

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

**Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНОЛОГІЯ МАТЕРІАЛІВ  
(у схемах і завданнях)**

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету



Суми  
Сумський державний університет  
2020

УДК 669+621.7(075.8)

Г57

Рецензенти:

*О. Д. Погребняк* – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри наноелектроніки Сумського державного університету;

*В. Б. Тарельник* – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету

*Рекомендовано до видання  
вченою радою Сумського державного університету  
як навчальний посібник  
(протокол № 12 від 22 травня 2019 року)*

**Говорун Т. П.**

Г57      Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях) :  
навч. посіб. / Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко. – Суми :  
Сумський державний університет, 2020. – 163 с.  
ISBN 978-966-657-806-1

У навчальному посібнику стисло викладено зміст основних положень дисципліни, наведено схеми процесів отримання та оброблення матеріалів, характеристики сталей і сплавів, чавунів, кольорових сплавів і неметалевих матеріалів, а також подано мету та завдання вивчення матеріалу і необхідні рекомендації щодо вивчення курсу, питання для самоперевірки та посилання на необхідну для вивчення матеріалу літературу.

Навчальний посібник також містить матеріал для додаткового вивчення питань вимірювання твердості матеріалів, розгляду та освоєння типів подвійних діаграм металів і сплавів. Наведені приклади виконання курсової роботи (індивідуального домашнього завдання) дозволяють студентам якісно та більш повною мірою опрацювати матеріал і виконати завдання.

Розроблений для підготовки майбутніх фахівців із вищою освітою за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство», 133 «Галузеве машинобудування», 142 «Енергетичне машинобудування», 144 «Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання. Його зміст відповідає робочим програмам і навчальним планам підготовки фахівців інженерних спеціальностей. Матеріал, викладений у навчальному посібнику, сприяє формуванню певного технічного рівня студентів, а також допоможе під час виконання кваліфікаційних бакалаврських робіт, дипломних проектів і магістерських робіт. Посібник буде корисним для викладачів вищенаведених спеціальностей.

УДК 669+621.7(075.8)

© Говорун Т. П., Гапонова О. П.,  
Марченко С. В., 2020

ISBN 978-966-657-806-1

© Сумський державний університет, 2020

## ЗМІСТ

Вступ.....	С. 4
1 Мета та завдання дисципліни, її місце в навчальному процесі та роль у підготовці фахівця.....	5
2 Зміст дисципліни.....	6
3 Список питань, що виносяться для самостійного опрацювання.....	53
4 Методичні вказівки до виконання обов'язкових (індивідуальних) домашніх завдань.....	54
5 Контроль знань студента.....	59
6 Додаткові практичні роботи.....	65
6.1 Практична робота 1.....	65
6.2 Практична робота 2.....	77
7 Завдання до виконання курсової роботи.....	91
7.1 Завдання до курсової роботи з технології конструкційних матеріалів «Вибір та пояснення технологічного процесу отримання заготовки».....	91
7.2 Завдання до курсової роботи з матеріалознавства «Вибір і пояснення матеріалу для виготовлення виробу та термічного (хіміко-термічного) оброблення для нього».....	91
7.3 Завдання «Аналіз діаграми стану залізо – карбід заліза».....	92
7.4 Приклад виконання курсової роботи.....	92
Список рекомендованої літератури.....	108
Додаток А.....	109
Додаток Б.....	159
Додаток В.....	160
Додаток Г.....	162

## ВСТУП

Для інженерів-машинобудівників велике значення має технічна підготовка, тобто вміння вирішувати інженерні завдання в комплексі, включаючи питання вибору матеріалу і технології їх оброблення для конкретних виробів. Курси «Матеріалознавство та «Технологія матеріалів» є базовими для підготовки студентів інженерних спеціальностей.

Матеріалознавство належить до пріоритетних напрямів сучасної науки, що вивчає будову, структуру, властивості матеріалів та зв'язок між ними, досліджує залежність будови і властивостей від методів виробництва та оброблення матеріалів, а також їх зміну під впливом зовнішніх чинників: силових, термічних, радіаційних та ін.

Матеріалознавство вивчає склад, будову та властивості матеріалів. Воно об'єднує металознавство та науку про неметалеві матеріали. Сучасна техніка характеризується складними умовами роботи (великі питомі навантаження, високі швидкості відносного переміщення, високі та низькі температури, агресивні середовища, вакуум тощо). Ці умови вимагають застосування таких матеріалів, які за даних умов забезпечили б довговічність, надійність деталей машин, механізмів у цілому, а також різного інструменту в поєднанні з невеликою вартістю. Матеріалознавство зародилося з металургії, але в сучасну епоху сфера дослідження розширилася, включаючи сплави й композитні матеріали, кераміку, полімери, біоматеріали тощо.

З розвитком науки і техніки перелік використовуваних матеріалів доповнюють нові матеріали з оптимальними властивостями – магнітні, теплофізичні, тугоплавкі, напівпровідникові, полімерні тощо.

Технологія матеріалів вивчає закономірності технологічних процесів, способи їх оптимізації, допомагає орієнтуватися в основних напрямках науково-технічного прогресу.

