – розплавлений метал (сплав); 5 – гальванометр.

Порядок виконання роботи

1. Тиглі з чистими свинцем, сурмою та трьома сплавами: доевтектичним (6% сурми), евтектичним (13% сурми) та заевтектичним (55% сурми) нагрівати в електричній печі. Температуру заміряти гальванометром термопари.
2. Виймати і охолоджувати тиглі потрібно в такій послідовності: евтектичний сплав – при досягненні температури 260...270 °С, доевтектичний сплав – 290...300 °С, чистий свинець – 340...350 °С, заевтектичний сплав – 475...480 °С, чиста сурма – 645...650 °С фіксуючи показання гальванометра через 10...15 с до закінчення тверднення металу (сплаву). Результати замірів внести в таблицю.

Таблиця 3.1 – Результати замірів

τ, c						
$V, мВ$						
$T, ^\circ C$						

3. За результатами дослідів побудувати на міліметровому папері криві охолодження кожного металу (сплаву). При цьому зручно брати масштаб $10\text{ c} = 1\text{ мм}$ і $10^\circ = 1\text{ мм}$.

4. За кривими охолодження побудувати діаграму стану сплавів свинець – сурма, переносячи критичні точки з кривих охолодження на діаграму стану.

Зміст звіту

В звіті необхідно вказати:

- призначення термічного аналізу,
- схему установки для дослідження металів і сплавів термічним методом,
- таблицю з дослідними даними,
- криві охолодження і діаграму стану,
- висновки, в яких зробити аналіз перетворень при охолодженні одного із сплавів із застосуванням правила фаз.

Контрольні питання для самопідготовки

1. Що являє собою діаграма стану сплавів?
2. Які методи застосовують для побудови діаграм стану сплавів?
3. Які точки на кривих нагрівання чи охолодження називають критичними?
4. Поясніть значення термінів: евтектика, солідус, ліквідус.
5. Покажіть на діаграмі стану сплавів ці лінії та точки.
6. Чим пояснюється зміна швидкості охолодження сплаву?
7. Який з досліджених сплавів є евтектичним? доевтектичним? заевтектичним?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

АНАЛІЗ ДІАГРАМ СТАНУ ПОДВІЙНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: навчитися робити аналіз діаграм стану різних типів, визначати наявність фаз та структур у сплавах різного хімічного складу при різних температурах; навчитись визначати кількість фаз або структурних складових в сплавах; навчитися визначати перетворення в сплавах.

Матеріали та обладнання. Для виконання даної лабораторної роботи студентам видаються рисунки діаграм стану систем різних типів з описанням механізму формування структур типових сплавів в цих системах.

Теоретичні відомості. Більшість металевих матеріалів, які використовуються в машинобудуванні – сплави, що складаються з двох, трьох або більшої кількості елементів. Основним елементом сплаву зазвичай є метал, який і визначає назву сплавів (сплави на основі заліза, міді, алюмінію тощо). Інші компоненти сплавів можуть бути як металами, так і неметалами. Їх додають до основного компоненту умисне для зміни структури та властивостей сплаву у бажаному напрямі.

Будь-який сплав складається з однієї або декількох **фаз**. Ними можуть бути: **1) чисті компоненти; 2) тверді розчини; 3) хімічні сполуки**. Знання **фазового складу** є дуже важливим при дослідженні сплавів, але недостатнім для визначення їх властивостей. Більше інформації містить у собі **структурний склад** сплаву, тобто наявність у ньому певних структурних складових – окремих елементів мікроструктури, які відрізняються від інших. Кількість структурних складових металевої системи часто переважає кількість фаз, оскільки містить усі фази цієї системи, а також їхні суміші, що кристалізуються водночас і разом (**евтектика, евтектоїд**). Тому на діаграмах стану наводять не тільки фазовий, а й структурний склад для кожної їх області.

Діаграми стану або **діаграми фазової рівноваги** у зручній графічній формі показують фазовий і структурний склад сплавів залежно від температури та концентрації. Діаграми стану будують для умов рівноваги, які досягаються тільки при дуже малих швидкостях охолодження або тривалому нагріванні. Справжній рівноважний стан в практичних умовах досягається рідко. В більшості випадків сплави знаходяться в **метастабільному** стані, тобто такому, коли вони мають обмежену стійкість і під впливом зовнішніх факторів набувають інших більш стійких станів. В багатьох випадках метастабільні стани надають сплавам високих механічних або інших властивостей. Завданням металознавства є встановлення природи метастабільних станів, які забезпечували б оптимальний комплекс властивостей і розроблення режимів термічної або іншої обробки сплавів, що дозволяли б

отримувати ці неврівноважені стани. Вихідним положенням при вирішуванні таких питань є знання діаграм стану. Саме діаграми стану дозволяють розробити раціональні режими різних видів обробки матеріалів і реалізувати їх на практиці. З іншого боку, вони дають можливість наукового прогнозу створення матеріалів з потрібними властивостями.

Вивчення будь-якої діаграми стану подвійної системи складається з двох етапів: 1) її загального опису; 2) аналізу процесу кристалізації типових сплавів. Доцільно поруч з діаграмою стану зображати **криві охолодження** сплавів, які аналізуються.

Основні типи діаграм стану

1. Діаграми стану системи, компоненти якої утворюють неперервний ряд рідких і твердих розчинів.

Така діаграма є однією з найпростіших. Вона містить у собі всього дві лінії (рис. 4.1, а). Верхня з них є лінією початку кристалізації будь-якого сплаву цієї системи і називається лінією **ліквідусу** (*liquidus line*). Нижня лінія є лінією кінця кристалізації усіх сплавів і є лінією **солідусу** (*solidus*). Вище від лінії ліквідусу розташована однофазна область рідкого розчину (P). Нижче від лінії солідусу лежить також однофазна область α - твердого розчину. Між цими лініями знаходиться двофазна область, де співіснують обидва розчини (P+ α).

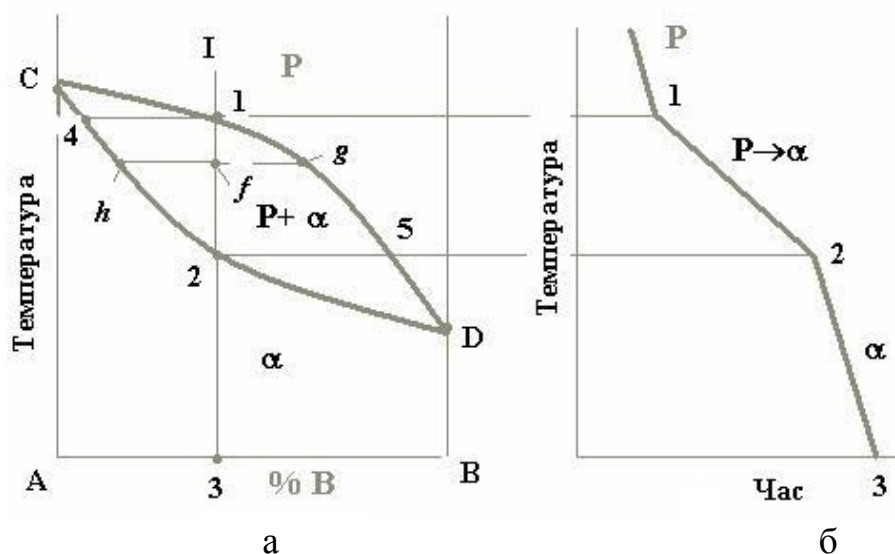


Рисунок 4.1 – Діаграма стану системи, компоненти якої утворюють неперервний ряд рідких і твердих розчинів (а) та крива охолодження типового сплаву (б)

На діаграмі стану точки С і D є температурами кристалізації відповідно компонентів А і В. Сплав же будь-якої концентрації, наприклад сплав I, кристалізуватиметься в інтервалі температур між точками 1 і 2 і після повного охолодження (точка 3) буде мати остаточну структуру з зерен α -твердого розчину (рис. 4.2).

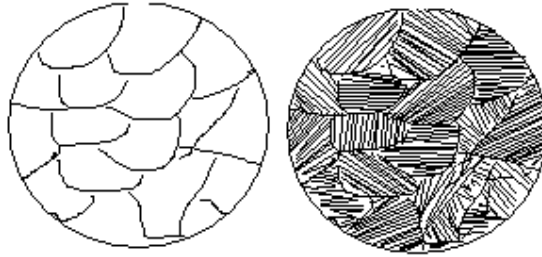


Рисунок 4.2 – Зображення мікроструктури твердого розчину (сплаву I)

Для більш детального аналізу процесу кристалізації цього сплаву потрібно скористатися **правилом відрізків (правилом важеля)**:

Для визначення хімічного складу фаз, що перебувають у рівновазі одна з одною, через фігуративну точку сплаву проводять горизонтальну лінію до перетину з лініями діаграми, які обмежують дану область; проєкції точок перетину на вісь концентрацій показують склади фаз. (Фігуративною точкою (*figurative point*) називається кожна точка в межах креслення діаграми стану. Вона зображає стан сплаву певного хімічного складу при певній температурі).

В нашому випадку фігуративною точкою є точка f , а точками перетину, про які йде мова, є точки h і g . Пряма hg , що з'єднує ці точки, називається **конодою**.

Правило відрізків (важеля) дозволяє визначити не лише хімічний склад фаз, але й їхню відносну й абсолютну кількість.

Для визначення кількості кожної фази через фігуративну точку проводять коноду; її відрізки обернено пропорційні кількості кожної з фаз.

Наприклад, у точці f у рівновазі знаходяться рідина складу точки g і α -фаза концентрації точки h . При цьому:

$$\%P = \frac{hf}{hg} 100, \quad \% \alpha = \frac{fg}{hg} 100.$$

Якщо скористатися цим правилом при аналізі процесу кристалізації сплаву I, то виявляється, що з рідини концентрації точки 1 виділяються кристали α -фази концентрації точки 4, тобто зовсім іншого складу.

Твердий розчин відносно рідини завжди збагачений тим компонентом, який підвищує температуру кристалізації сплавів.

У нашому випадку таким компонентом є А, отже, при будь-якій температурі α -фаза щодо рідкого розчину збагачена саме ним. При зниженні температури склад рідини змінюється вздовж лінії ліквідусу від точки 1 до точки 5, а склад α -фази – по лінії солідусу від точки 4 до точки 2 (рис. 4.1).

2. Діаграми стану систем з відсутністю взаємної розчинності компонентів у твердому стані

В діаграмах стану такого типу додавання як компонента В до компонента А, так і навпаки компонента А до компонента В, спричинює зниження те-

температур кристалізації сплавів. З цієї причини лінія ліквідусу такої системи (рис. 4.3) опускається донизу з точок С і D. Обидві гілки лінії ліквідусу (CE і DE) перетинаються в точці E. Кожна з цих гілок є як лінією початку кристалізації того або іншого компонента (CE – компонента А, DE – компонента В), так і лінією граничного насичення рідкого розчину відповідним компонентом: на лінії CE рідина гранично насичена компонентом А і при подальшому зниженні температури відбувається його кристалізація; на лінії ED – компонентом В, який теж буде кристалізуватися при подальшому охолодженні. Точка E є спільною для обох кривих, отже, рідина такого складу гранично насичена обома компонентами, вони й будуть кристалізуватися одночасно і разом: $P_E \rightarrow (A+B)$ (читається: рідина складу точки E перетворюється в суміш двох фаз, тобто компонентів А і В). Суміш двох твердих фаз, які кристалізуються одночасно і разом з рідини певного складу, називається *евтектикою* (eutectic). У кристалізації евтектики беруть участь три фази і згідно з правилом фаз система є нонваріантною, тобто кристалізація евтектики проходить при постійній температурі, що й видно на кривих охолодження.

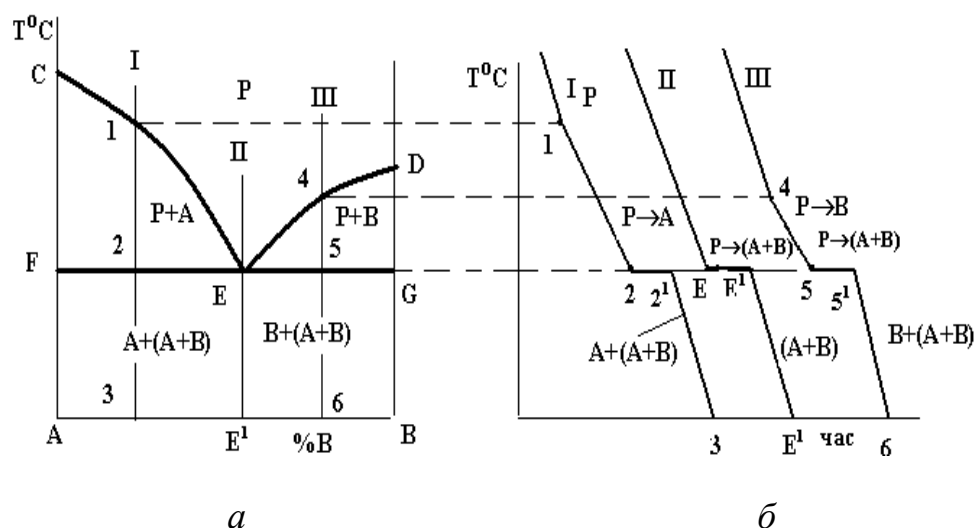


Рисунок 4.3 – Діаграма стану (а) і криві охолодження (б) системи з відсутністю взаємної розчинності компонентів у твердому стані. При кристалізації будь-якого сплаву цієї системи склад рідини буде змінюватися вздовж лінії ліквідусу до евтектичної точки E, тобто кристалізація усіх сплавів закінчується утворенням евтектики. Оскільки це відбувається при постійній і однаковій для всіх сплавів температурі, то лінія солідусу даної системи є горизонтальною прямою FEG, яка називається *лінією евтектичного перетворення*. Евтектична точка E поділяє усі сплави на *доевтектичні* (ліворуч від точки E) та *заевтектичні* (праворуч від точки E). В окрему групу виділяється *евтектичний* сплав (на рис. 4.3, а) сплав II).

Розглянемо процеси кристалізації типових сплавів цієї системи. Доевтектичний сплав I кристалізується у два етапи. На першому в інтервалі температур 1-2 з рідини кристалізуються первинні кристали компонента (фази) А; потім в точці 2 рідина, що залишилася, закристалізується у вигляді евтектики. Отже, нижче точки 2 до точки 3, тобто до повного охолодження, сплав I буде мати структуру з двох складових: первинних кристалів компонента А та евтектики (суміші двох компонентів А і В) (рис. 4.4, а). Кількісний склад цих складових може бути визначений за правилом важеля. Так, кількість евтектики дорівнює відношенню довжини відрізка А-3 до довжини коноди А-Е¹, а кількість фази А (компонента А) - відношенню довжини відрізка 3-Е¹ до довжини А-Е¹, тобто:

$$\% A = \frac{3 - E^1}{A - E^1} 100; \quad \% \text{Евт} = \frac{A - 3}{A - E^1} 100.$$

Евтектичний сплав II має всього один етап кристалізації – утворення евтектики, і, таким чином, одну структурну складову – евтектику (рис. 4.4, б). Заевтектичний сплав III кристалізується подібно до доевтектичного, але на першому етапі кристалізації з рідини виділяються кристали компонента В. Таким чином, кінцева структура заевтектичного сплаву складається з цих первинних кристалів і ділянок евтектики (рис. 4.4, в).

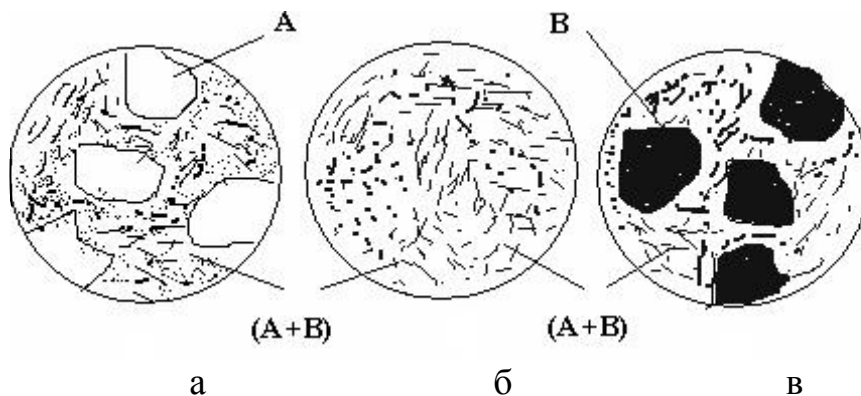


Рисунок 4.4 – Схеми мікроструктур доевтектичного (а), евтектичного (б) та заевтектичного (в) сплавів

3. Діаграми стану систем з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані

Такі типи систем найчастіше мають місце в металевих сплавах. При утворенні обмежених твердих розчинів зустрічаються два типи діаграм стану: з *евтектичним* і з *перитектичним* перетворенням.