Статус держави в сучасному світі визначається двома найважливішими інтеграційними показниками: науково-технічним рівнем та здатністю до технологічного розвитку. У конкурентній боротьбі перемагає той, хто, поєднавши працю вчених і спеціалістів шляхом використання інноваційних технологій, швидко реалізує матеріальні й галузеві ресурси.

Цей навчальний посібник містить стислий зміст дисципліни, складений у вигляді логічних схем (конспектів), що не лише орієнтують студента в структурі досліджуваного матеріалу, а й дають наочне уявлення про його зміст. Тест проілюстрований достатньою кількістю рисунків і схем, поданих у спрощеному вигляді. Контрольні питання та завдання, наведені в посібнику, дозволяють студентам самостійно проводити контроль засвоєння матеріалу.

У навчальному посібнику наведено додаткові теми з індивідуальної та самостійної підготовки студентів, а також завдання до курсової роботи, варіанти до виконання завдання, пояснення і приклад виконання та оформлення курсової роботи (індивідуального домашнього завдання).

## 1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ЇЇ МІСЦЕ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ТА РОЛЬ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦЯ

Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство – це комплексна дисципліна, що містить основні відомості про способи виробництва металевих і неметалевих конструкційних матеріалів, їх будову, властивості й методи оброблення для одержання заготовок, готових деталей або виробів різного призначення.

Для успішного вивчення спеціальних дисциплін, а також подальшої інженерної діяльності студенти інженерних спеціальностей повинні бути добре обізнаними щодо цих важливих питань.

**Мета** вивчення дисципліни – дати майбутнім фахівцям знання з конструкційних матеріалів та їх властивостей, методів виробництва, основних технологічних процесів виготовлення деталей; ознайомити з можливостями сучасного машинобудування і перспективних технологій оброблення конструкційних матеріалів; розкрити фізичну суть явищ, що відбуваються в матеріалах за дії на них різних факторів в умовах виробництва й експлуатації; їх вплив на властивості матеріалів; викласти суть економічних та екологічних проблем щодо технологій одержання та оброблення матеріалів.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен **знати**:

- суть процесів одержання металів і сплавів;
- особливості формоутворення заготовок різними способами;
- особливості оброблення заготовок;
- перспективи розвитку методів одержання заготовок для підвищення ефективності виробництва і поліпшення екології;
- атомно-кристалічну будову металів;
- кристалізацію металів та теорію сплавів;
- теорію та практичне застосування термічного оброблення;
- леговані сталі та сплави;
- кольорові матеріали;
- неметалеві матеріали;

**вміти**:

- обирати матеріал для виготовлення тієї чи іншої деталі;
- вибирати раціональні способи одержання заготовок;
- вибирати раціональні способи з'єднання заготовок (деталей) – зварювання, паяння, склеювання тощо;
- застосовувати методи контролю якості;
- вибирати раціональні способи термічного оброблення деталей;
- практично застосовувати діаграми стану сплавів;
- обирати економно леговані сталі та сплави для виготовлення деталей.

Цю дисципліну викладають на першому курсі, тому вона зорієнтована на формування необхідної бази для подальшого успішного засвоєння знань та оволодіння спеціальністю. Дисципліни, засвоєння яких є передумовою для вивчення технології конструкційних матеріалів та матеріалознавства, і дисципліни, вивчення яких забезпечується цією дисципліною, це «Фізика», «Опір матеріалів», «Хімія» та інші.

## 2 ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

### Вступ

Завдання і значення дисципліни. Роль технології і забезпечення якості продукції й економічної ефективності в машинобудуванні. Завдання створення маловідхідних і ресурсозбережених технологій.

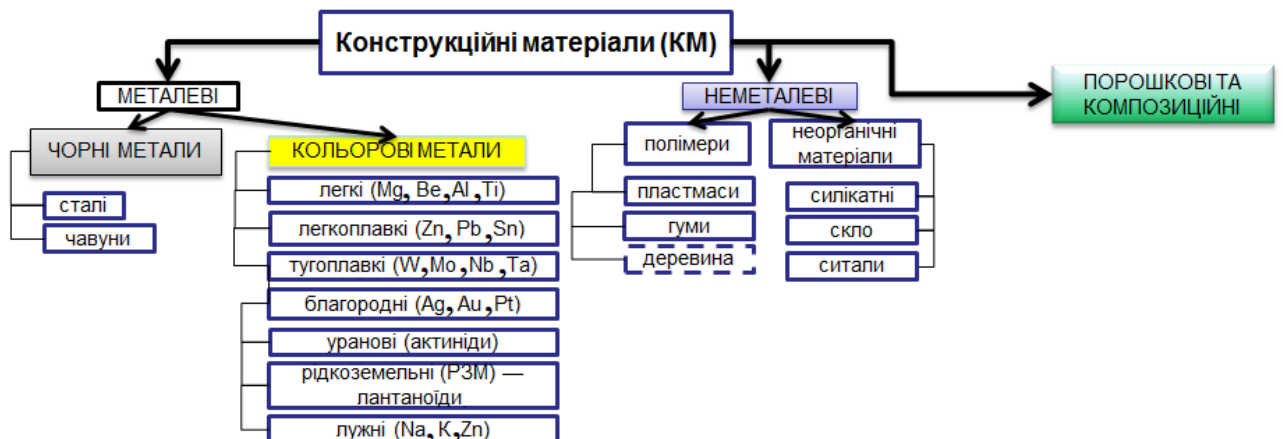
Дисципліна «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство» належить до базових навчальних дисциплін спеціальностей інженерного напрямку. Це пов'язано насамперед із тим, що для отримання найвищих механічних та експлуатаційних властивостей деталі потрібно не лише вміти правильно застосовувати матеріал, а й обирати оптимальну технологію отримання та оброблення заготовки. Неправильна технологія зводить нанівець усі переваги обраного для деталі матеріалу або призводить навіть до руйнування механізму в цілому. Вибір найкращого технологічного процесу отримання та оброблення заготовок вимагає глибоких знань з усіх технологічних процесів роботи з матеріалами, їх особливостей та застосованості для тих чи інших умов виробництва, експлуатації.

Література [1–4].

### 1 Властивості та будова конструкційних матеріалів

Конструкційні матеріали, їх класифікація і вимоги, запропоновані до них. Основні фізичні, механічні, експлуатаційні й технологічні властивості металів. Залежність властивостей матеріалів від їх будови. Атомно-кристалічна будова металів. Поліморфізм металів. Залежність властивостей вуглецевих сталей від утримування вуглецю, постійних, корисних і шкідливих домішок. Класифікація сталей за призначенням, хімічним складом та якістю. Маркування сталей і чавунів. Класифікація й маркування сплавів кольорових металів.

**Конструкційні матеріали** (рис. 1) – це матеріали, з яких виготовляють деталі конструкцій (машин і споруд), що сприймають силове навантаження.



Застосування КМ у світі



Рисунок 1 – Класифікація конструкційних матеріалів

Основою конструкційних матеріалів є металеві сплави на основі заліза (чавуни і сталі), міді (бронзи й латуні), алюмінію, титану.

Основні властивості, що характеризують конструкційні матеріали, – це механічні, фізичні, хімічні, технологічні та експлуатаційні.

Особливо важливі технологічні властивості, що характеризують здатність матеріалів піддаватися різним методам гарячого та холодного оброблення (зварюваність, ливарні властивості, оброблюваність різанням та інші).

Властивості металів визначає їх атомно-кристалічна будова. Основні типи кристалічних ґраток – ОЦК, ГЦК, ГЦП.

**Метали** – полікристалічні тіла з великою кількістю точкових, лінійних і площинних недосконалостей, що значно змінюють властивості реальних кристалічних тіл на відміну від чистих кристалів.

Деякі метали зі зміною температури змінюють і тип кристалічної ґратки – це явище називають поліморфізмом або алотропією, що обумовлює можливість термооброблення.

Кристалізація металів із точки зору термодинаміки є прагненням до витрати найменшої кількості вільної енергії.

Для зручності користування машинобудівні матеріали класифікують та маркують за декількома ознаками: призначенням, хімічним складом та якістю (рис. 2).