Діаграма стану систем з утворенням обмежених твердих розчинів і евтектичним перетворенням (рис. 4.5)

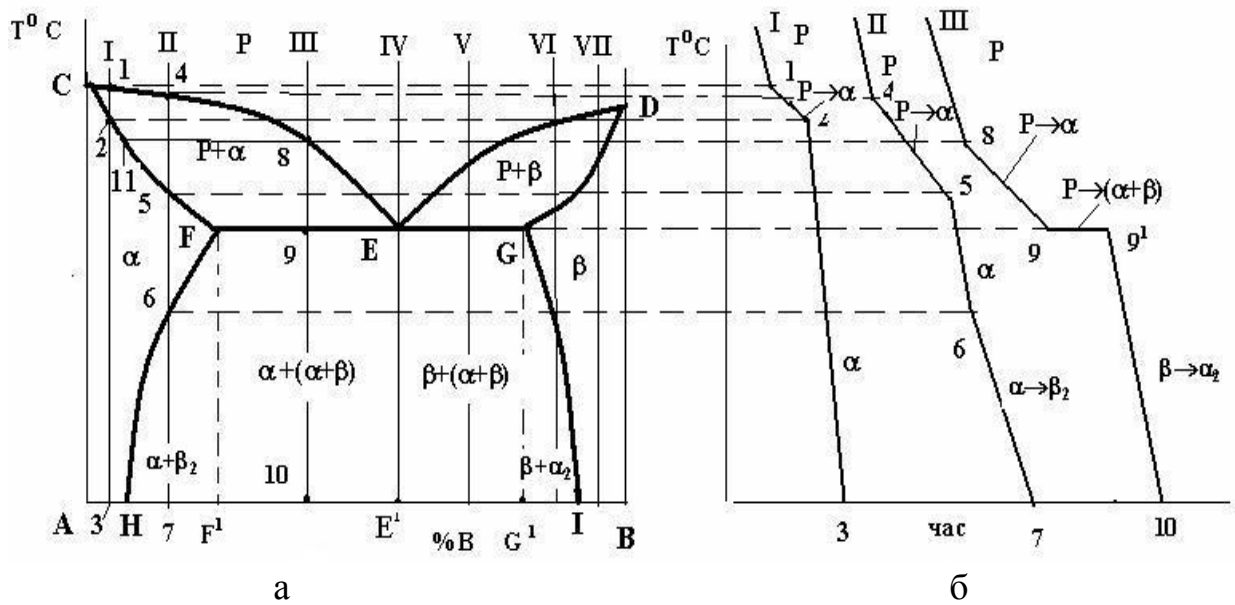


Рисунок 4.5 – Діаграма стану (а) і криві охолодження (б) системи з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані з евтектичним перетворенням

Лінією ліквідусу на цій діаграмі є лінія CED, а лінією солідусу – лінія CFEGD. На горизонтальній частині цієї лінії FEG відбувається евтектичне перетворення: $P_E \rightarrow (\alpha_F + \beta_G)$ (читається: рідина складу точки E перетворюється в суміш двох фаз - α -твердого розчину складу точки F і β -твердого розчину складу точки G), де α і β - обмежені тверді розчини компонента B у компоненті A (α) і компонента A в компоненті B (β).

Крім цих ліній на діаграмі є і дві нові – лінії так званого *сольвусу*, тобто обмеженої розчинності у твердому стані – FH і GI. Перша з них показує границю розчинності компонента B у компоненті A, тобто граничний вміст компонента B в α -твердому розчині. Відповідно, лінія GI є граничним вмістом компонента A в β -твердому розчині. З положення цих ліній видно, що взаємна розчинність компонентів із зниженням температури зменшується. Вказані лінії діаграми ділять її площу на 3 однофазні та 3 двофазні області. До однофазних належать область рідкого розчину (вище лінії ліквідусу CED), область CFHA α -фази і область DGIB β -фази. Двофазними є області CEF і DEG, в яких відбувається кристалізація первинних кристалів відповідно α - і β -твердих розчинів, а також область існування двох твердих розчинів α і β - HFGI. В цій області відбувається *вторинна кристалізація*, в якій, на відміну від первинної, не бере участі рідка фаза. Вторинна кристалізація полягає в тому, що після первинної кристалізації будь-якого сплаву, що лежить між точками H і I, і в складі структури якого є α - чи β -тверді розчини, ці тверді розчини при подальшому охолодженні до температур ліній сольвусів FH чи GI стають насиченими, а нижче цих ліній – перена-

сиченими. Оскільки стан перенасиченого твердого розчину є незрівноваженим, починається його розпад із виділенням надлишкового компонента. Найчастіше це відбувається на межах зерен відповідного твердого розчину у вигляді окремих дисперсних часток або суцільних прошарків (рис. 4.6).

Як приклад розглянемо процеси кристалізації двох сплавів II і III. Первинна кристалізація сплаву II відбувається в інтервалі температур 4-5, де вся рідина закристалізується у вигляді α -твердого розчину. До точки 6, яка знаходиться на лінії сольвусу FH , цей розчин є ненасиченим компонентом В, у точці 6 він стає гранично насиченим, а нижче від неї – перенасиченим і при подальшому його охолодженні до точки 7 з нього виділяється надлишковий елемент – компонент В у вигляді β_{II} -твердого розчину (рис. 4.6).

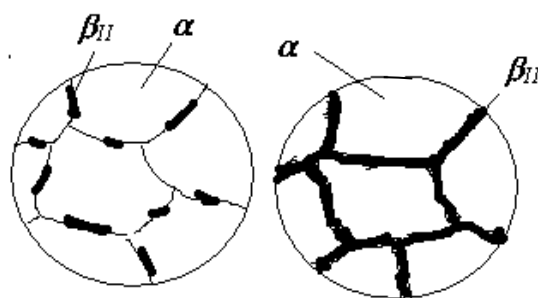


Рисунок 4.6 – Схеми мікроструктури сплаву II (рис. 4.5)

Таку остаточну структуру мають усі сплави в області FHF_1 діаграми. Оскільки вторинна кристалізація відбувається в твердому стані при невисоких температурах, дифузія проходить досить повільно і вторинна кристалізація за описаним механізмом може відбутися досить повно тільки в умовах дуже повільного охолодження. В реальних же умовах кристалізації зберігається певне перенасичення α -фази компонентом В. Але перенасичений твердий розчин є нестійким і в подальшому доволі розпадається, що супроводжується суттєвою зміною властивостей сплаву, перш за все – механічних: підвищенням твердості та міцності, зниженням пластичності і в'язкості. Таке явище називається *старіння* або *дисперсійне тверднення*, яке широко використовується при термічній обробці кольорових металів, зокрема алюмінієвих сплавів (див. лаб. роботу № 9).

Аналогічно відбувається кристалізація сплавів, що знаходяться між точками G та I (наприклад, сплаву VI). Тільки в цих сплавах перенасиченим розчином є β -твердий розчин і з нього виділяється при охолодженні нижче лінії GI надлишковий компонент А у вигляді α -твердого розчину.

Кристалізація сплаву III відбувається в три етапи. На першому з них, в інтервалі температур 8-9, з рідини виділяються первинні кристали α -фази. Склад рідини при цьому змінюється вздовж лінії ліквідусу від точ-

ки 8 до евтектичної точки E, а склад α -фази – по лінії солідусу від точки 11 до точки F. Другим етапом є евтектична кристалізація в точці 9:



Нижче від неї до точки 10 (до кімнатної температури) проходить вторинна кристалізація – розпад перенасиченого α -твердого розчину з виділенням вторинних кристалів β_{II} . Водночас відбувається розпад β -твердого розчину, що входить до складу евтектики, з виділенням вторинних кристалів α_{II} . Але вторинні кристали α_{II} і β_{II} не утворюють нових окремих структурних складових, а виділяються на вже існуючих тих же фазах евтектики. Тому остаточна структура цього сплаву III, як і будь-якого іншого доевтектичного сплаву, має всього дві складові: первинні кристали α -фази та евтектику ($\alpha + \beta$), як показано на рис. 4.7.

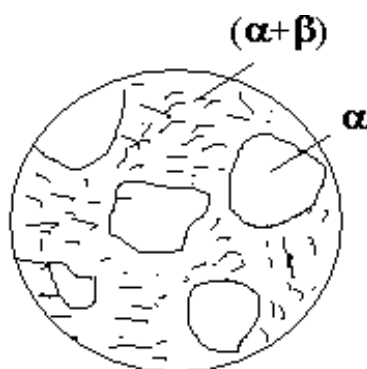


Рисунок 4.7 – Схема мікроструктури сплаву доевтектичного складу

Кристалізація будь-якого заевтектичного сплаву відбувається аналогічно, лише α - і β -фази міняються місцями.

Діаграми стану з перитектичним перетворенням (рис. 4.8).

Цей варіант діаграми реалізується тоді, коли температури кристалізації компонентів дуже відрізняються.

Лінія ліквідусу – CPD, солідусу – CNPD, сольвусу – NR і MQ.

Діаграма має три однофазні області: рідкого розчину (вище від лінії ліквідусу), α -фази (ACNRA), β -фази (QMDBQ) та три двофазні – рідини та кристалів α (CNPC), рідини та кристалів β (MPDM), кристалів α - і β -твердих розчинів (RNMQR). В останній області можна виділити окремо області RNN^1R з α -фазою та вторинними кристаллами β_{II} – ($\alpha + \beta_{II}$) і MQM^1M ($\beta + \alpha_{II}$).

На лінії NMP відбувається **перитектичне перетворення**: рідина та кристали, що раніше виділилися з неї, у взаємодії між собою утворюють нову тверду фазу: $P_P + \alpha_N \rightarrow \beta_M$ (читається: рідина складу точки P і кристали

α -фази складу точки N перетворюються на кристали β -фази складу точки M). Остання реакція перитектичного перетворення відбувається з повним використанням двох вихідних фаз лише для одного сплаву – складу точки M^I. Для будь-якого іншого сплаву одна з вихідних фаз буде надлишковою і частина її залишиться після перитектичного перетворення. Так, для будь-якого сплаву, що лежить між точками N і M (наприклад, сплаву III), надлишковою фазою буде α -фаза, а для сплавів між точками M і P (наприклад, сплавів IV і V) надлишковою фазою буде рідина.

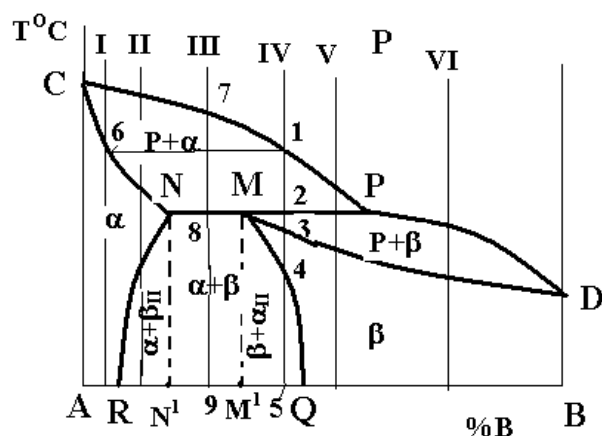


Рисунок 4.8 – Діаграма стану системи з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані і перитектичним перетворенням

Структура сплаву III після повного охолодження складатиметься з кристалів β -фази, що утворилися при перитектичному перетворенні, та кристалів α -фази, що вціліли при перитектичному перетворенні (рис. 4.9, а). При охолодженні цього сплаву від точки 8 до точки 9 з цих фаз виділяються вторинні кристали (відбувається вторинна кристалізація: $\alpha \rightarrow \beta_{II}$; $\beta \rightarrow \alpha_{II}$), але нові структурні складові, як це було зазначено раніше, не утворюються.

В сплаві IV при охолодженні від точки 1 до точки 2 з рідини виділяються первинні кристали α -твердого розчину, склад яких змінюється по лінії солідусу від точки 6 до точки N. Водночас склад рідини змінюється вздовж лінії ліквідусу від точки 1 до точки P. На лінії NM фази такого складу взаємодіють між собою за перитектичною реакцією з утворенням β -фази. Після перитектичного перетворення в точці 2 залишиться в надлишку рідка фаза і при охолодженні від точки 2 до точки 3 з неї виділяються вже первинні кристали β -твердого розчину. При охолодженні сплаву IV від точки 3 до точки 4 матимемо однофазний β -твердий розчин, в якому ніяких змін не буде. В точці 4 β -твердий розчин стає гранично насиченим компонен-

том А і при подальшому його охолодженні в інтервалі температур 4-5 відбувається вторинна кристалізація з виділенням кристалів β_{II} (рис. 4.9, б)

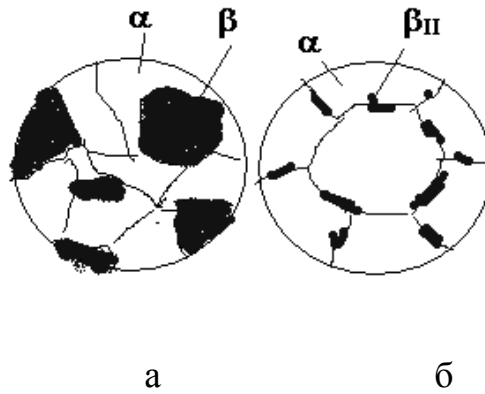


Рисунок 4.9 – Схеми мікроструктур сплавів III (а) і IV (б) (рис.4.8)

4. Діаграми стану систем з хімічними сполуками

У подвійних системах можуть утворюватись хімічні сполуки між компонентами із загальною формулою $A_m B_n$. Найчастіше ці хімічні сполуки утворюються безпосередньо з рідини: $P \rightarrow A_m B_n$

Конкретний вигляд діаграми визначається взаємодією її компонентів, передусім розчинністю їх у твердому стані, а також наявністю певних перетворень. При цьому хімічна сполука розглядається як окремий компонент. На рис. 4.10 показані два можливих варіанти: а – з відсутністю розчинності компонентів у твердому стані і б – з утворенням обмежених твердих розчинів на основі як чистих компонентів, так і хімічної сполуки — α -, β - і γ -фаз.

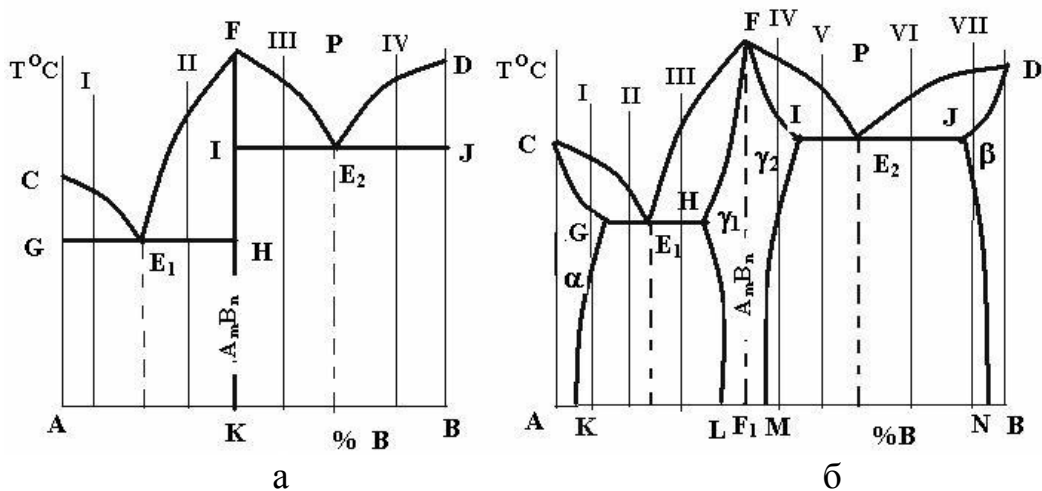


Рисунок 4.10 – Діаграми стану систем з хімічними сполуками

Систему, діаграма стану якої зображена на рис. 4.10, а, можна розглядати як сукупність двох систем з компонентами А і $A_m B_n$ та В і $A_m B_n$. Ці дві системи розділені вертикаллю FK. У кожній з підсистем утворюється власна

евтектика – E_1 як суміш двох фаз – $(A + A_m B_n)$ і $E_2 (B + A_m B_n)$. Кристалізація і формування структур, наприклад, сплавів I, II, III, IV відбувається аналогічно тим, що були розглянуті нами в п. 2 та на рис. 4.3 цієї лабораторної роботи.

Для систем, діаграма стану яких показана на рис. 4.10, б, характерним є утворення обмежених твердих розчинів: твердого розчину хімічної сполуки $A_m B_n$ в компоненті А – α -фази; твердого розчину хімічної сполуки в компоненті В – β -фази та твердих розчинів компонентів А і В в хімічній сполуці – відповідно γ_1 -фази і γ_2 -фази. Зазвичай ці тверді розчини γ_1 і γ_2 розглядаються як один твердий розчин — γ -фаза. Тому на діаграмі (рис. 4.10, б) область FIMLHF розглядається як однофазна з твердим розчином γ . Пунктирна лінія FF^1 ділить цю область на дві частини: ліворуч від неї γ -фазу можна вважати твердим розчином компонента А в хімічній сполуці $A_m B_n$, праворуч – твердим розчином компонента В в цій же сполуці.

Евтектики в цій системі складаються з суміші кристалів твердих розчинів:

$$E_1(\alpha+\gamma), \quad E_2(\gamma+\beta).$$

Кристалізація сплавів і формування остаточних структур в цій системі відбувається аналогічно розглянутих в п. 3.1 і на рис. 4.5 цієї лабораторної роботи.

5. Діаграми стану систем з поліморфними компонентами

Поліморфні перетворення одного або обох компонентів сплаву суттєво змінюють його структуру і властивості. Такі перетворення є в багатьох промислових сплавах, наприклад, сплавах заліза, титану та ін.

Конкретний вигляд діаграми стану визначається не тільки взаємодією компонентів, а і їх поліморфних модифікацій. Крім того, важливу роль відіграє наявність або відсутність взаємної розчинності компонентів та їх поліморфних модифікацій у твердому стані. Тому діаграми стану з поліморфними компонентами надзвичайно численні. Розглянемо тільки одну систему, в якій обидва компоненти є поліморфними і їх високотемпературні модифікації (A_β і B_β) утворюють неперервний ряд β -твердих розчинів (рис. 4.11), а низькотемпературні A_α і B_α - обмежені α - і α^1 - тверді розчини.

Лінії KE і EL, на яких починається перетворення β -твердого розчину, перетинаються в одній точці E, яка називається *евтектоїдною*, а лінія GEN — лінією *евтектоїдного перетворення*: $\beta_E \rightarrow (\alpha_G + \alpha^1_H)$ (читається: твердий розчин β – складу точки E розкладається на суміш двох фаз — твердого розчину α – складу точки G і твердого розчину α^1 – складу точки H).