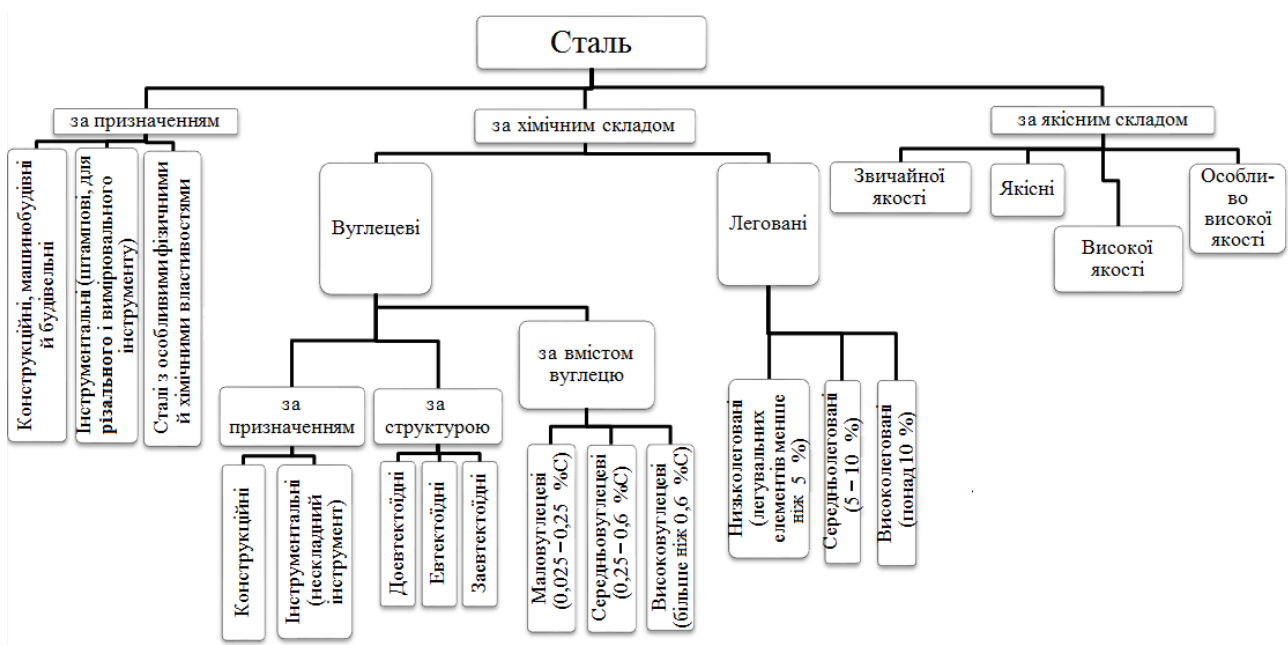


Рисунок 2 – Класифікація сталей за призначенням, хімічним складом та якістю

Марка сталей складається з буквено-цифрового позначення якості, хімічного складу та призначення сталей. Наприклад, Сталь 10 – це конструкційна сталь з умістом 0,1 % вуглецю, якісна, У8А – це вуглецева інструментальна сталь з умістом 0,8 % вуглецю, високоякісна.

Під час маркування чавунів (рис. 3) використовують інший принцип – у чавунах міцність визначається, насамперед, не кількістю, а формою графіту, в якій вуглець перебуває. Вкраплення графіту сильно знеміцнюють матрицю чавуну, але додають ливарних властивостей цьому сплаву. Наприклад, СЧ15 – сірий чавун із пластинчастою формою графіту і межею міцності піл час розтягування 150 МПа. Особливо маркують спеціальні (леговані) чавуни. Вуглець у таких чавунах зазвичай хімічно сполучений із легувальним елементом.

**Кольорові сплави**, що використовують у машинобудуванні, – це, насамперед, сплави алюмінію, міді, магнію, титану.

Принципи, закладені в їх позначеннях, а також використовувані буквено-цифрові позначення мають інше значення, ніж для сталі і чавуну.



Рисунок 3 – Класифікація, маркування і застосування чавунів

Література [1–6].

## 2 Основи металургійного виробництва

Короткі відомості про розвиток металургії. Поняття про основні фізико-хімічні процеси в металургійному виробництві. Виробництво металів. Виробництво чавуну. Процес прямого відновлення заліза з руди. Виробництво сталі в мартенівських печах, кисневих конвертерах і електropечях. Розливання сталі. Виробництво міді, алюмінію, магнію й титану. Способи підвищення якості металів і техніко-економічні показники в металургійному виробництві. Перспективи розвитку металургійного виробництва. Питання охорони довкілля.

**Металургія** – це наука про способи отримання металів із природних сполук і галузь промисловості, що виробляє метали і сплави.

Існує декілька основних способів отримання металів із руд: пірометалургійний, гідрометалургійний, електromеталургійний, хімікометалургійний.

Структура металургійного виробництва (рис. 4) вміщує:

- шахти і кар'єри з видобування руд і кам'яного вугілля;
- коксохімічні комбінати та енергетичні підприємства;
- цехи і заводи феросплавів;
- сталеплавильні та прокатні цехи.

**Сталь** – сплав заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором, в якому вуглецю менше, ніж 2,14 %. Чавун має більший вміст вуглецю та домішок.

У більшості сталь отримують за двоступінчастою схемою: доменне виплавлення чавуну і різні способи його перероблення на сталь.

Вихідні матеріали, застосовувані під час виробництва чавуну: залізні руди, флюси, паливо і вогнетривкі матеріали.

### Виробництво чавуну

Чавун виплавляють у печах шахтного типу – домнах. У доменній печі відновлюються оксиди заліза, кремнію, марганцю та інших домішок унаслідок горіння палива, вивільнення газів CO, CO<sub>2</sub> тощо.

Продукти доменного плавлення – чавуни, шлаки, доменний газ і феросплави.



## Структура металургійного виробництва

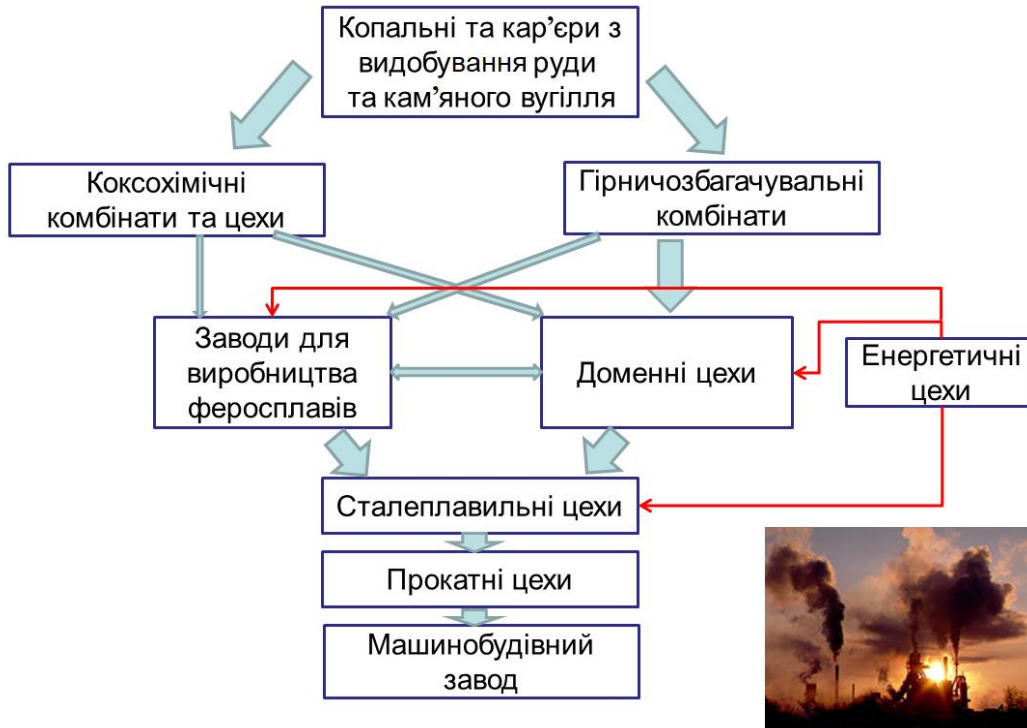


Рисунок 4 – Структура сучасного металургійного виробництва

### Виробництво сталі

Існує два основних способи виробництва сталі:

- переділ чавуну;
- пряме відновлення заліза з руд газом-відновником із подальшим плавленням отриманого продукту в електропечах.

Процес переділу чавуну в сталь призводить до зменшення вмісту вуглецю і домішок у вихідному матеріалі за рахунок їх примусового окиснення.

Технологічна схему переділу чавуну в сталь: завантаження шихти, плавлення, окиснення вуглецю і домішок, розкиснювання, легування і розливання сталі.

Для переділу чавуну використовують мартенівські печі, кисневі конвертери та електричні печі.

У мартенівській печі сталь виплавляють із:

- твердого або рідкого чавуну;
- сталевого і чавунного скрапу, залізної руди;
- окалини, феросплавів і флюсів.

Використовують тверде, рідке, газоподібне чи змішане паливо.

Мартенівська піч доволі неекономічна і громіздка, але може працювати повністю з твердою шихтою, виплавляти вуглецеві й леговані, конструкційні та інструментальні сталі.

Одним із прогресивних способів виробництва сталі є киснево-конвертерний, яким виплавляють більшість вуглецевих і низьколегованих сталей.

Джерелом тепла в кисневому конвертері є енергія хімічних реакцій окиснення домішок: для цього в рідкий чавун вдувають кисень через трубку – фурму. На жаль, за такого способу випалюються й корисні та леговані домішки в сталі.

Високоякісні, інструментальні та високолеговані сталі виробляють у дугових та індукційних електричних печах.

У дуговій печі тепло для плавлення утворюється від горіння електричної дуги між графітовим електродом і шихтою.

В індукційних печах сталь отримують переплавленням або сплавленням шихтових ма-

теріалів. Тепло плавлення виникає від проходження струму високої частоти, наведеного індуктором. Струм проходить по шихті, внаслідок цього виникає тепло, що й плавить завантажені матеріали.

З метою підвищення ефективності та зниження собівартості використовують дуплекс-процес – отримання сталі з чавуну спочатку в одній із печей і доведення їх до потрібного хімічного складу в одній з електричних печей (це може бути конструктивно один агрегат). Наприклад: конвертерна піч – електродугова піч. За такого способу сталь остаточно розкиснюється, рафінується та легується саме в електродуговій печі.

### **Розливання сталі**

Після виплавлення сталь розливають для отримання зливок одним із таких способів:

- у виливниці зверху;
- у виливниці знизу (сифонне розливання);
- на установках безперервного розливання сталі.

У подальшому зливки металу (сталі) обробляють тиском. Частку сталі спрямовують у ливарні цехи для отримання заготовок литтям.

### **Способи підвищення якості металів**

Для зниження вмісту шкідливих домішок, газів і шлакових включень застосовують різні технологічні процеси, що підвищують якість сталі: вакуумну дегазацію, оброблення синтетичними шлаками, електрошлакове переплавлення, вакуумно-дугове переплавлення та інші способи.

### **Виробництво кольорових металів**

Основний спосіб виробництва міді – пірометалургійний. Мідні руди збагачують, випаляють для видалення сірки.

Наступним етапом виробництва міді є плавлення концентрату на штейн (вміст міді в штейні 20–45 %, шлаку 0,4–0,6 %).

Потім відбувається плавлення в шахтних печах з отриманням спочатку чорної міді, а після рафінування – чистової.

Основний спосіб виробництва алюмінію та магнію – електролітичний.

Промисловим способом отримання металевого алюмінію є електролітичне розкладання оксиду  $Al_2O_3$ , розчиненого в розплавленому кріоліті  $Na_3AlF_6$ .

Виробництво алюмінію складається з двох стадій: отримання глинозему з боксидів (алюмінієвих руд) і електролізу глинозему з одержанням металу.

Електроліз проводять у спеціальних пристроях – електролізерах (ваннах). Металевий алюміній збирається на дні ванни під шаром електроліту.

Щоб одержати алюміній підвищеної чистоти, необхідно провести рафінування: електролітичне або хлором.

Основним способом отримання магнію є електроліз його розплавлених солей за температур 700–720 °С.

Сировиною для виробництва магнію є магнієві руди – хлориди й карбонати.