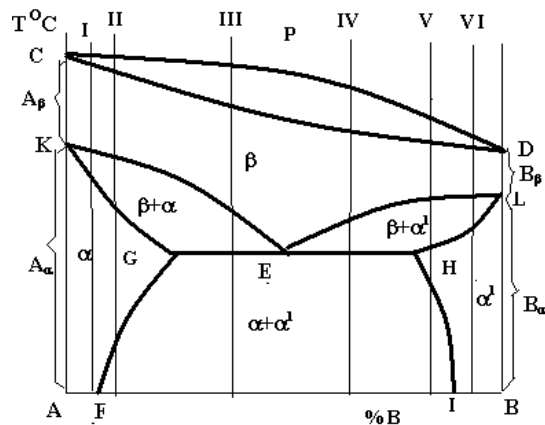


Рисунок 4.11 – Діаграма стану системи, компоненти якої мають поліморфні перетворення

Лінії GF і HI на діаграмі стану є лініями сольвусу. Сплави в інтервалі між точками G і E називаються доевтектоїдними, а сплави в інтервалі між точками E і H – заевтектоїдними. Схеми структур цих сплавів зображаються аналогічно тим, які зображені на рис. 4.4.

Завдання на роботу

1. Уважно вивчити теоретичний матеріал.
2. Зробити аналіз діаграми стану згідно з таблицею 4.1:
 - дати загальне означення заданої системи, зображеної на рис. 4.12
 - описати процес кристалізації заданого сплаву з температури рідкого стану до кімнатної;
 - показати криву охолодження заданого сплаву;
 - визначити, які фази та які структурні складові будуть у Вашому сплаві при кімнатній температурі;
 - визначити кількість цих фаз та структурних складових при кімнатній температурі;
 - показати схему структури сплаву при кімнатній температурі.
3. Скласти звіт про роботу, в якому повинні бути: рисунок діаграми стану заданої Вам системи; лінія вашого сплаву на діаграмі стану; крива охолодження сплаву з рідкого стану до кімнатної температури (поруч з діаграмою стану); описання процесу кристалізації сплаву і перетворень, які відбуваються в сплаві після його кристалізації, тобто в твердому стані, включно до кімнатної температури; розрахунки кількості фаз і структурних складових у сплаві при кімнатній температурі; рисунок структури заданого сплаву при кімнатній температурі; висновки.

Таблиця 4.1 – Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанта	Рисунок	Сплав	№ варіанта	Рисунок	Сплав
1	3.12, <i>в</i>	1	8	3.12, <i>б</i>	II
2	3.12, <i>а</i>	III	9	3.12, <i>е</i>	I
3	3.12, <i>б</i>	I	10	3.12, <i>а</i>	I
4	3.12, <i>е</i>	IV	11	3.12, <i>з</i>	III
5	3.12, <i>а</i>	II	12	3.12, <i>е</i>	II
6	3.12, <i>в</i>	II	13	3.12, <i>з</i>	II
7	3.12, <i>з</i>	I	14	3.12, <i>е</i>	III

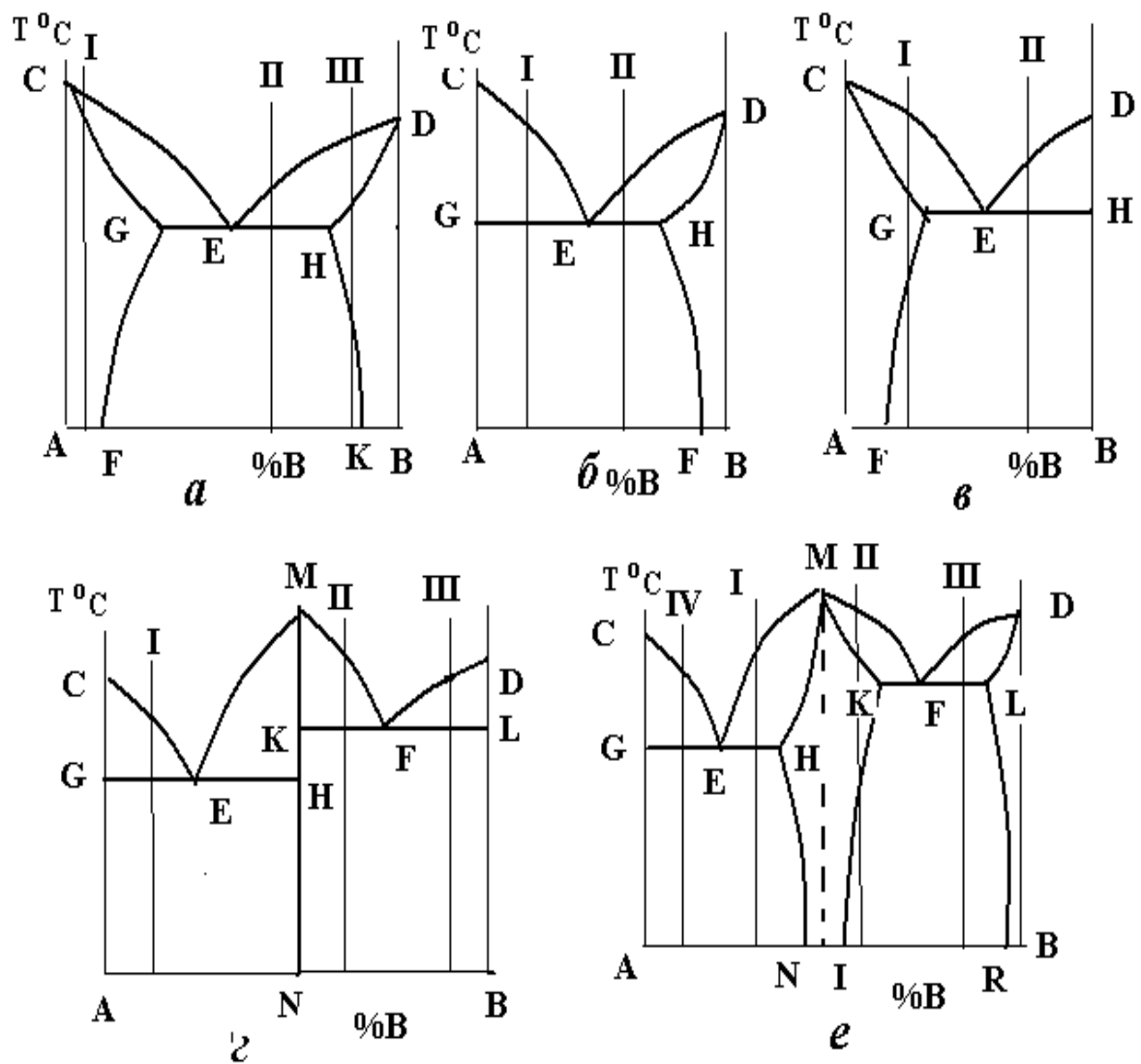


Рисунок 4.12 – Діаграми стану для індивідуального завдання

Контрольні питання для самопідготовки

1. Який сплав називається евтектичним?
2. Як формулюється і записується правило важеля?
3. Як формулюється правило фаз?
4. Як виглядають діаграми стану систем:
 - з необмеженою розчинністю компонентів;
 - з цілковитою нерозчинністю компонентів;
 - з обмеженою розчинністю компонентів;
 - з хімічними сполуками;
 - з поліморфними компонентами.
5. Яке перетворення називається евтектичним? Як записується його реакція?
6. Яке перетворення називається перитектичним та як записується його реакція?
7. Яке перетворення називається евтектоїдним та як записується його реакція?
8. Яка лінія на діаграмі називається сольвус?
9. З яких фаз складається мікроструктура доевтектичного складу?
10. З яких фаз складається мікроструктура заевтектичного складу?
11. З яких фаз складається мікроструктура зевтектичного складу?
12. З яких фаз може складатися будь який сплав?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ДІАГРАМА СТАНУ СПЛАВІВ СИСТЕМИ ЗАЛІЗО - ВУГЛЕЦЬ

Мета роботи: вивчення діаграми стану залізобуглецевих сплавів, аналіз перетворень, які проходять у сплавах при охолодженні та нагріванні, визначення фазового та структурного стану сплавів залежно від їх складу та температури.

Матеріали та обладнання. Для виконання даної лабораторної роботи студентам роздаються діаграми стану Fe-C з описанням механізму формування структур типових сплавів в цій системі.

Теоретичні відомості. Найважливішими матеріалами в сучасній машинобудівній промисловості є залізобуглецеві сплави: технічне залізо, сталі та чавуни. Основою для вивчення процесів формування їх структури є діаграма стану системи Fe-C (рис. 5.1).

Структура сплаву визначає його властивості. Важливо знати, які фази та структури формуються в сплавах залежно від їх складу та температури. Необхідно вміти керувати процесом структуроутворення для забезпечення експлуатаційних властивостей сплавів.

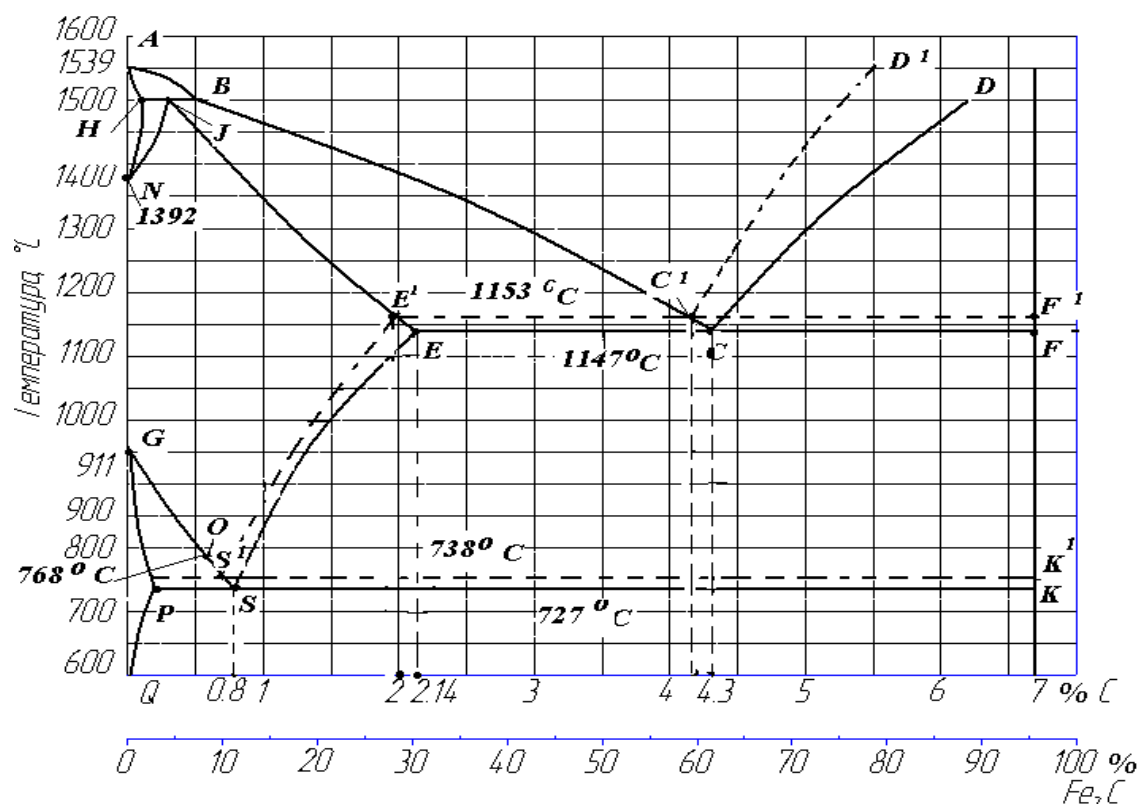


Рисунок 5.1 – Діаграма стану системи залізо - вуглець

Компонентами залізовуглецевих сплавів є залізо та вуглець, який може знаходитись у сплавах у хімічно зв'язаному стані у вигляді цементиту – Fe_3C (ζ) або у вільному стані – у вигляді графіту (Γ). Залежно від цього структуроутворення залізовуглецевих сплавів при їх охолодженні з рідкого стану можна розглядати за діаграмою метастабільної рівноваги $Fe - Fe_3C$ (рис. 5.1, суцільні лінії) або за діаграмою стабільної рівноваги $Fe - C$ (рис. 5.1, пунктирні лінії C^1D^1 , $E^1C^1F^1$, E^1S^1 , S^1K^1).

Залізо плавиться при температурі $1539^\circ C$, його густина при кімнатній температурі $7,68 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Залізу властивий поліморфізм, тобто залежно від температури воно має різну кристалічну будову.

При кристалізації ($1539^\circ C$) утворюється δ - Fe , кристалічна будова якого описується об'ємноцентрованою кубічною (ОЦК) граткою. При $1392^\circ C$ замість гратки δ - Fe (ОЦК) шляхом перегрупування атомів утворюється γ - Fe з гранецентрованою кубічною (ГЦК) граткою. При $910^\circ C$ також проходить поліморфне перетворення, внаслідок якого γ - Fe переходить в α - Fe з (ОЦК) граткою. Нижче $910^\circ C$ таке залізо стає стійким аж до температури абсолютного нуля.

Залізо α залежно від температури може знаходитись в різноманітних магнітних станах. При температурі $768^\circ C$ ($768 \dots 910^\circ C$) α - Fe , так само як і δ - Fe , і γ - Fe , - парамагнетик, тобто є немагнітним, нижче $768^\circ C$ – феромагнетик (магнітне). Температура $768^\circ C$ (точка Кюрі) є температурою переходу α - Fe із парамагнітного стану в феромагнітний при охолодженні заліза і навпаки – при його нагріванні. Залізо α з парамагнітними властивостями іноді називають β - Fe . Таким чином, при $1392^\circ C$ в рівновазі знаходяться δ - Fe та γ - Fe (δ - $Fe \Leftrightarrow \gamma$ - Fe); температура рівноваги γ - Fe та α - Fe – $910^\circ C$ (γ - $Fe \Leftrightarrow \alpha$ - Fe).

Температури рівноважного стану двох чи декількох фаз називаються критичними. Їх позначають літерою А з відповідним індексом (порядковий номер температури зростає з її підвищенням). Для заліза: $768^\circ C - A_2$; $910^\circ C - A_3$; $1392^\circ C - A_4$.

Залізо з вмістом вуглецю $0,01 \dots 0,1\%$ має такі властивості: твердість за Брінелем $70 \dots 80 \text{ НВ}$; міцність на розрив $\sigma_B = 200 \dots 250 \text{ МПа}$; відносне звуження $\delta = 50 \dots 55\%$; ударна в'язкість $KCU^{+20} = 220 \dots 250 \text{ кДж/м}^2$. Цементит містить $6,67\%$ вуглецю і має високі твердість і крихкість, його міцність на розтяг дуже мала. Цементит – метастабільна (нестабільна) фаза, слабо феромагнітна, точка Кюрі (A_0) - $210^\circ C$. Час стійкості цементиту зменшується з підвищенням температури: при низьких температурах він існує нескінченно довго, при температурах, які перевищують $950^\circ C$, за декілька годин розпадається на залізо та графіт. На цьому явищі заснований відпал білого чавуну на ковкий.

Графіт – одна із двох кристалічних модифікацій вуглецю. Його температура плавлення $3850^\circ C$.

В залізовуглецевих сплавах графіт, на відміну від цементиту, є стабільною фазою. Сплавляючи залізо з вуглецем, отримуємо сплави з різноманітною структурою та властивостями.

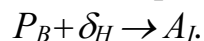
При підвищених швидкостях охолодження сплавів у результаті процесу кристалізації утворюється цементит. Утворення графіту спостерігається тільки в високовуглецевих сплавах у випадку їх повільного охолодження або при деяких ізотермічних витримках. В сплавах із зниженим вмістом вуглецю утворення графіту мало ймовірно.

На діаграмі метастабільної рівноваги крайні ординати відповідають чистим компонентам: GNA – залізу, KFD – цементиту. Ординати між ними – подвійним сплавам, загальний вміст заліза й вуглецю в яких дорівнює 100%. Для заліза на лінії GNA точка A відповідає температурі плавлення (1539°C); N – перетворенню $\delta\text{-Fe} \leftrightarrow \alpha\text{-Fe}$; G – перетворенню $\gamma\text{-Fe} \leftrightarrow \alpha\text{-Fe}$. Для цементиту: D – температура плавлення (точно не встановлена).

В системі $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ можливі: рідка фаза — розчин заліза й вуглецю та чотири твердих – δ – та α – тверді розчини – **ферит** (Φ), γ – твердий розчин – **аустеніт** (A), і цементит Fe_3C . Ліквідус – $ABCD$; солідус – $AHIECF$.

Затвердіння сплавів, які містять до 0,5% C , починається з утворення δ – фериту за реакцією $P_{(AB)} \rightarrow \delta\text{-ферит} (\Phi_{(AH)})$ (див. рис. 5.1). Характер подальшої кристалізації сплавів залежить від вмісту в них вуглецю. Сплави з вмістом до 0,1% C (до точки H), повністю тверднуть в інтервалі температур, який відповідає лініям AB та AH з утворенням однофазної структури δ – фериту. Цій структурі відповідає ділянка діаграми, що знаходиться зліва від лінії AHN .

Сплави з 0,1...0,5% C (між точками H і B) кристалізуються дещо складніше. Після виділення з рідини відповідної кількості фериту при температурі 1499°C (ізотерма HIB) вони зазнають перитектичного перетворення:

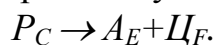


В сплаві, який містить 0,16% C (I), обидві вихідні фази ($P + \delta\text{-ферит}$), взаємодіючи між собою при перитектичному перетворенні, без залишку витрачаються на утворення γ – твердого розчину (**аустеніту**). Після цього сплав набуває однофазної структури – аустеніт. В сплавах, які містять від 0,1 (H) до 0,16% C (I), після перитектичної реакції залишається в залишку частка δ – фериту, який при подальшому охолодженні сплаву (в результаті перетворення гратки $OЦК$ в $ГЦК$) в інтервалі температур, які відповідають лініям HN та IN , перетворюється в аустеніт: $\delta_{(HN)} \rightarrow \gamma_{(IN)} (\Phi \rightarrow A)$. Сплави з вмістом вуглецю 0,16...0,5% остаточно тверднуть в інтервалі температур ліквідус (BC) – солідус (IE), при яких залишкова рідина кристалізується в аустеніт: $P_{(BC)} \rightarrow A_{(IE)}$. Цією ж реакцією також описується процес затвердіння сплавів із вмістом вуглецю 0,5...2,14% C .