Металевий магній може бути одержаний також термічними способами шляхом відновлення оксиду магнію вуглецем, кремнієм або феросиліцієм за високих температур і відносно глибокого вакууму.

Як вихідні матеріали під час виробництва титану використовують рутил, ільменіт та інші руди, з яких магнієтермічним способом отримують титан. Процеси: отримання титанового концентрату і титанового шлаку, хлорування, відновлення титану, вакуумна дистиляція титанової губки, процес її плавлення на зливки у вакуумних дугових печах.

Література [1–2, 7].

### 3 Технологія одержання заготовок деталей машин. Основи технології ливарного виробництва

Основні етапи виготовлення машин. Поняття про машинобудівні заготовки. Класифікація способів одержання заготовок.

Основи технології ливарного виробництва. Загальна характеристика ливарного виробництва. Фізичні основи виробництва виливків. Класифікація і властивості ливарних сплавів. Способи виготовлення виливків та їх технологічні можливості, виготовлення виливків у піщаних формах, схема технологічного процесу. Ливарна форма та її елементи. Формувальні і стрижневі суміші. Виготовлення виливків за виплавлюваними моделями і литтям в оболонкові форми. Виготовлення виливків у постійних формах: у кокіль, під тиском і відцентровим способом. Технологічні можливості різних способів одержання виливків.

Виготовлення виливків із різних сплавів. Виготовлення виливків із чавуну, сталі, сплавів на основі міді, алюмінію, магнію, титану, молібдену тощо.

Вибір технологічного способу лиття. Особливості конструювання литих деталей з урахуванням ливарних властивостей сплавів і способів лиття.

Техніка безпеки й охорона довкілля в ливарному виробництві.

Основні етапи виготовлення машин наведено на рисунку 5.

#### Основні етапи виготовлення машин

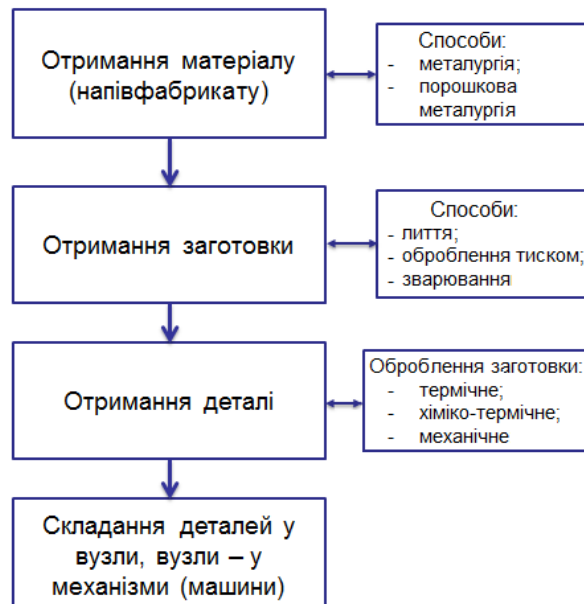


Рисунок 5 – Основні етапи виготовлення машин

*I етап. Отримання матеріалу* для виготовлення заготовок. Матеріал для виготовлення заготовок отримують за технологією, що залежить від його природи. Отримуємо метал у зливках – це напівфабрикат для виготовлення заготовки в цьому технологічному процесі.

*II етап. Виготовлення заготовок.* Заготовка за формою і розмірами близька до деталі. Заготовка більша від деталі на величину певного шару металу (припуску), щоб після механічного оброблення набути потрібної точності та шорсткості поверхні.

Способи отримання заготовки:

– лиття – отримання заготовок шляхом заливання розплавленого металу заданого хімічного складу в ливарну форму, порожнина якої має конфігурацію заготовки;

– оброблення тиском – технологічні процеси, що базуються на пластичній формозмінності металу;

– зварювання – технологічний процес отримання нерознімних з'єднань із металів і сплавів (із декількох окремих складових зварюють суцільну заготовку) за рахунок утворення атомно-молекулярних зв'язків між частинками з'єднаних заготовок.

*III етап. Оброблення заготовок.* Для формоутворення заготовок найчастіше застосовують механічне оброблення (різанням), а для надання деталі остаточних властивостей – оброблення пластичним деформуванням, електрофізичні та електрохімічні способи оброблення, термічне й хіміко-термічне оброблення.

*IV етап. Складання вузлів і машин* – завершальний етап у виробництві машин, складені деталі з'єднуються між собою у вузли, а вузли – в машини.

Спосіб отримання заготовки повинен бути економічним, що забезпечує високу якість деталі, продуктивним, нетрудомістким.

Матеріали для тієї чи іншої технології повинні мати певні технологічні властивості: ковкість, штампованість, рідкоплавкість, зварюваність, оброблюваність тощо.

Ця послідовність може порушуватися – наприклад, при отриманні заготовок (деталей) із порошкових та композиційних матеріалів, неметалів.

Вибір раціонального способу отримання та оброблення заготовки відповідно до вимог, що ставляться до деталі, механізму, машини, є основною метою цього курсу матеріалознавства і ТКМ.