Таким чином усі сплави, які містять менше 2,14% C , після першої кристалізації отримують однофазну структуру – аустеніт, яка зберігається при охолодженні до температур, відповідних лінії GSE . При подальшому охо-

лодженні проходить перекристалізація аустеніту, в результаті чого формується кінцева структура сплавів.

У групі сплавів, які містять від 2,14 (E) до 6,67 % C(F), існує евтектичний сплав з 4,3 % C (точка C), який при 1147 °C (ізотерма ECF), є одночасно насиченим вуглецем і залізом, кристалізується за евтектичною реакцією:



Утворена евтектична суміш двох фаз (A+C) називається *ледебуритом*.

Сплави доевтектичні 2,14 (точка E)...4,3 % C (точка C) і заевтектичні 4,3...6,67 % C кристалізуються в два етапи. На першому в інтервалі температур ліквідус (BCD) – солідус (ECF) із рідкої фази виділяються первинні кристали: в доевтектичних – аустеніт (A), в заевтектичних – цементит (C)_I. На другому етапі рідина, що залишилась, твердне з утворенням евтектики – *ледебурит* (цементит + аустеніт). В результаті первинної кристалізації доевтектичні сплави мають структуру A_E+Л, заевтектичні – C_I+Л. До і заевтектичні сплави після первинної кристалізації мають дві фази – аустеніт і цементит.

Лінія AHN (див. рис. 5.1) показує границю розчинності вуглецю в δ-Fe, лінія GPQ – в α-Fe, лінія ES – в γ-Fe. Таким чином, максимальна розчинність вуглецю в δ-Fe становить 0,1 % (точка H, температура 1499°C), в α-Fe – 0,02% C при 727 °C (точка P) і 0,01% C при 600 °C (Q); в γ-Fe – 2,14% (точка E).

Сплави заліза з вуглецем, якого в сплаві менше 0,02%, називаються *технічним залізом*. Справа від лінії GPQ ферит є пересиченим твердим розчином, на лінії GPQ він гранично насичений вуглецем. При охолодженні сплавів, розташованих на діаграмі справа від PQ, нижче 727 °C із фериту виділяється надлишковий вуглець, що приводить до формування цементиту третинного (C_{III}) у вигляді сітки на границях зерен фериту. Структура технічного заліза показана на рис. 5.3, а. Якщо в структурі сплавів (0,02...6,67 % C) уже є цементит, то C_{III} нашаровується на нього і металографічним методом не визначається.

Лінія ES показує границю насичення аустеніту вуглецем залежно від температури сплаву. Розчинність вуглецю максимальна при 1147 °C (точка E) – 2,14%. В результаті аустеніт у сплавах, вміст вуглецю в яких більше 0,8% (точка S), справа від лінії ES виявляється перенасиченим твердим розчином і з нього виділяється вуглець, який іде на утворення цементиту вторинного (C_{II}). У сталях C_{II} формується частіше у вигляді сітки на границях зерен аустеніту, в чавунах найчастіше нашаровується на цементиті ледебуриту.

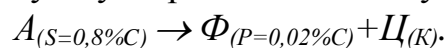
Вуглець, розчинюючись в ОЦК гратці заліза δ і α, змінює їх і тим самим знижує температурну стійкість цих структур. Тому, чим більше вуглецю розчинено в δ-Fe, тим при більш високих температурах гратка δ перетворюється в γ - гратку; чим більше вуглецю в сплаві, тим при більш низьких температурах аустеніт перетворюється в α-ферит. Таким чином, розчи-

нення вуглецю в залізі спричиняє підвищення температури A_4 (лінія NI) і зниження A_3 (лінія GS), розширення температурної області існування аустеніту й зниження області фериту.

При охолодженні сплавів, які містять менше $0,8\% C$, перетворення аустеніту у ферит починається при температурах, що відповідають лінії GS . Це перетворення через різну розчинність вуглецю у фериті (GP) і аустеніті (ES) супроводжується дифузійним перерозподілом вуглецю між ними. Тому перебудова ґраток проходить в температурному інтервалі $GS - GP$. Ділянка PGS є ділянкою двофазної структури, в якій ферит знаходиться в рівновазі з аустенітом.

У сплавах, що розташовані між точками P та S , під час охолодження із утворенням фериту в указаному інтервалі температур аустеніт збагачується вуглецем (GS). При $727^\circ C$ вміст вуглецю в аустеніті на заключному етапі досягає $0,8\% (S)$, ґратка $\gamma - Fe$ ($ГЦК$) втрачає стійкість і перебудовується в ґратку $\alpha - Fe$ ($ОЦК$), в якій при $727^\circ C$ розчиняється тільки $0,02\% C$ (P).

Поліморфне перетворення $ГЦК_{(0,8\% C)} \rightarrow ОЦК_{(0,02\% C)}$ супроводжується виділенням вуглецю з розчину й утворення цементиту:



Це трифазне перетворення, обумовлене поліморфізмом заліза, що відбувається при $727^\circ C$, називається евтектоїдним. На відміну від трифазного евтектичного перетворення, при евтектоїдному вихідною фазою є не рідкий, а твердий розчин (в даному випадку аустеніт). Суміш фаз, що виділилася з твердого розчину називається евтектоїдом, при чому число фаз дорівнює числу компонентів системи. Структурна складова залізовуглецевих сплавів, яка утворюється в результаті розпаду аустеніту і яка складається із пластинок двох фаз – фериту і цементиту, що чергуються між собою, називається **перлітом** ($П$). Температура утворення перліту відповідає критичній температурі A_1 .

На діаграмі метастабільної рівноваги точці A_1 відповідає лінія PSK ($727^\circ C$). Евтектоїдне перетворення $A \rightarrow П$, проходить в усіх сплавах, які містять більше $0,02\% C$ (точка P), тобто в сталях і чавунах.

Сплави з вмістом вуглецю $0,02...2,14\% C$, у структурі яких присутній перліт, називаються **сталями** (*steel*). Сталі поділяються на *доевтектоїдні* ($C=0,02...0,8\% C$, структура $\Phi+П$); *евтектоїдні* ($C=0,8\% C$, структура *перліт*); *заевтектоїдні* ($C=0,8...2,14\% C$, структура $П+Ц_{II}$). Схеми структур цих сталей показані на рис. 5.3.

Сплави, які містять від $2,14$ до $6,67\% C$, у структурі яких присутня певна доля евтектики – ледебуриту, називаються **чавунами**. Вони поділяються на *доевтектичні* ($C=2,14...4,3\% C$, структура $П+Л$); *евтектичні* ($C=4,3\% C$, структура - ледебурит); *заевтектичні* ($C>4,3\% C$, структура $Ц_I+Л$).

Цементит третинний в сталях і чавунах, а також цементит вторинний в евтектичному і заевтектичному чавунах як самостійні структурні складові при мікроструктурному аналізі зазвичай не визначаються.

Необхідно зазначити, що всі описані зміни структури, що проходять при охолодженні сплавів, повторюються і при нагріванні сплавів (у зворотному порядку). Це справедливо лише в тому випадку, коли охолодження і нагрівання проходять із дуже малими швидкостями, і при будь-якій температурі всі можливі перетворення повністю завершені й сплави знаходяться в стані фазової рівноваги.

Про фазові перетворення можна судити з кривих їх охолодження або нагрівання. Як приклад розглянемо процес структуроутворення в сталі з 0,4% C (рис. 5.2). Вище точки 1 сталь знаходиться в рідкому стані і безперервно охолоджується. В інтервалі температур 1-2 із рідкої фази, склад якої змінюється по ліквідусу AB , випадають кристали δ -фериту, склад яких визначається по солідусу AN . За правилом фаз $C=2-2+1=1$, $t \neq const$. При кристалізації виділяється тепло, на ділянці кривої 1-2 охолодження сплаву зменшується. При температурі точки 2 проходить трифазне перитетичне перетворення: $P_B + \delta_H \rightarrow A_1 + P(\text{залишок})$; $C=2-3=1=0$, $t=const$. Залишкова рідина кристалізується при безперервному охолодженні в інтервалі температур 2-3 з утворенням аустеніту. В інтервалі 3-4 сплав має структуру A (аустеніту), безперервно охолоджується. При температурах 4-5 проходить поліморфне перетворення, ГЦК перебудовується в ОКЦ гратку і з аустеніту виділяються кристали α -фериту.

При температурі точки 5 проходить трифазне евтектоїдне перетворення $A_{(S)} \rightarrow \Phi_{(P)} + \Pi_{(K)}$, коли з аустеніту, не перетвореного у ферит, утворюється **евтектоїд - перліт** ($\Phi + \Pi$). У процесі подальшого охолодження сплаву з фериту виділяється Π_{III} , який нашаровується на цементиті перлітному. Структура сталі охолодженої нижче температури точки 5 (до точки б) - $\Phi + \Pi$ (рис. 5.3, а).

Масові долі (%) фериту й перліту як структурних складових сталей можуть бути визначені за правилом відрізків. Наприклад, при $600^\circ C$ $\Phi = (0,8 - 0,4) / (0,8 - 0,01) 100 = 50\%$, а перліту $\Pi = (0,4 - 0,01) / (0,8 - 0,01) 100 = 50\%$. Масова доля фериту як фази, що існує разом із цементитом, $\Phi = (6,67 - 0,4) / (6,67 - 0,01) 100 = 94\%$. Решта 6% належать іншій фазі – цементиту.

Таким чином, структура, що містить 0,4% C, складається із 50% фериту і 50% перліту (відповідно до фазового аналізу - 94% $\Phi + 6\% \Pi$).

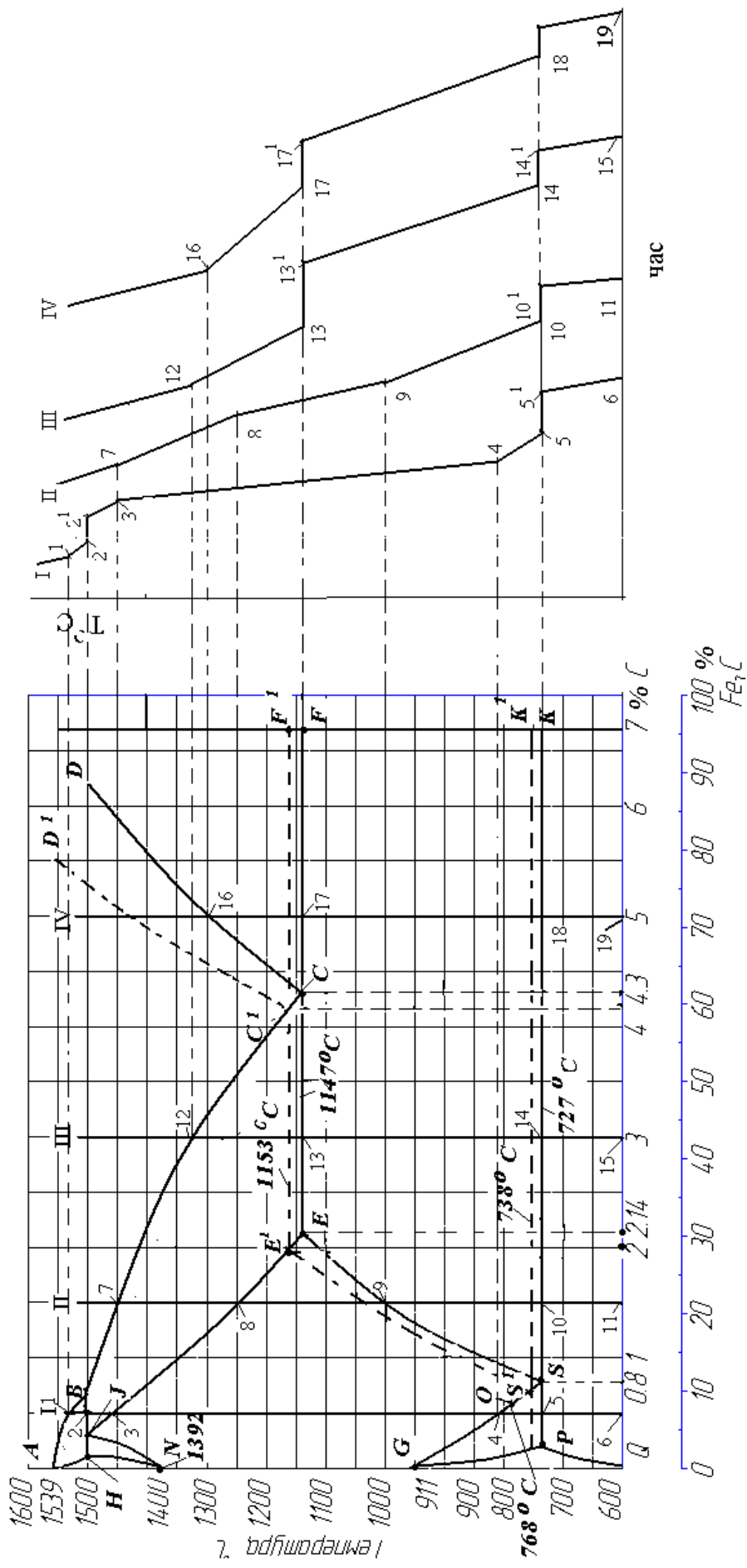


Рисунок 5.2 – Діаграма стану системи “Залізо-вуглець” і криві охолодження сталей (сплави I і II) і чавунів (сплави III і IV)

Аналогічна ферито-перлітна структура (тільки з різною часткою цих складових) усіх доевтектоїдних сталей (рис. 5.3, б).

Кристалізація типової заевтектоїдної сталі II з 1,5 % вуглецю (рис. 5.2) відбувається в інтервалі температур від точки 7 до точки 8, коли з рідкої сталі з'являються зерна аустеніту. Після закінчення кристалізації від температури точки 8 до точки 9 в аустенітній області відбувається просте фізичне охолодження однофазного сплаву. Оскільки лінія ES – лінія сольвусу, тобто лінія обмеженої розчинності вуглецю в γ -Fe (аустеніті), то нижче від точки 9 аустеніт стає перенасиченим вуглецем. Надлишкові атоми вуглецю виходять із ґратки аустеніту, зв'язуються з атомами заліза у хімічну сполуку – цементит. Такий цементит визначають як вторинний - Ц_{II}. Він виділяється по межах аустенітних зерен у вигляді тонкого прошарку. При охолодженні до 727 °С кількість вуглецю в аустеніті зменшується до 0,8 % (від точки 9 до точки S по лінії ES) і такий аустеніт при температурі точки 10 перетворюється на перліт. Структура всіх заевтектоїдних сталей – темні зерна перліту, оточені світлими прошарками вторинного цементиту (рис. 5.3, г).

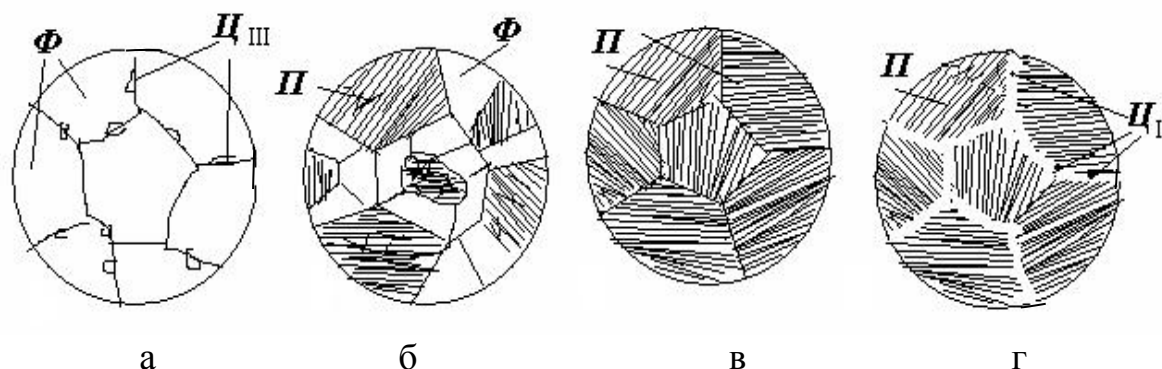


Рисунок 5.3 – Схеми структур: а – технічного заліза; б — доевтектоїдної сталі; в – евтектоїдної сталі; г – заевтектоїдної сталі

Як уже зазначалось, залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю більше 2,14% є чавунами, які поділяються на евтектичні, до- і заевтектичні.

У доевтектичних чавунах (сплав III, рис. 5.2) первинна кристалізація відбувається в інтервалі температур між точками 12 і 13 з виділенням аустеніту. При температурі точки 13 (1147 °С) проходить евтектичне перетворення $P_C \rightarrow L(A_F + C)$. Згідно з правилом фаз – $C=2-3+1=0$ – це перетворення відбувається при постійній температурі (див. криву охолодження сплаву III).

Після закінчення цієї реакції структура сплаву буде складатися з аустеніту та ледебуриту. При зниженні температури з 1147 °С до 727 °С (точка 14) із аустеніту, в якому було 2,14 % С за рахунок зменшення розчинності вуглецю до 0,8 % (точка S) виділяється вторинний цементит Ц_{II}, що розміщується навколо зерен аустеніту. Такий вторинний цементит виділяється також і з аустеніту, що входить до складу ледебуриту. При температурі

727°C проходить евтектоїдне перетворення аустеніту (як первинного, так і того, що входив до складу ледебуриту) в перліт ($A \rightarrow П$), після завершення якого кінцева структура доевтектичних чавунів (рис. 5.4, а) буде складатися з перліту (темні зерна) і плямистої структури ледебуриту (темні плями перліту на фоні світлого цементиту). Вторинний цементит зливається з цементитом ледебуриту і як окрема фаза не спостерігається.

Структура евтектичного чавуну з 4,3 % С – суто ледебуритна (рис. 5.4, б).

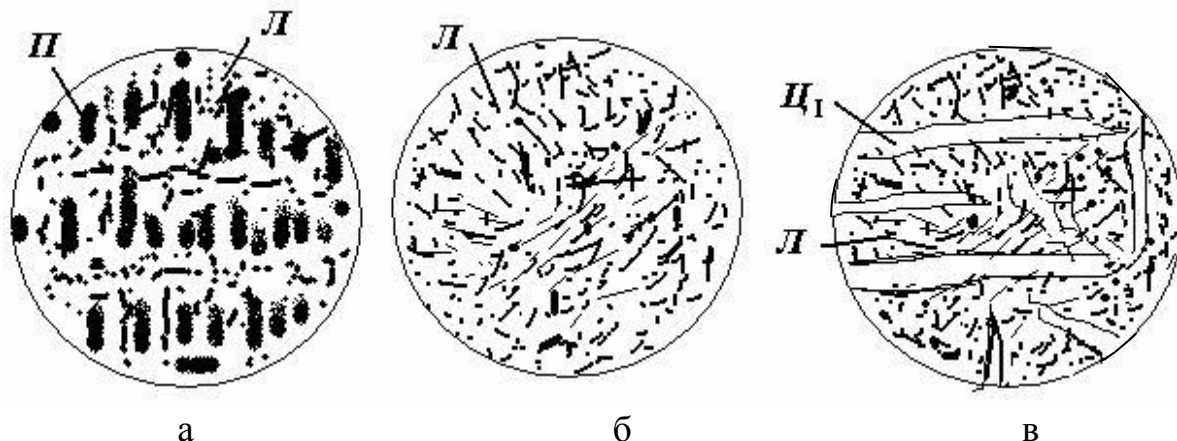


Рисунок 5.4 – Схеми структур чавунів: а – доевтектичного; б – евтектичного; в - заевтектичного

Кристалізація заевтектичних чавунів (сплав IV на рис. 5.2) починається з виділення в точці 16 кристалів первинного цементиту Ц₁ у вигляді пластин. При температурі точки 17 (1147 °С) відбувається евтектичне перетворення $P_C \rightarrow Л(A_E + Ц)$, після завершення якого структура буде складатися з ледебуриту і первинних кристалів цементиту. Така структура буде зберігатися аж до кімнатної (точки 19) з тією різницею, що в кінцевому ледебуриті буде не аустеніт, а перліт, який утворився внаслідок евтектоїдного перетворення при температурі точки 18 — 727 °С (рис. 5.4, в).

Ці чавуни називаються білими, оскільки в зламі мають білий сріблястий колір, який визначається наявністю в структурі цементиту.

Діаграма стабільної рівноваги, позначена на рис. 5.2 пунктиром, відображає можливість утворення високовуглецевої фази – графіту на всіх етапах процесу структуроутворення в сплавах з підвищеним вмістом вуглецю. В інтервалі температур ліквідус DC – солідус CF із рідини виділяється графіт. При евтектичній температурі 1153 °С (ізотерма $E^1 C^1 F^1$) рідина складу С твердне з утворенням графітної евтектики ($A_E + Г$). В інтервалі температур ECF – PSK через зменшення розчинності вуглецю в аустеніті (лінія ES) виділяється графіт. При евтектоїдній температурі ($t_{PSK} = 738$ °С) вміст вуглецю в аустеніті досягає 0,7 % (S^1) і аустеніт розпадається на ферит і графіт.

Таким чином, при охолодженні сплавів, які включають 2,14...6,67 % C, формується структура, яка складається з фериту та графіту. Це так звані графітізовані чавуни.

Завдання на роботу.

1. Уважно вивчити теоретичний матеріал.
2. Скласти звіт про роботу, в якому:
 - зробити рисунок діаграми стану “залізо – цементит” і нанести на неї ординату, що показує склад сплаву згідно з варіантом табл. 5.1;
 - дати точну назву вказаного сплаву;
 - показати криву охолодження сплаву (поруч з діаграмою стану);
 - описати процес кристалізації і подальшого формування структури цього сплаву з рідкого стану до кімнатної температури;
 - визначити, які фази і структурні складові будуть у сплаві при кімнатній температурі;
 - визначити кількість цих фаз і структурних складових за правилом важеля;
 - показати схему кінцевої структури сплаву з вказанням на схемі структурних складових.

Таблиця 5.1 – Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанта	% вуглецю	№ варіанта	% вуглецю	№ варіанта	% вуглецю
1	5,5	6	4,0	11	0,01
2	0,1	7	2,5	12	0,2
3	0,16	8	4,5	13	0,6
4	0,3	9	0,8	14	3,5
5	1,0	10	2,0	15	4,3

Контрольні питання для самопідготовки

1. Що визначають точки G та N на діаграмі стану залізо-вуглець?
2. Як впливає вуглець на температуру поліморфного перетворення заліза?
3. Що визначають точки A₄, A₃, A₂, A₁ для чистого заліза та для його сплавів з вуглецем?
4. Які фази притаманні залізовуглецевим сплавам?
5. Які структури утворюються в залізовуглецевих сплавах?
6. Які перетворення називаються евтектичним, евтектоїдним, перитектичним в залізовуглецевих сплавах?
7. Які структури називається ледебуритом, перлітом?
8. Який цементит називається первинним, вторинним, третинним?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУР ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ У РІВНОВАЖНОМУ СТАНІ

Мета роботи: отримати навички у проведенні мікроаналізу структур вуглецевих сталей, визначення за ними типу сплаву, вміст вуглецю, марки сталі, її властивостей і практичного застосування.

Матеріали та обладнання. Для виконання цієї лабораторної роботи студентам надаються зразки шліфів сталей різного хімічного складу, металографічний мікроскоп, фотографії мікроструктур сталей.

Теоретичні відомості. Мікроструктура вуглецевих сталей в рівноважному стані, отримана після повільного охолодження (відпалу), може бути визначена з діаграми стану “залізо-вуглець”. Сплави, які вміщують вуглецю до 0,02 % називаються технічним залізом. Його структура складається зі світлих зерен фериту з добре помітними темними границями (рис. 6.1, а), на яких виділяється третинний цементит. (Для того, щоб відрізнити ферит від цементиту, шліфи протравлюють реактивом – пікратом натрію, який забарвлює цементит в темний колір і не діє на ферит). Сплави з вмістом вуглецю 0,02...2,14 % називаються сталями. Вони поділяються на доевтектоїдні (0,02...0,8 % С), евтектоїдні (0,8 % С) і заевтектоїдні (0,8...2,14 % С).

Структура доевтектоїдних сталей складається з фериту та перліту (рис. 6.1, б), евтектоїдних – тільки з перліту (рис. 6.1, в), заевтектоїдних – перліту і вторинного цементиту (Ц_{II}), який при повільному охолодженні виділяється по границях зерен перліту і спостерігається під мікроскопом у вигляді сітки білого кольору при травленні шліфа розчином азотної кислоти (рис. 6.1, г).

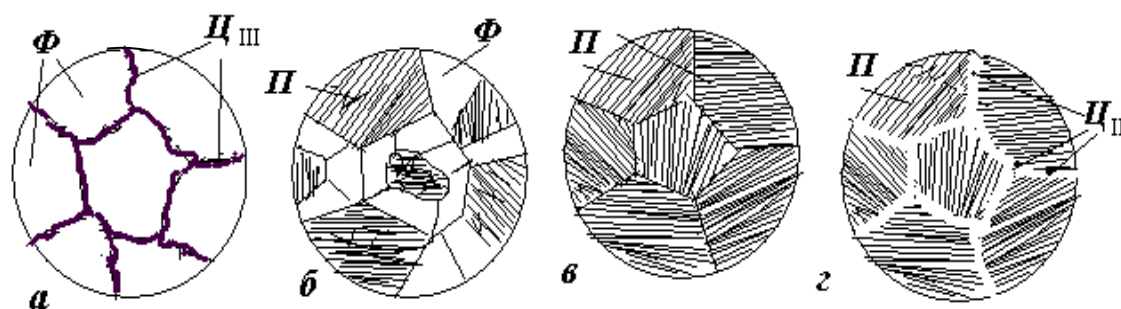


Рисунок 6.1 –Схема структур залізовуглецевих сплавів: а - технічного заліза; б – доевтектоїдної сталі; в – евтектоїдної сталі; г – заевтектоїдної сталі

Виділення вторинного цементиту по границях зерен перліту є небажаним, оскільки така структура має підвищену твердість і погано оброблюється різанням. Чим більше в сталі вуглецю, тим ширшою є цементитна сітка і менше утворюється перліту.

Таким чином, із збільшенням вмісту вуглецю в сталі змінюється їхня структура і фазовий склад: зменшується частка м'якого фериту, збільшується кількість твердого цементиту і відповідно до цього зростають твердість (HB), границя міцності (σ_B), зменшується пластичність (δ) і ударна в'язкість (KC) –рис. 6.2.

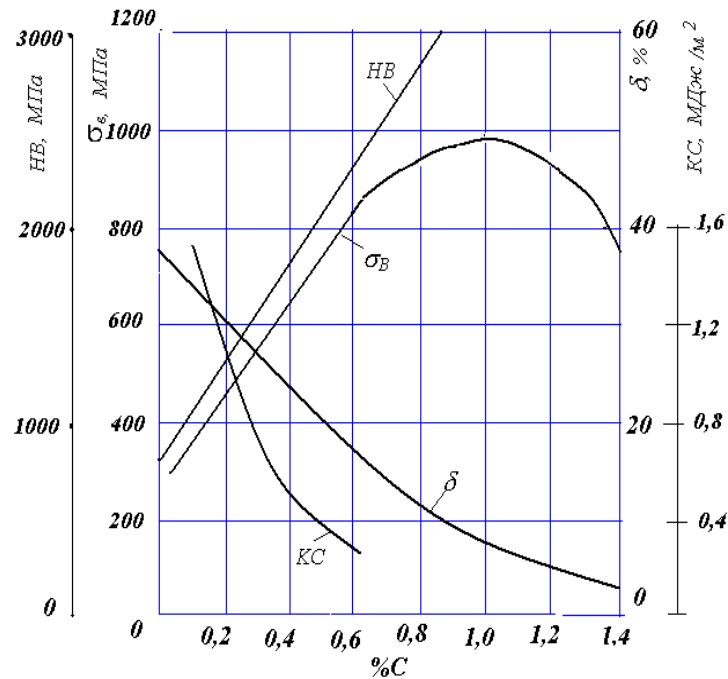


Рисунок 6.2 – Вплив вмісту вуглецю на механічні властивості сталі

За структурою сталі, що знаходиться в рівноважному стані, можна приблизно визначити вміст вуглецю, і, таким чином, марку сталі. Для цього на мікроструктурі, що вивчається під мікроскопом, орієнтовно визначають площі, які займають перлітом і феритом. Вміст вуглецю у фериті, як ми знаємо, при кімнатній температурі менше 0,01 % і ним можна знехтувати, тобто прийняти рівним нулю. Вміст вуглецю у перліті – 0,8 %.

Наприклад, при мікроструктурному аналізі визначили, що площа, яку займає ферит, складає 30 %, а перліт – 70 % всієї площі. Тоді кількість вуглецю, що вноситься перлітом, визначається за пропорцією:

$$\begin{aligned} 100 \% \text{ перліту} & \text{ — } 0,8 \% \text{C} \\ 70 \% \text{ перліту} & \text{ — } x \% \end{aligned}$$

$$\text{Звідки: } x = \frac{70 \cdot 0,8}{100} = 0,56\% .$$

Такий приблизно вміст вуглецю має вуглецева сталь марки 55. Визначати марку заевтектоїдної сталі за такою методикою не варто, оскільки навіть приблизно визначити площу, яку займає цементитна сітка, практично неможливо.

Завдання на роботу.

1. Розглянути під мікроскопом зразки сталі і визначити структурні складові.
2. Вказати клас сталі (до-, за- чи евтектоїдна).
3. За структурою визначити вміст вуглецю і вказати марку сталі.
4. Зарисувати схеми мікроструктур.
5. Скласти звіт про роботу, в який включити:
 - дільницю діаграми стану “залізо – цементит” для сталей;
 - графік залежності механічних властивостей сталі від вмісту вуглецю;
 - механічні властивості розглянутих марок сталей;
 - висновки.

Контрольні питання для самопідготовки

1. Які сталі називаються доевтектоїдними, заевтектоїдними?
2. Яка структура доевтектоїдних сталей при їх рівноважному стані?
3. Яка структура заевтектоїдних сталей при їх рівноважному стані?
4. Як можна визначити марку сталі за її структурою?
5. Який вплив вмісту вуглецю і цементиту на механічні властивості сталей (твердість, міцність, ударну в'язкість)?
6. Як досягається рівноважний стан сталі?
7. Що називають “технічним залізом”?
8. Який вміст вуглецю в перліті?
9. Який вміст вуглецю у фериті?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНІВ

Мета роботи: отримати навички визначення за мікроструктурою виду чавуну, оцінити його механічні властивості, встановити орієнтовно марку (крім білого чавуну) та сферу його використання.

Матеріали та обладнання. Для виконання даної лабораторної роботи потрібні: зразки мікрошліфів та фотографії мікроструктур чавунів різних типів, металографічний мікроскоп.

Теоретичні відомості. За хімічним складом чавуну відрізняються від сталей більш високим вмістом вуглецю (більше 2,14 %) і постійних домішок (S, P, Si, Mn). Чавун має більш низькі механічні властивості, ніж сталь. Однак його гарні технологічні властивості (ливарні, оброблюваність різанням, зносостійкість, антифрикційні властивості тощо) роблять чавун придатним для виготовлення різноманітних деталей для машин різного технологічного призначення, в тому числі і для сільськогосподарських машин. Залежно від стану вуглецю чавуну поділяються на дві групи: **білі чавуни**, в яких весь вуглець знаходиться в складі хімічної сполуки Fe_3C (цементиту), і **графітізовані чавуни**, в яких весь вуглець або більша його частина знаходиться у вільному стані у вигляді графіту.

Структура білих чавунів залежить від вмісту вуглецю і відповідає діаграмі стану залізо-цементит (рис. 7.1).

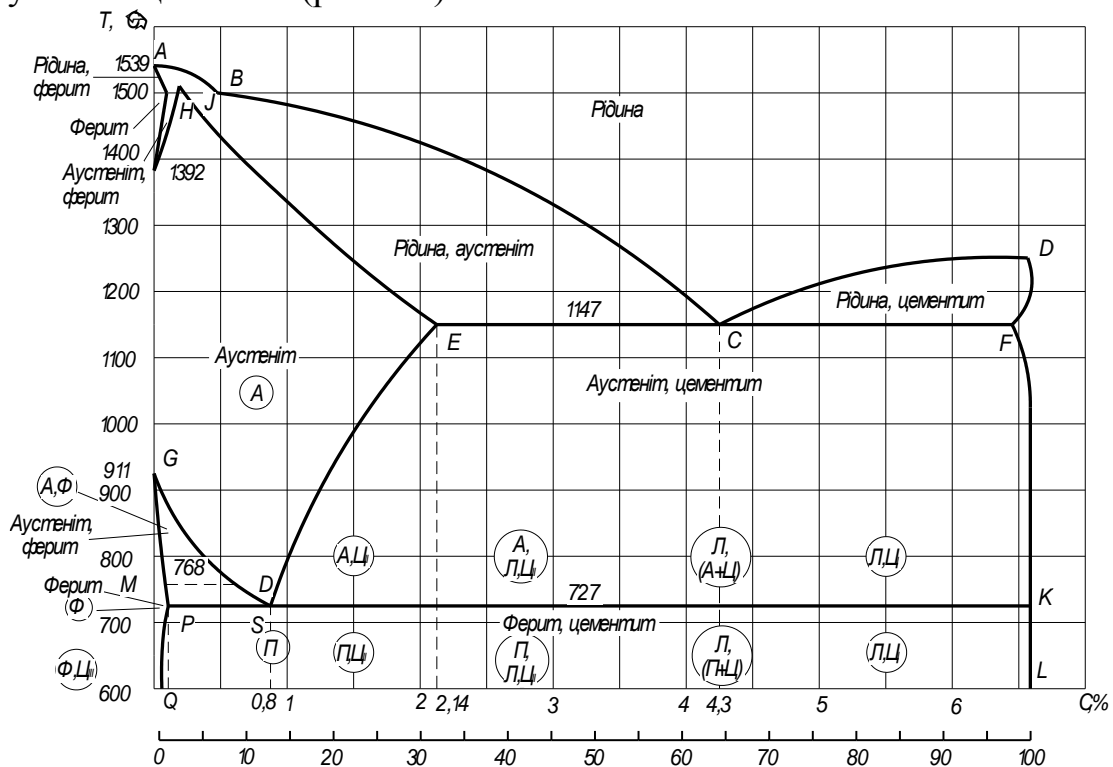


Рисунок 7.1 – Діаграма стану системи залізо-цементит

За вмістом вуглецю чавуни поділяються на: **доевтектичні** (2,14...4,3 % С, на діаграмі стану від точки *E* до точки *C*). Їх структура має три складових — **перліт, ледебурит, вторинний цементит** (рис. 7.2, а). Перліт спостерігається під мікроскопом у вигляді темних зерен, частина цементиту вторинного – світлих оболонок навкруги перлітних зерен, а інша частина зливається з цементитом ледебуриту і під мікроскопом як окрема складова не спостерігається; ледебурит має вигляд ділянок з невеликими темними зернами округлої або витягнутої форми перліту, рівномірно розташованих у білій цементитній основі.