### Основи технології ливарного виробництва

*Ливарне виробництво* – галузь промисловості, що виробляє заготовки і деталі методом заливання розплавленого металу в порожнину ливарної форми, що має конфігурацію заготовки. Після затвердіння метал зберігає конфігурацію порожнини форми.

Одержувану заготовку називають виливком.

Основні технологічні (ливарні) властивості сплавів: рідкоплавкість, усадка, схильність до тріщин, газопоглинання, ліквіація.

Таким чином, далеко не всі метали (матеріали) можна застосовувати для виготовлення заготовок литтям.

### Технологія отримання вилівка на прикладі разової піщано-глинястої форми

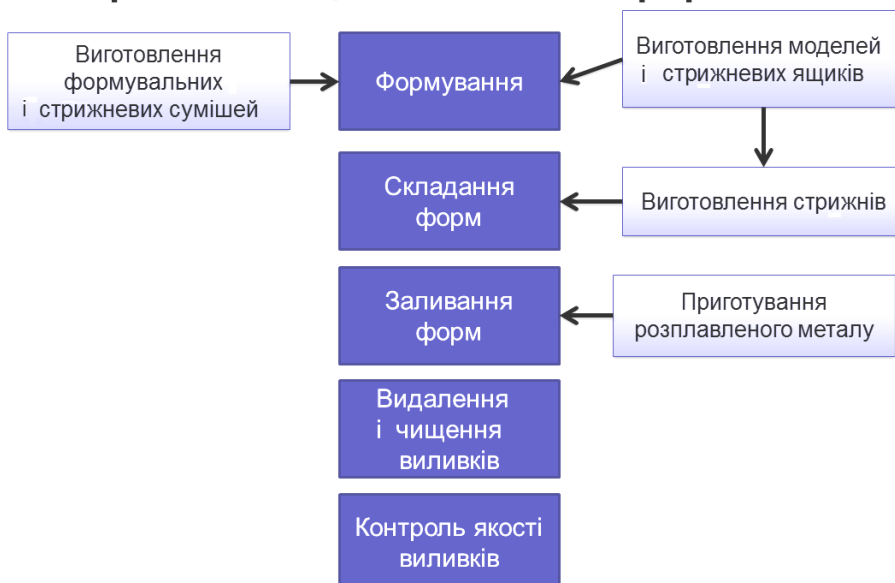


Рисунок 6 – Схема послідовності процесів отримання заготовки литтям у піщано-глинясту форму

Виготовлення литтям у разові піщані форми (рис. 6) є найбільш простим та ефективним способом. На жаль, він має й безліч недоліків – складність виготовлення форми, можливість переходу елементів із формової суміші в метал і т.ін.

Ливарні форми і стрижні виготовляють на машинах та вручну. Машинні способи мають ряд переваг порівняно з ручними. Розрізняють струшувальні, пресові, піскодувні машини і пісcomedети.

Формувальні матеріали значною мірою визначають якість одержуваних виливків і тому

повинні мати певні властивості.

Важливими технологічними етапами є плавлення ливарного сплаву, а також сушіння форм, їх оброблення, складання.

Виливки часто мають великі зерна, ліквіацію неметалевих вкраплень і легувальних елементів, термічні напруження та інші види дефектів. Загалом властивості литих заготовок поступаються заготовкам, отриманим обробленням тиском. Проте певні заготовки неможливо або нераціонально отримувати іншим способом.

Лиття в разові піщані форми не завжди забезпечує необхідні показники продуктивності, економії формувальних матеріалів і ливарних сплавів, точності розмірів та якості поверхні виливків.

Це привело до створення спеціальних способів лиття в разові й багаторазові форми. До таких способів відносять лиття:

- в оболонкові форми;
- за виплавними моделями;
- за газифікованими моделями;
- в оболонкові форми;
- в кокіль;
- під тиском;
- відцентровим способом.

### **Виготовлення виливків із різних сплавів**

Сірі чавуни – мають гарні технологічні властивості, порівняно дешеві, але є дуже неміцними серед чавунів.

Ковкі чавуни – виготовляють з білого чавуну, потім заготовки відпалюють (томлять за температури 1050 °С до 3 діб), вони більш міцні, ніж сірі, завдяки пластівцям графіту.

Високоміцні чавуни з кулястим графітом мають високі механічні властивості, не поступаються литій вуглецевій сталі, мають хороші ливарні властивості. Їх отримують модифікуванням магнієм при розливанні у форму.

Сталі (особливо леговані) мають погані ливарні властивості.

Мідні сплави залежно від типу мають гарні (бронза) і погані (деякі латуні) ливарні властивості.

Алюмінієві сплави залежно від типу мають гарні – ливарні – сплави (силуміни) і погані – деформівані – сплави (дюралюміній) – ливарні властивості.

Магнієві сплави залежно від типу мають гарні – ливарні – МЛ і погані – деформівні – МА – ливарні властивості.

### **Вибір технологічного способу лиття**

При виборі способу отримання вилівка необхідно:

- оцінити всі позитивні й негативні сторони можливих технологічних процесів, провести порівняльний аналіз;
- розглянути питання економії металу.

Металомісткість можна знизити конструктивними й технологічними заходами – змінити конструкцію, зменшити товщину стінок, застосувати коробчасті або таврові перерізи, замінити дорогі матеріали.