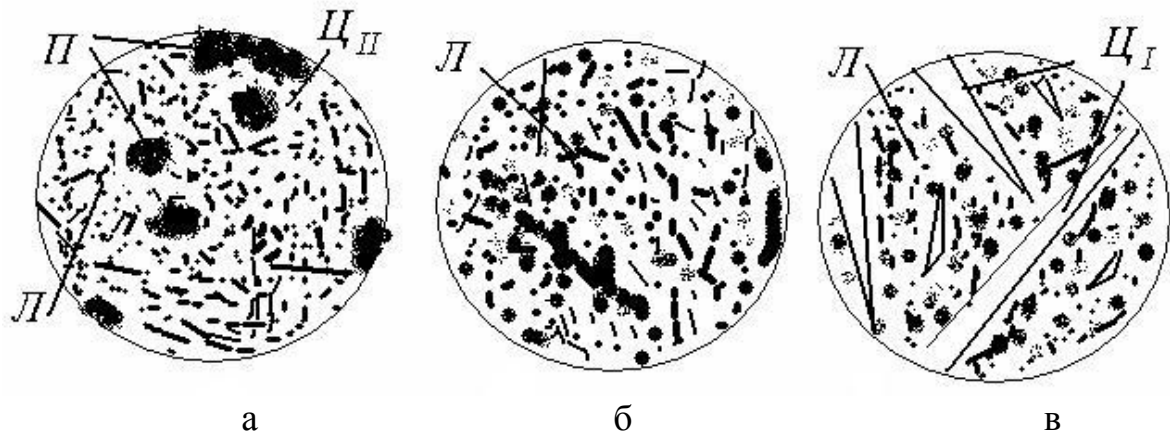


Рисунок 7.2 – Мікроструктури білих чавунів: а – доевтектичного; б – евтектичного; в – заевтектичного

Евтектичний чавун (4,3 % С) складається з ледебуриту — механічної суміші перліту з цементитом (рис. 7.2, б).

Заевтектичний чавун (4,3...6,7 % С) має дві структурні складові – первинний цементит і перліт (рис. 7.2, в).

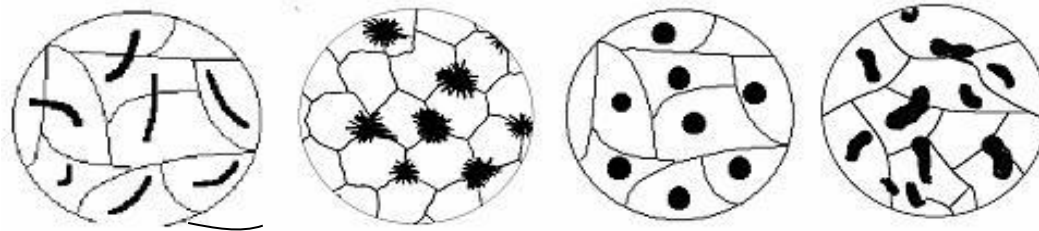
Білі чавуни надто крихкі та тверді, погано обробляються різальним інструментом і в машинобудуванні використовуються дуже рідко (зірочки для очистки литва від пригару, кули млинів), зазвичай вони йдуть на виготовлення ковкого чавуну.

Конструкційними чавунами є графітізовані чавуни, які поділяються на чотири види залежно від форми графітних включень у їх структурі: **сірі, ковкі, високоміцні** та чавуни з **вермикулярною формою графіту**. Структура металевої основи в усіх цих чавунах може бути феритною, феритно-перлітною або перлітною.

В сірих чавунах (*grey cast iron*) графіт має **пластинчасту** форму (рис. 7.3, а), в ковких — компакту **пластівчасту** (рис. 7.3, б), у високоміцних — **кулясту** (рис. 7.3, в), у чавунах з вермикулярною формою – у вигляді коротких потовщених пластин з округлими кінцями (рис. 7.3, г). Цю форму можна розглядати як проміжну між пластинчастою і кулястою.

Пластинчаста форма графіту в сірому чавуні суттєво знижує механічні властивості чавуну, зокрема міцність, пластичність, ударну в'язкість. В той

же час графітні включення полегшують оброблюваність різанням, роблять стружку ламкою, підвищують зносостійкість і здатність поглинати вібрації і резонансні коливання, надають чавуну хороших ливарних властивостей. Отриманню сірих чавунів сприяє повільне охолодження виливків, підвищений вміст кремнію та знижений марганцю, а також такий поцес як модифікування рідкого чавуну феросиліцієм або силікокальцієм. Сірий чавун – складний сплав, хімічний склад якого коливається в таких межах: 3,2...3,8 % *C*; 1,0...3,5 % *Si*; 0,5...0,8 % *Mn*; 0,2...0,4% *P*; до 0,12 % *S*. Виготовляють такий чавун за ГОСТ 1412-85 марок: СЧ10; СЧ15; СЧ20; СЧ25; СЧ30; СЧ35; СЧ40; СЧ45 (*C* – сірий, *Ч* – чавун, цифри показують міцність чавуну в кг/мм²). Твердість сірого чавуну коливається від НВ 129 до НВ 269 залежно від марки. Пластичність сірого чавуну мізерно мала (відносне видовження δ не перевищує 0,5%), тому він може застосовуватись для виготовлення деталей, які не зазнають навантажень на розтяг і удар. Це блоки циліндрів, картери, гільзи, циліндри парових машин, маховики, станини металорізальних верстатів тощо.



a

б

в

г

Рисунок 7.3 – Схеми форми графіту в чавунах: *a* – сірому, *б* – ковкому, *в* – високоміцному, *г* – з вермикулярною формою графіту

Ковкий чавун (ГОСТ 1215-79). Ковким називається чавун, в якому графіт має пластівчасту (кляксоподібну) форму. Така форма графіту утворюється з білого чавуну внаслідок його тривалої витримки (відпалювання) при температурі 950...1000 °С. Назва “ковкий” не означає, що цей чавун можна кувати або піддавати будь-якій іншій обробці тиском. Це суто ливарний матеріал, а назва свідчить тільки про його більшу пластичність порівняно із сірим чавуном. Ковкий чавун поділяється на марки: КЧ30-6; КЧ33-8; КЧ35-10; КЧ37-12; КЧ45-6; КЧ50-4; КЧ56-4; КЧ60-3; КЧ63-2 (*К* – ковкий, *Ч* – чавун, перші дві цифри показують міцність у кг/мм², другі – відносне видовження в процентах). Хімічний склад ковкого чавуну знаходиться в межах: 2,4...2,8 % *C*; 0,8...1,4 % *Si*; 0,3...1,0 % *Mn*; 0,08...0,1 % *S*; до 0,2 % *P*. Знижені значення вмісту вуглецю та кремнію і підвищений марганцю потрібні для того, щоб у виливках була структура білого чавуну. З цією ж метою товщина стінок виливків не повинна перевищувати 40...50 мм. При більших розмірах в стінках можливе утворення пластівчастого графіту і чавун стає непридатним для відпалювання.

Ковкі чавуни знайшли застосування в сільськогосподарському, автомобільному, текстильному машинобудуванні. З нього виготовляють деталі високої міцності, що працюють у важких умовах зношування, здатні сприймати ударні та змінні за напрямом навантаження (картери редукторів, гаки, скоби, фланці, маточини коліс, елементи карданних валів, ланцюги та ролики конвеєрів тощо). Добрі ливарні властивості вихідного білого чавуну дають можливість виготовляти виливки складної форми.

Високоміцний чавун (ДСТУ 3925-99). Високоміцним називається чавун, в якому графітні включення мають кулясту форму. Така форма графіту утворюється при обробці рідкого чавуну невеликими дозами таких елементів як магній, церій, кальцій, ітрій. Ці елементи називаються **модифікаторами**. Вони практично не змінюють хімічний склад сплавів, зате суттєво впливають на їхню структуру, змінюючи форму графітних включень, розмір зерен, їх розташування тощо. Як модифікатор для виготовлення чавуну з кулястим графітом найчастіше всього використовується магній – найбільш ефективний і дешевий елемент. Остаточний вміст магнію для отримання кулястого графіту становить 0,04...0,06%. За вмістом решти елементів високоміцний чавун не відрізняється від сірого, за винятком сірки, якої у високоміцному чавуні 0,01...0,03%. Таке зменшення вмісту сірки відбувається завдяки тому, що магній при обробці рідкого чавуну активно реагує із сіркою з утворенням нерозчинних у чавуні сульфідів магнію Mg_2S . Високоміцний чавун поділяється на марки: ВЧ 350-22; ВЧ 400-15; ВЧ 420-12; ВЧ 450-10; ВЧ 450-5; ВЧ 500-7; ВЧ 600-7; ВЧ 700-2; ВЧ 800-2; ВЧ 900-2; ВЧ 1000-2 (В – високоміцний, Ч – чавун, перше число вказує межу міцності на розтяг в МПа, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках).

Високоміцний чавун використовується для виготовлення середньота важко навантажених деталей відповідального призначення: прокатного, ковальсько-пресового обладнання, корпусів парових турбін, колінчастих валів для автомобілів, тракторів та комбайнів, поршнів, кронштейнів та інших деталей.

Чавун із вермикулярним графітом. Високоміцний чавун із кулястим графітом поряд із його позитивними якостями (високі механічні та експлуатаційні характеристики) має і суттєві недоліки (підвищену об'ємну усадку, понижену теплопровідність, схильність до відбілу). У чавуні з **вермикулярним** графітом ці недоліки відсутні. В ньому поєднуються високі механічні і ливарні властивості, висока теплопровідність, низька собівартість.

Графіт в такому чавуні має вигляд коротких потовщених пластин з закругленими кінцями (рис. 7.3, г), форма яких є перехідною між пластинчастим і кулястим графітом. Як конструкційний матеріал чавун із вермикулярним графітом є найбільш молодим типом чавуну.

Перша технологія його виробництва була розроблена лише в 1966 році. Суть цієї технології полягає в тому, що рідкий чавун обробляється модифікаторами в кількості, недостатній для отримання цілковито куляс-

тої форми графіту. У структурі чавуну утворюється вермикулярний графіт і 20..30 % кулястого. Наприклад, при обробці чавуну магнієвими модифікаторами остаточний вміст магнію для забезпечення вермикулярного графіту повинен бути біля 0,02 %.

До 1999 р. не було стандартів на чавун із вермикулярним графітом, і навіть це не перешкоджало його успішному використанню в машинобудуванні. Зараз існує ДСТУ 3326-99 “Чавун з вермикулярним графітом”, за яким цей чавун поділяється на марки: ЧВГ 300-4; ЧВГ 400-4; ЧВГ 500-1 (Ч – чавун, В – вермикулярний, Г – графіт, перше число вказує межу міцності на розтяг в МПа, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках).

Чавун з вермикулярним графітом є ефективним матеріалом для деталей машин, які зазнають досить високих статичних, ударних і циклічних навантажень, працюють в умовах теплозмін тощо. В автомобілебудуванні цей чавун застосовується для виготовлення головок блоків циліндрів, випускних колекторів, гальмівних дисків, колінчастих і розподільчих валів, блоків циліндрів, зубчастих коліс, корпусів турбокомпресорів тощо.

Завдання на роботу

1. Вивчити під мікроскопом мікрошліфи чавунів, визначити структурні складові і за ними визначити вид чавуну (білий, сірий, ковкий, високоміцний).
2. Зарисувати схеми мікроструктур.
3. Записати приблизну марку чавуну, його хімічний склад, властивості, сферу використання.
4. Скласти звіт про роботу.

Контрольні питання для самопідготовки

1. Які сплави називаються чавунами?
2. Які типи конструкційних чавунів існують?
3. Яка основна структурна відмінність чавунів різних типів?
4. Якою може бути структура металевої основи чавунів?
5. Від чого залежить отримання тієї чи іншої структури металевої основи чавунів?
6. В чому полягає технологія виготовлення ковкого чавуну?
7. В чому полягає технологія виготовлення високоміцного чавуну?
8. Як маркуються чавуни різних типів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛЕЙ

Мета роботи: вивчення методики призначення режимів відпалу, нормалізації і гартування, придбання практичних навичок проведення різноманітних операцій термічної обробки, дослідження впливу вмісту вуглецю і температури відпуску на твердість загартованої сталі.

Матеріали та обладнання. Для виконання цієї лабораторної роботи надаються зразки сталей, термічна піч, термопара з приладом реєстрації температури, охолодні середовища (вода, мінеральне масло), прилади для вимірювання твердості.

Теоретичні відомості. Термічною обробкою сталі називається технологічний процес, який полягає в нагріванні сталі до певної температури, витримки і наступного охолодження з певною швидкістю. При термічній обробці отримують необхідні властивості сталі, змінюючи її структуру без зміни хімічного складу. Біля 40 % сталі, споживаної машинобудуванням для виготовлення деталей машин, приладів, устаткування, піддають різноманітним видам термічної обробки. Оскільки основними чинниками при термічній обробці є температура і час, то будь-який процес термічної обробки можна подати в цих координатах.

Основні параметри режиму термічної обробки - температура нагрівання (t_H), швидкість нагрівання (v_H), тривалість витримки при температурі нагрівання (τ_B) і швидкість охолодження (v_o).

Температура нагрівання сплаву при конкретному виді термічної обробки визначається температурами фазових перетворень (критичними температурами) на відповідній діаграмі його стану. Ці критичні температури для кожної стадії позначаються літерою A з відповідним індексом ($A_1, A_2, A_3, A_4, A_{cm}$). Критичні точки A_1 на лінії PSK показують перетворення $A \rightarrow \Pi$ (при охолодженні – Ar_1) або $\Pi \rightarrow A$ (при нагріванні – Ac_1); A_3 на лінії GS – початок виділення фериту з аустеніту при охолодженні або кінець його розчинення при нагріванні (відповідно – Ar_3 і Ac_3); A_{cm} на лінії SE – початок виділення цементиту вторинного з аустеніту в заевтектоїдних сталях при охолодженні або кінець його розчинення при нагріванні (відповідно - Ar_{cm} і Ac_{cm}).

Температура нагрівання при термічній обробці сталі, щоб уникнути її оплавлення, не повинна перевищувати лінії солідуса.

Швидкість нагрівання вибирається залежно від ряду чинників: теплопровідності сталі, форми і розмірів деталей, загальної маси деталей, що нагріваються, характеру їх розташування в печі та деяких інших.

Тривалість витримки при заданій температурі нагрівання визначається швидкістю фазових перетворень, що відбуваються в металі.

Витримка необхідна для завершення фазових перетворень і вирівнювання температури по об'єму деталі.

Швидкість охолодження обирається залежно від ступеня стійкості переохолодженого аустеніту, обумовленого переважно хімічним складом сталі, а також від необхідних структури і властивостей сплаву. Залежно від швидкості охолодження вуглецевої сталі можуть бути отримані перлітна, сорбітна, троститна або мартенситна структури (рис. 8.1) з різноманітними властивостями.

Термічна обробка поділяється на власне термічну, хіміко-термічну і деформаційно-термічну. Перша в свою чергу включає чотири основні групи: відпал першого роду, відпал другого роду, гартування, відпуск.

В і д п а л (annealing) першого роду сприяє усуненню відхилень у структурі сплавів від рівноважного стану, що виникли при литті, деформуванні, механічній обробці, зварюванні й інших технологічних процесах. Розрізняють такі основні види відпалу першого роду: дифузійний, рекристалізаційний, низький.

Дифузійний, або гомогенізувальний, відпал застосовується для усунення ліквіації, тобто неоднорідності хімічного складу всередині окремих зерен або в об'ємі сплаву, що виникає частіше всього в процесі кристалізації. Він полягає у нагріванні сталі до температур, що значно перевищують критичні (1050 ... 1200 °С), тривалій витримці (10 ... 100 год) і повільному охолодженні (з виключеною піччю), що забезпечує дифузію нерівномірно розподілених елементів.

Для усунення різноманітних відхилень у структурі сплавів від рівноважного стану, що виникли в результаті наклепу при холодному пластичному деформуванні, застосовується *рекристалізаційний відпал*. Він включає нагрівання металу до температур, що перевищують температуру рекристалізації (для сталі $T_{рекp} = 0,3 \dots 0,4 T_{пл}$), витримку (1 ... 2 год) і повільне охолодження.

Низький відпал застосовується для усунення залишкових внутрішніх напружень, що виникають, наприклад, у зоні термічного впливу при зварюванні виробів внаслідок нерівномірного охолодження виливків або зрізання окремих об'ємів металу при механічній обробці і порушення врівноважених напружень між окремими частинами деталі. Він включає нагрівання металу до температур 150 ... 700°С, витримку і наступне повільне охолодження.

В і д п а л другого роду (фазова перекристалізація) – термічна обробка, що включає нагрівання сталі до температур, що перевищують A_{c1} або A_{c3} , витримку і повільне охолодження, що має за мету забезпечення фазових перетворень і досягнення практично рівноважних (відповідно до діаграми стану системи Fe – Fe₃C) фазового і структурного станів. Після відпалу структура сталей така: доевтектоїдних – Ф + П, евтектоїдних – П; заевтектоїдних – П + Ц_ц. Оскільки такий відпал забезпечує мінімальну твердість і найкращу оброблюваність сталі

різанням, як правило, він є підготовчою термічною обробкою перед обробкою різанням. Проте в деяких випадках (наприклад, для крупних виливків) він може бути й остаточним видом обробки. Розрізняють такі основні види відпалу другого роду: повний, неповний, нормалізаційний, ізотермічний.

При *повному відпалі* сталь нагрівають до температури, що на 20 ... 30 °С перевищує A_{c3} , витримують при цій температурі, повільно охолоджують до 500 ... 600 °С разом із піччю, а потім на повітрі. Повний відпал забезпечує повну фазову перекристалізацію і застосовується, як правило, для доевтектоїдних сталей з метою усунення дефектів структури (крупнозернистої, відманштетової тощо).

При *неповному відпалі* температура нагрівання сталі на 20 ... 30 °С вище A_{c1} , але не перевищує A_{c3} або A_{cm} . Після витримки сталь повільно охолоджують разом із піччю. При нагріванні відбувається часткова (неповна) перекристалізація сталі (в початковій структурі $\Phi + \Pi$ або $\Pi + \text{Ц}_{\Pi}$, при нагріванні тільки перліт перетворюється в аустеніт). Неповний відпал, проведений для заевтектоїдних сталей, називають сфероїдизацією. Він дозволяє одержувати сталь із структурою зернистого перліту. Така сталь має більш низьку твердість, вищу пластичність і кращу оброблюваність різанням, ніж сталь із пластинчастим перлітом. Для доевтектоїдних сталей неповний відпал також застосовують з метою покращення оброблюваності різанням.

Нормалізаційний відпал (нормалізація) включає нагрівання доевтектоїдної сталі до температури на 30 ... 50 °С вище A_{c3} , а заевтектоїдної – на 30 ... 50 °С вище A_{cm} , ізотермічну витримку й охолодження на спокійному повітрі. Прискорене охолодження при нормалізації дозволяє отримати більш дисперсну (здрібнену) структуру сталі, що призводить до підвищення її твердості та міцності порівняно зі сталлю, що піддавалась повному відпалу. Оскільки температури нагрівання під нормалізацію порівняно високі, то для уникнення значного зростання зерна металу витримка повинна бути мінімальною, але забезпечувати рівномірний прогрів виробу по всьому перерізу.

Нормалізацією усувається цементитна сітка в заевтектоїдних сталях при підготовці їх до гартування. З огляду на більш високу продуктивність нормалізації порівняно з повним або неповним відпалом, їх часто заміняють нею при підготовці вуглецевих сталей до механічної обробки.

Ізотермічний відпал включає нагрівання сталі до температури, що на 30 ... 50 °С перевищує A_{c3} , витримку, а потім перенос деталі в іншу піч із заданою температурою (нижче A_1) і ізотермічну витримку її до повного розпаду аустеніту. Ізотермічний відпал покращує оброблюваність різанням і застосовується для деталей і заготовок невеликих розмірів.

Г а р т у в а н н я (*heat strengthening*) – термічна обробка, що включає нагрівання сталі вище критичних температур, ізотермічну витримку і наступне охолодження зі швидкістю вище критичної ($v_{кр}$).

Під критичною швидкістю гартування (*critical speed of heat strengthening*) розуміють мінімальну швидкість охолодження, що забезпечує бездифузійне перетворення аустеніту в мартенсит. Мета гартування – підвищення твердості, міцності і зносостійкості сталі. Змінюючи швидкість охолодження нагрітих сталей, що мають аустенітну структуру, і варіюючи тим самим ступінь переохолодження, можна одержувати сталі з різноманітною структурою і властивостями (рис. 8.1). Так, при невеликих швидкостях охолодження (V_1, V_2, V_3) в інтервалі температур 720 ... 550 °С з аустеніту утворюються пластинчасті ферито-цементитні суміші (перліт, сорбіт або троостит). В міру збільшення швидкості охолодження дисперсність суміші, нерівновісність структури сталі, а отже, її твердість і міцність зростають. При охолодженні зі швидкістю вище критичної ($> V_5$) з аустеніту утвориться мартенсит, що є пересиченим твердим розчином проникнення вуглецю в ґратку α -Fe.

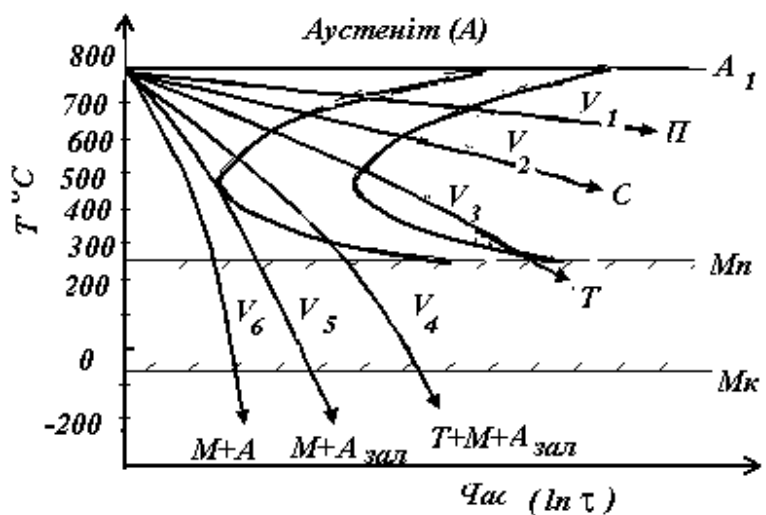
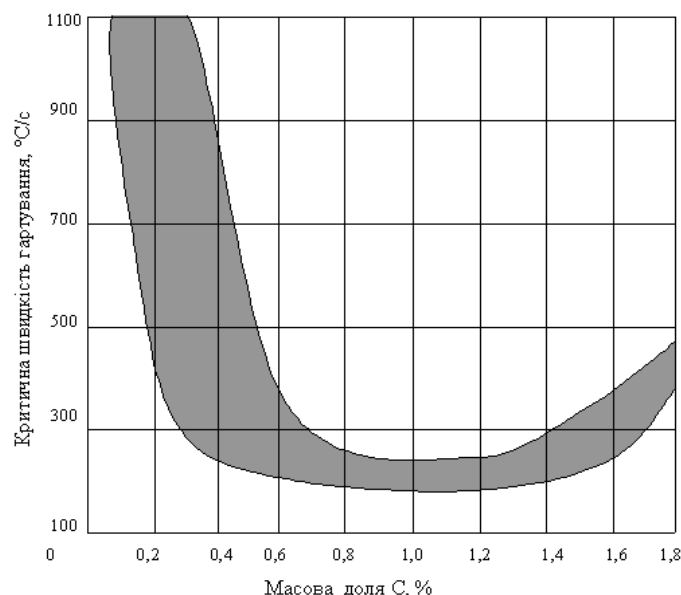


Рисунок 8.1 – Діаграма ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту з накладеними на неї кривими охолодження

Залежність критичної швидкості гартування від вмісту вуглецю в сталі подана на рис. 8.2. На $v_{кр}$ впливає також вид охолоджувального середовища, розмір зерна та легувальні елементи.

За зростанням інтенсивності охолодження охолодні середовища, що застосовують в практиці термічної обробки можна розташувати так: мінеральні мастила, вода, водяні розчини солей, кислот, лугів. Для гартування вуглецевих сталей краще вода або водяні розчини солей. Ідеальний охолодник при гартуванні той, що не викликає розпаду аустеніту на перлітні структури, забезпечуючи максимальну швидкість охолодження в інтервалі температур $A_1 - M_n$ і мінімально допустиму в мартенситному інтервалі, що виключає появу значних внутрішніх

структурних і термічних напружень, жолоблення, тріщин. Недолік води як охолоджувача: висока швидкість охолодження в мартенситному інтервалі і різкий спад охолоджуючої спроможності при її нагріванні. Мінеральні мастила позбавлені цих вад, але характеризуються в декілька разів меншою охолодною спроможністю. Тому їх доцільніше застосовувати для охолодження легованих сталей, критична швидкість загартування яких



менше, ніж вуглецевих.

Рисунок 8.2 - Критична швидкість гартування залежно від вмісту вуглецю в сталі

При розрахунку тривалості нагрівання τ_n під термічну обробку можна керуватися табл. 8.1. Тривалість ізотермічної витримки (τ_v) беруть найчастіше рівною 1/5 від загальної тривалості нагрівання.

Таблиця 8.1 – Приблизна тривалість нагрівання сталевих виробів

Тип нагрівального пристрою	Температура нагрівання, °C	Тривалість нагрівання (с) на 1 мм діаметра виробу зі сталі	
		Вуглецевої	Легованої
Полуменева піч Електропіч	800...900	60...70	65...80
	770...820	60...65	70...75
	820...880	50...55	60...65
Соляна ванна	770...820	12...14	18...20
	820...880	10...12	16...18

Загартування доевтектоїдних сталей, що включає нагрівання до температур вище A_{c3} , тобто в аустенітний стан, називають повним. Для заевтектоїдних сталей використовують неповне гартування, при якому

сталь, нагріта до температури дещо вищої за A_{c1} , набуває структури А+Ц_ц, при охолодженні проходить лише перетворення А → М, тобто часткова (неповна) зміна структури. Зберігання деякої частки твердого і зносостійкого вторинного цементиту сприяє підвищенню механічних властивостей сталі. Повне загартування заевтектоїдних сталей із нагріванням до температур, що перевищують $A_{c_{cm}}$, призводить до підвищення вмісту в них аустеніту залишкового і погіршення властивостей загартованих сталей.

Неповне загартування доевтектоїдних сталей небажане, тому що після нього разом з твердим мартенситом зберігається м'який надлишковий ферит. В промисловості, залежно від характеру охолодження, застосовують різноманітні способи загартування: в одному охолоджувачі (неперервне гартування), у двох охолоджувачах (перервне гартування), ступінчасте, ізотермічне, гартування з самовідпуском. Завершальною операцією після гартування є відпуск сталі.

В і д п у с к (*tempering, drawback*) – операція термічної обробки, що полягає в нагріванні загартованої сталі до температур нижче A_{c1} , витримці при цій температурі, охолодженні. Мета відпуску – зменшення внутрішніх напружень у металі й одержання необхідних структури і властивостей.

Низький відпуск включає нагрівання загартованої сталі до 150 ... 250°C. Він застосовується для надання поверхневим шарам виробів високої твердості та зносостійкості. Низький відпуск, дещо зменшуючий внутрішні напруження, підвищує в'язкість сталі при зберіганні нею високої твердості, широко застосовують для виготовлення мірального, різального і штампного інструменту (шаблони, фрези, мітчики, зубила, штампи, волюти та ін.), для деталей після насичення вуглецем (після цементування). Структура сталі після низького відпуску називається *мартенсит відпуску*.

При *середньому відпуску* загартована сталь нагрівається до 300 ... 400 °С, чим забезпечується одержання структури *трооститу відпуску*, яка має достатню твердість (40...55 HRC) і міцність при високій межі текучості. Середній відпуск більшою мірою, ніж низький, сприяє зменшенню внутрішніх напружень і найбільш часто застосовується при термічній обробці ресор та пружин.

Високий відпуск включає нагрівання загартованої сталі до 500 ... 650°C і забезпечує отримання структури *сорбіту відпуску* з гарним комплексом властивостей (міцність, ударна в'язкість, твердість). Тому загартування з високим відпуском називають *поліпшенням* і застосовують для відповідальних деталей із середньовуглецевих сталей (колінчасті вали, шатуни тощо). При нагріванні загартованої сталі до температур вище 650 °С утворюється структура *перліт відпуску*.

На рис. 8.3 показано лівий кут діаграми стану Fe – Fe₃C і температурні області нагрівання при термічній обробці сталей, а на рис. 8.4 - схему режимів різних видів термічної обробки.

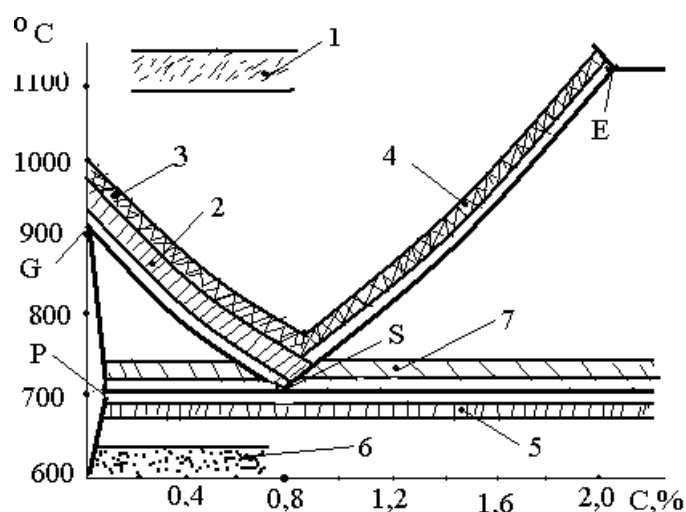


Рисунок 8.3 – Температурні області нагрівання при термічній обробці сталі 1 – дифузійний (гомогенізувальний) відпал; 2 – повний відпал, повне гартування; 3, 4 – нормалізація; 5 - рекристалізаційний відпал; 6 – відпуск; 7 – неповний відпал, неповне гартування

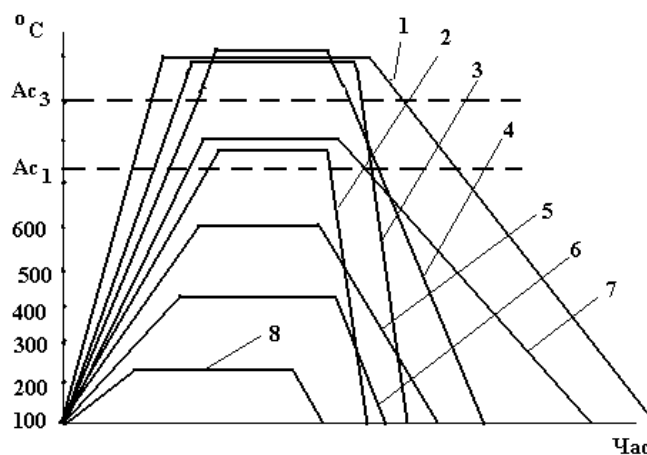


Рисунок 8.4 – Схеми режимів термічної обробки сталей: 1 – повний відпал; 2 – неповне гартування; 3 – повне гартування; 4 – нормалізація; 5 – високий відпуск; 6 – середній відпуск; 7 – неповний відпал; 8 – низький відпуск

На рис. 8.5 показана залежність механічних властивостей вуглецевої сталі від температури відпуску. За цією залежністю розрізняють низькотемпературний (низький), середньотемпературний (середній) і високотемпературний (високий) види відпуску.

Троостит, сорбіт і перліт відпуску на відміну від одержуваних з аустеніту при безперервному охолодженні мають зернисту, а не пластинчасту будову. Сталі з зернистою структурою характеризуються більш високою пластичністю і кращою оброблюваністю різанням.

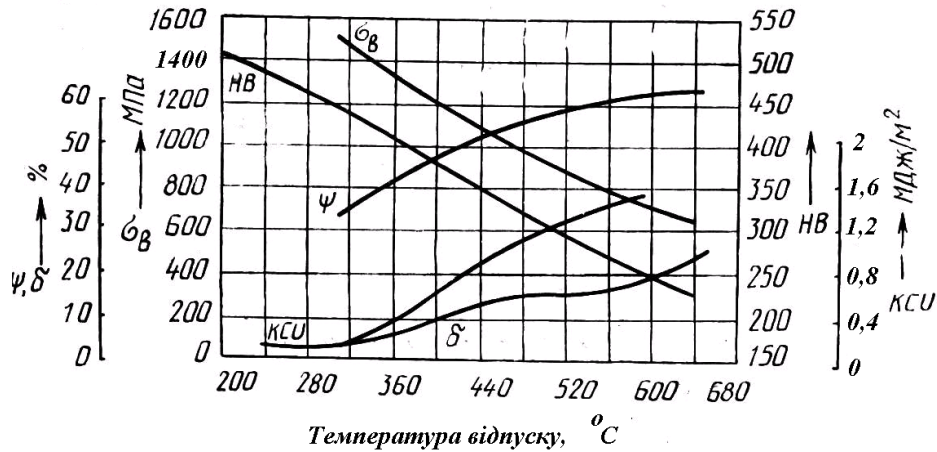


Рисунок 8.5 – Залежність механічних властивостей сталі від температури відпуску

Завдання на роботу

1. Призначити термічну обробку і скласти її режими для сталі відповідно до табл. 8.2.
2. Описати структуру після проведення призначеної термічної обробки.
3. Навести механічні властивості сталі після термічної обробки.
4. Зробити висновки і скласти звіт відповідно до завдання.

Таблиця 8.2 – Варіанти індивідуальних завдань

Варіант	Марка сталі	Мета термічної обробки
1	У12А	Зміцнювальна остаточна для інструменту
2	35	Виправлення структури після гарячої обробки тиском
3	10	Усунення ліквіції в металургійних зливках
4	45	Пом'якшення сталі перед обробкою різанням
5	40Х	Остаточна зміцнювальна для зубчастих коліс
6	У10А	Пом'якшення сталі перед обробкою різанням

7	20	Пом'якшення сталі перед обробкою різанням
8	50	Усунення дефектів структури після горячої ОМТ
9	25	Усунення дефектів структури після горячої ОМТ
10	30	Покращення обробки різанням та як остаточно
11	50Л	Усунення дефектів структури
12	40	Остаточна зміцнювальна для валів
13	20	Усунення ліквідації в металургійних зливках
14	60С2	Остаточна зміцнювальна
15	У13А	Ліквідація сітки вторинного цементиту

Контрольні питання для самопідготовки

1. Які лінії на діаграмі стану “залізо-вуглець” позначаються як A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_{cm} ?
2. Які є види термічної обробки для сталей?
3. Які види відпалу сталей ви знаєте?
4. З якою метою призначають повний відпал доєвтектоїдних сталей? До яких температур нагрівають ці сталі при повному відпалі?
5. З якою метою призначають неповний відпал доєвтектоїдних сталей? До яких температур нагрівають ці сталі при повному відпалі?
6. З якою метою призначають відпал заєвтектоїдних сталей? До яких температур нагрівають ці сталі при відпалі?
7. Яка термічна обробка називається нормалізацією? До яких температур нагрівають до- та заєвтектоїдні сталі при нормалізації?
8. Які структури можуть утворюватися в сталях при їх різній швидкості охолодження з аустенітного стану?
9. В чому полягає термічна обробка “гартування” для сталей?
10. Яка швидкість охолодження сталей називається критичною?
11. Яка структура називається “мартенсит”?
12. Від чого залежить кількість залишкового аустеніту при гартуванні?
13. До яких температур нагрівають сталі різного хімічного складу при гартуванні?
14. Які види відпуску існують?
15. Для яких сталей призначають низький, середній та високий відпуск?
16. Яка термічна обробка сталей називається поліпшенням?

Тестові завдання з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство»

1. Здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого більш твердого тіла називається:

1) міцністю; 2) пружністю; 3) твердістю; 4) пластичністю.

2. Структура заевтектичного білого чавуну при кімнатній температурі складається:

1) з ледебуриту й первинного цементиту;
2) з перліту; ледебуриту й вторинного цементиту;
3) з перліту й вторинного цементиту;
4) з перліту й цементиту.

3. Гомогенізувальний відпал сталей проводять при температурах:

1) 160-180 °C; 2) 800-900 °C; 3) 750-780 °C; 4) 1100-1200 °C.

4. Оптимальна температура загартування сталі У13 становить:

1) 900 °C; 2) 770 °C; 3) 870 °C; 4) 727°C.

5. Структура, одержувана після загартування та середнього відпуску:

1) тростит відпуску; 2) залишковий аустеніт;
3) сорбіт відпуску; 4) мартенсит відпуску.

6. Твердість низьковуглецевої сталі можна підвищити:

1) загартуванням СВЧ; 2) відпалом;
3) об'ємним загартуванням; 4) цементацією й загартуванням СВЧ.

7. Основні переваги титанових сплавів:

1) висока питома міцність і корозійна стійкість;
2) висока холодостійкість, гарні антифрикційні властивості;
3) висока жаростійкість, гарні ливарні властивості;
4) гарна оброблюваність різанням.

8. Механічна суміш фериту та цементиту, із вмістом 0,8 % вуглецю, називається :

1) ледебурит; 2) мартенсит; 3) перліт; 4) аустеніт.

9. Механічна суміш аустеніту з цементитом, з вмістом 4,3 % вуглецю, називається:

1) перліт; 2) ледебурит; 3) аустеніт; 4) ферит.

10. Закономірне орієнтування кристалів відносно зовнішніх деформаційних сил – це:

1) поліморфізм; 2) ковзання; 3) полігонізація; 4) текстура.

11. Правило, яке визначає склад фаз у діаграмах стану подвійних систем:

- 1) правило відрізків;
- 2) правило концентрацій;
- 3) правило конод;
- 4) правило фаз.

12. Кількість фаз, що знаходяться в рівновазі при евтектичному перетворенні у двокомпонентній системі:

- 1) одна; 2) дві; 3) три; 4) жодної.

13. Скільки горизонтальних ділянок на кривій охолодження сплаву заліза з 5% вуглецю?

- 1) одна; 2) дві; 3) три; 4) жодної.

14. Скільки горизонтальних ділянок на кривій охолодження сплаву заліза з 0,01% вуглецю?

- 1) одна; 2) дві; 3) три; 4) жодної.

15. Скільки горизонтальних ділянок на кривій охолодження сплаву заліза з 0,005 % вуглецю?

- 1) одна; 2) дві; 3) три; 4) жодної.

16. Структура сталі у рівноважному стані складається з 50% фериту та 50% перліту, це буде сталь марки:

- 1) сталь 40; 2) сталь 50; 3) Ст. 4; 4) Ст. 5.

17. Відмінність ледебуриту від ледебуриту перетвореного:

- 1) вміст вуглецю;
- 2) швидкість охолодження;
- 3) фазовий склад;
- 4) лише температура існування.

18. Термічним поліпшенням сталі називають:

- 1) гартування з високим відпуском;
- 2) нормалізацію сталі;
- 3) відпал на зернистий перліт;
- 4) гартування з низьким відпуском.

Словник термінів

Пригар (burning-in, pickup) - утворення у вигляді твердої і важковідокремлюваної кірочки на поверхні вилівка як результат фізичної або хімічної взаємодії металу, формової суміші та шлаку.

Усадочні пустоти (раковини, пори) (pipe defect, contraction cavity), утворюються в результаті усадки металу (зменшення об'єму) при його затвердінні.

Газові раковини (бульбашки) (bleb, blowhole), з'являються в металі під час його кристалізації внаслідок як значної газомісткості самого металу, так і проникнення в метал газів, які виділяються з ливарної форми.

Ужимини (marring, veining) – порожнини, заповнені формувальним матеріалом.

Тріщини (crack, stress crack), що з'являються як результат високих напружень у вилівках через опір форми їх усадці (неподатливості форми), а також неоднакових швидкостей охолодження різних частин литої заготовки.

Неметалеві включення (nonmetallics), утворюються в результаті взаємодії компонентів сплаву.

Флокени (snow flakes) – тонкі тріщини, що у поперечному перерізі являють собою овальні плями сріблясто-білого кольору.

Непровар (faulty fusion) – місцева відсутність з'єднання основного металу і наплавленого, виникає при забрудненні поверхонь, що зварюються або недостатнього розігріву основного металу.

Злам (breaking) – поверхня, що утворюється внаслідок руйнації металу.

Ліквіація (liquation, segregation, sweat) - хімічна неоднорідність сплаву, що виникає при його виробництві.

Мікроструктура (microstructure) – будова металу, що спостерігається під мікроскопом, яка є зображенням досить малої ділянки поверхні, складене з відбитих від неї світлових променів.

Кристалізація (crystallization) – процес утворення ділянок кристалічної ґратки в рідкій фазі і ріст кристалів із центрів, що утворилися; протікає в умовах, коли система переходить до термодинамічно більш стійкого стану з мінімумом вільної енергії.

Діаграма стану сплавів (constitution diagram, equilibrium diagram) - графічне зображення зміни структури і фазового складу сплавів залежно від температури та концентрації.

Лінія ліквідус (liquidus line) (ліквідус - рідина) - лінія, по якій рідкий сплав при охолодженні починає кристалізуватись (твердіти).

Солідус (solidus - твердий) (solidus) - лінія, по якій закінчується кристалізація сплаву.

Фаза (phase) - хімічно однорідна частина сплаву, відокремлена від інших його частин поверхнею розділу (границею).

Фігуративна точка (figurative point) - кожна точка в межах креслення діаграми стану. Вона зображає стан сплаву певного хімічного складу при певній температурі.

Евтектика (eutectic) - суміш двох твердих фаз, які кристалізуються одночасно і разом з рідини певного складу.

Сталь (steel) – це сплав заліза з вуглецем, вміст якого не перебільшує 2,14%, застосовують для отримання деталей, які разом з високою міцністю повинні мати добрі пластичні властивості, бути надійними та довговічними в експлуатації.

Сірий чавун (grey cast iron) – найбільш дешевий ливарний сплав, в якому вуглець знаходиться у вигляді графіту, який має пластинчасту форму. Має порівняно високі механічні властивості, відносно низьку температуру плавлення і дуже гарні ливарні властивості: високу рідкотекучість, низькі лінійну та об'ємну усадку (0,9...1,3%), завдяки чому із сірого чавуну можна отримувати якісні виливки.

Відпал (annealing) – вид термічної обробки, призначений для усунення дефектів структури, що виникли в результаті попередньої обробки металу: лиття, пластичної деформації, зварювання та термообробки; включає в себе нагрів до температури вище критичної, витримку та повільне охолодження.

Гартування (heat strengthening) – термічна обробка, що включає нагрівання сталі вище критичних температур, ізотермічну витримку і наступне охолодження зі швидкістю вище критичної ($v_{кр}$). Мета гартування – підвищення твердості, міцності і зносостійкості сталі.

Критична швидкість гартування (critical speed of heat strengthening) - мінімальна швидкість охолодження, що забезпечує бездифузійне перетворення аустеніту в мартенсит.

Загартовуваність (hardening capacity) – здатність сталі набувати високої твердості при гартуванні, визначається вмістом вуглецю, сталі із вмістом вуглецю менше, ніж 0,2% не гартуються.

Прогартовуваність (hardening characteristics, hardenability) – здатність отримувати загартований шар з мартенситною і тросто-мартенситною структурою, що має високу твердість, на певну глибину.

Відпуск (tempering, drawback) – операція термічної обробки, що полягає в нагріванні загартованої сталі до температур нижче A_{c1} , витримці при цій температурі, охолодженні. Мета відпуску – зменшення внутрішніх напружень у металі й одержання необхідних структури і властивостей.

Старіння або дисперсійне твердіння (deterioration) – процес розпаду нестабільного пересиченого твердого розчину, отриманого загартуванням, шляхом дифузійного перерозподілу атомів і поступового наближення структури до рівноважного стану. В одних сплавах він починається при кімнатній температурі відразу ж після охолодження і посилюється з часом - *природне старіння*, в інших сплавах розпад можливий при підвищених температурах – *штучне старіння* (високотемпературне старіння).

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузін О. А., Металознавство та термічна обробка металів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. - Львів : Афіша, 2002. – 304 с.
2. Металознавство: підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко [та ін.]; - 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : ІВЦ Видавництво “Політехніка”, 2002. – 384 с.
3. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению : / под общей ред. С. С. Некрасова. – М.: Агропромиздат, 1991. – 105 с.
4. Лахтин Ю. М. Материаловедение : учебник / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 493 с.
5. Пахолук А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А. П. Пахолук, О. А. Пахолук. – Львів : Світ, 2005. – 172 с., іл.
6. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
7. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков; за ред. проф. С. С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. - 440 с.
8. Українсько-російський словник з матеріалознавства : у трьох книгах. Кн. 3 / уряд. : Є. Л. Шведков, Т. Г. Куценко. - К. : Либідь, 1995. - 152 с.
9. Металознавство і термічна обробка металів і сплавів із застосуванням комп'ютерних технологій навчання: підручник / Ю.М. Таран, Є. П. Калінушкін, В. З. Куцова [та ін.]; під ред. Ю. М. Тарана – Дніпропетровськ : Дніпрокнига, 2002. - 360 с.
10. Колачев Б. А. Металознавство і термічна обробка кольорових металів і сплавів : підручник для вузів / Б. А. Колачев, В. І. Елагін, В. А. Ліванов. - М. : "МИСИС", 1999. - 416 с.
11. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко [та ін.]. - К. : Либідь, 2002. - 328 с.

Словник термінів

Технологічні властивості (property technical) - це комплекс фізико-хімічних властивостей цих матеріалів, зумовлених станом, складом і структурою в процесі взаємодії речовини з технологічним середовищем, тобто під час їх обробки.

Ливарні властивості(founding) - здатність матеріалу до переробки в рідкому стані з метою отримання виливків певних розмірів, форми та властивостей.

Деформовність (deformation) – оброблюваність тиском – це здатність матеріалу сприймати пластичну деформацію без руйнування єдності в процесі формозміни тиском в холодному або гарячому стані.

Зварюваність (welding) - властивість матеріалу утворювати нероз'ємне з'єднання, якість якого відповідає суцільному.

Оброблюваність різанням(machining processing) – здатність матеріалу до стружко-утворення при заданих шорсткості, точності та якості оброблених поверхонь.

Заготовка (workpiece, flank, billet) – предмет праці, з якого зміною форми, розмірів, властивостей поверхні і (або) матеріалу виготовляють деталі (ГОСТ 3.1109-82).

Ливарне виробництво (foundry) – галузь машинобудування, яка займається виготовленням фасонних заготовок або деталей шляхом заливання розплавленого металу у спеціальну форму, порожнина якої має конфігурацію заготовки (деталі).

Ливарна форма (casting, mould) – це система елементів, які утворюють робочу порожнину, при заливанні якої розплавленим металом формується виливок.

Ливарна опока (casting box, moulding frame) – пристосування для утримання формувальної суміші при виготовленні форми.

Рідкоплинність (yield, flow) – це здатність металів та сплавів плинути у розплавленому стані по каналах ливарної форми, заповнювати її порожнечу і чітко відтворювати контури виливка.

Усадка (shrinkage) – властивість ливарних сплавів зменшувати об'єм при затвердінні та охолодженні.

Лінійна усадка (linear shrinkage) – зменшення лінійних розмірів виливка при його охолодженні від температури, при якій утворюється міц-

на кірка, здатна протистояти тиску розплавленого металу, до температури навколишнього середовища.

Усадкові раковини (shrink hole, contraction cavity) – порівняно великі порожнини, які розташовані у виливках, що твердіють останніми.

Усадкова пористість (shrinkage) – скупчення пустот, які утворилися у виливках у значних зонах у результаті усадки в тих місцях виливка, які тверділи останніми без доступу до них розплавленого металу.

Модельний комплект (model set) – це сукупність технологічного оснащення та пристосувань, які необхідні для утворення у формі порожнини, що відповідає контурам виливка.

Формування (forming) – це процес виготовлення ливарної форми, стержнів та складання форми.

Формувальні матеріали (moulding materials) – це сукупність природних та штучних матеріалів, які використовуються для виготовлення формувальних та стержневих сумішей.

Шаблон (template) – профільована дошка, в якій вирізано зовнішній і внутрішній профілі виливка.

Формувальна суміш (moulding mixture) – це багатокomпонентна суміш формувальних матеріалів, які відповідають умовам технологічного процесу виготовлення ливарних форм.

Облицювальна суміш (facing mixture) – це формувальна суміш, яка використовується для виготовлення робочого шару форми.

Міцність (strength) – здатність матеріалу форми не руйнуватися при витяганні моделі із форми.

Газопроникненість (permeability) – здатність суміші пропускати крізь себе газу.

Пластичність (plasticity) – здатність деформуватися без руйнування та точно відтворювати відбиток моделі.

Піддатливість (pliability, compliance) – здатність форми або стержня стискатися при усадці виливка.

Непригарність (non-stickness) – здатність суміші не вступати в хімічну взаємодію з металом і не пригоряти до поверхні виливка.

Ливникова система (gating system) – це система каналів, крізь який розплавлений метал підводять у порожнечу форми.

Стержнева суміш (core mixture, core sand) – це багатокomпонентна суміш формувальних матеріалів, які відповідають умовам технологічного процесу виготовлення ливарних стержнів.

Разові форми (temporary moulding) – призначені для виготовлення лише одного виливка, тому що їх руйнують після затверднення металу. Виготовляють із піщано-глинистих та піщано-смоляних формувальних сумішей.

Газові раковини (flow-hole) – пухирі газів у тілі виливка.

Піщані та шлакові раковини (sand and slag holes) – порожнини, заповнені формувальною сумішшю або шлаком.

Холодні тріщини (cold cracks) – розриви тіла виливка значної довжини.

Гарячі тріщини (hot cracks) – розриви тіла виливка незначної довжини.

Кокіль (metal mould) – металева багаторазова форма, в яку рідкий метал заливається вільним струменем під атмосферним тиском.

Облицювання (facing) – захисні покриття, які наносять для захисту поверхні кокілю від дії розплаву, регулювання швидкості охолодження виливка та покращання заповнюваності форми на робочу поверхню кокілю, металевих стержнів і ливникової системи.

Відцентрове лиття (centrifugal) – це спосіб, при якому розплав заливається у форму, зазвичай металеву, яка обертається з певною швидкістю.

Центрифугування (centrifugation) – лиття фасонних виливків, при якому використовують відцентрову силу тільки для заповнення форми розплавом і кристалізації металу. Ливарна форма виготовляється з формувальної суміші або є оболонковою.

Припуски на обробку (machining allowance) – шар металу, який знімається з поверхні заготовки при її механічній обробці. Чим менший припуск, тим вища точність заготовки.

Сталь (steel) – це сплав заліза з вуглецем, вміст якого не перебільшує 2, 14%, як ливарний матеріал застосовують для отримання виливків

деталей, які поряд з високою міцністю повинні мати добрі пластичні властивості, бути надійними та довговічними в експлуатації.

Сірий чавун (grey cast iron) – найбільш дешевий ливарний сплав, в якому вуглець знаходиться у вигляді графіту, який має пластинчасту форму. Має порівняно високі механічні властивості, відносно низьку температуру плавлення і дуже гарні ливарні властивості: високу рідкоплинність, низькі лінійну та об'ємну усадку (0,9...1,3%), завдяки чому із сірого чавуну можна отримувати якісні виливки без усадкових раковин, тріщин, жолоблення та інших дефектів.

Твердість (*hardness*) - це властивість поверхневого шару матеріалу чинити опір пружній та пластичній деформаціям або руйнуванню при місцевій пластичній взаємодії з боку іншого, більш твердішого тіла (індентора) відповідної форми та розмірів.

Література

1. Афонькин М. Г. Производство заготовок в машиностроении./ Афонькин М.Г., Магницкая М.В. – Л.: Машиностроение, 1987, - 254 с.
2. Брюханов А.Н. Ковка и объемная штамповка. / Брюханов А.Н. – М.: Машиностроение, 1975. – 405 с.
3. Воскобойников В.Г. Общая металлургия. / Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. – М.: Металлургия, 1985. – 480 с.
4. Емельянова А.П. Технология литейной формы. / Емельянова А.П. – М.: Машиностроение, 1986, - 224 с.
5. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов./ Золотаревский В.С. – М.: Металлургия, 1983. – 184 с.
6. Бялік О.М. Металознавство: Підручник / Бялік О.М., Черненко В.С. та ін. – К.: Політехніка, 2002. – 384 с.
7. Стеклов О.І. Основи зварювального виробництва./ Стеклов О.І. – К.: Вища школа, 1987.– 214 с.
8. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов: Учебник / Дальский А.М., Арутюнова И.А. и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.
9. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз ., О.І. та ін. – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
10. Клименко В. М. Технологія конструкційних матеріалів. / Частина перша. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво. Навчальний посібник./ Клименко В. М., Шиліна О. П., Осадчук А. Ю. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.- 97 с.
11. Клименко В. М. Технологія конструкційних матеріалів. / Частина друга. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво. Навчальний посібник./ Клименко В. М., Шиліна О. П., Осадчук А. Ю. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.- 154 с.
12. Клименко В. М. Технологія конструкційних матеріалів. / Частина 3 Основи механічної обробки матеріалів. Навчальний посібник./ Клименко В. М., Шиліна О. П., Осадчук А. Ю. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.- 94 с.
13. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. / Попович В.В., Попович В.В. . – Львів: Світ, 2006. – 624 с.-2.
14. Пахолюк А.П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали: Посібник. / Пахолюк А.П., Пахолюк О.А. – Львів: Світ, 2005. – 172 с., іл.
15. Теплицкий Б.М. Делительные механизмы./ Теплицкий Б.М. – Л.: Машиностроение, 1974. –152 с., іл.

Навчальне видання

Шиліна Олена Павлівна

Осадчук Андрій Юрійович

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна
Коректор

Оригінал-макет підготовлено авторами

Підписано до друку
Формат 29,7x42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Timen New Roman.
Друк ізографічний. Ум. друк. арк.
Наклад _____ прим. Зам. № 2010-

Вінницький національний технічний університет,
науково-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.