Необхідно вибрати спосіб, що забезпечує задану точність розмірів і шорсткість поверхні. Висока якість поверхні дає можливість зберегти під час механічного оброблення ливарну кірку, що має підвищену твердість і зносостійкість, знизити собівартість готових деталей за рахунок економії металу.

Правильно вибрати спосіб отримання заготовки – означає визначити раціональний технологічний процес її отримання з урахуванням матеріалу деталі, вимог до точності її виготовлення, технічних умов, експлуатаційних характеристик і серійності.

Складні за конфігурацією виливки одержують литтям під тиском, за виплавлюваними моделями в піщаних формах.

Литтям у кокіль одержують виливки з простою зовнішньою конфігурацією, відцентровим литтям – виливки типу тіл обертання.

Найбільш тонкостінні виливки одержують литтям за виплавлюваними моделями і литтям під тиском.

Спеціальні способи лиття застосовують для отримання дрібних і середніх виливків.

Під час лиття в піщані форми габарити і маса виливків не обмежені.

Найточнішим показником, що визначає ефективність використання того чи іншого способу, є собівартість.

Література [1–5].

#### **4 Основи технологій оброблення тиском**

Загальна характеристика оброблення металів тиском (ОМТ). Сучасний стан, значення і місце ОМТ у машинобудуванні. Класифікація видів оброблення металів тиском. Теоретичні основи ОМТ. Характеристика видів і станів деформацій. Механічні стани деформівних тіл: пружний, пластичний, крихкий, високоеластичний і стан руйнування. Залежність між деформацією і напруженням. Структура матеріалів та її зміна під час навантаження. Зміна структури і властивостей у разі пластичної деформації. Наклеп і текстура. Процеси під час нагрівання пластично деформованого металу. Холодне і гаряче ОМТ, особливості.

Технологічні процеси одержання машинобудівних профілів. Основи теорії прокатування.

Характеристика прокатного виробництва: схема, умови, продуктивність. Устаткування для прокатування. Виробництво листового й сортового прокату. Технологія виготовлення труб і спеціальних видів прокату. Пресування і волочіння металу. Призначення та сортамент виробів. Устаткування, інструмент і технологічні операції процесів одержання профілів. Вплив зовнішніх факторів на процеси деформування та руйнування металів. Основні поняття про вплив часу, швидкості навантаження і деформування, температури й тиску. Зовнішнє тертя під час ОМТ і напружений стан.

Кувально-штампувальне виробництво. Призначення кування і штампування. Загальні закономірності формозміни. Характеристика вихідних матеріалів та основні технологічні операції кування. Способи одержання поковок універсальним і спеціальним інструментом.

Гаряче штампування (ГШ), його різновиди й особливості (відкрите і закрите). Класифікація штамів. Технологічні можливості ГШ. Сутність і схеми видавлювання, висадки та формування. Маловідхідні технології.

Листове штампування. Розділювальні й формозмінювальні операції, зміна структури та властивостей металу в зоні деформування. Сутність і схеми листового штампування еластичним середовищем, вибухом, електрогідравлічним та електромагнітним методами.

Технологічні можливості устаткування під час ОМТ. Екологічні й економічні проблеми впровадження методів ОМТ у машинобудівному виробництві.

#### **Загальна характеристика оброблення металів тиском (ОМТ)**

ОМТ піддають більше ніж 90 % виплавленої сталі й 60 % кольорових металів і сплавів.

Застосування процесів ОМТ дозволяє формоутворювати заготовки з високою продуктивністю і малими відходами, а також із можливістю підвищення механічних властивостей металу внаслідок пластичного деформування.

ОМТ ґрунтується на здатності металів за певних умов отримувати пластичну деформацію і змінювати форму під дією зовнішніх сил.

Пластична деформація призводить до зміни фізико-механічних властивостей. Якщо ця зміна зберігається після пластичної деформації, то її називають холодною, а явище – зміцненням або наклепом.

Під час нагрівання зміцненого металу за певної температури відбувається заміна деформованих зерен на рівноважні. Це явище називають рекристалізацією, а деформацію, за якої рекристалізація проходить в усьому об'ємі металу, – гарячою.

Нагрівання перед ОМТ проводять із метою підвищення пластичності й зниження опору металу деформації.

Будь-який метал повинен оброблятися тиском лише в певному інтервалі температур. Для цього застосовують нагрівальні пристрої (камерні й методичні печі, електронагрівальні пристрої).

Основними технологічними властивостями деформованого металу є пластичність та опір деформуванню.

Під час розроблення процесів ОМТ вважають, що об'єми металу до деформації і після однакові (закон незмінності об'єму), а кожна точка деформівного тіла переміщається в напрямку найменшого опору. Переміщенню металу протидіють сили тертя, що виникають на поверхні контакту деформувального інструменту і металу.

### Технологічні процеси одержання машинобудівних профілів

Процеси оброблення тиском (рис. 7) за призначенням поділяють на два види:

- отримання заготовок постійного поперечного перерізу за довжиною (виробництво напівфабрикатів – профілів);
- отримання заготовок змінного перерізу за довжиною, що мають наближено форми і розміри готових деталей.

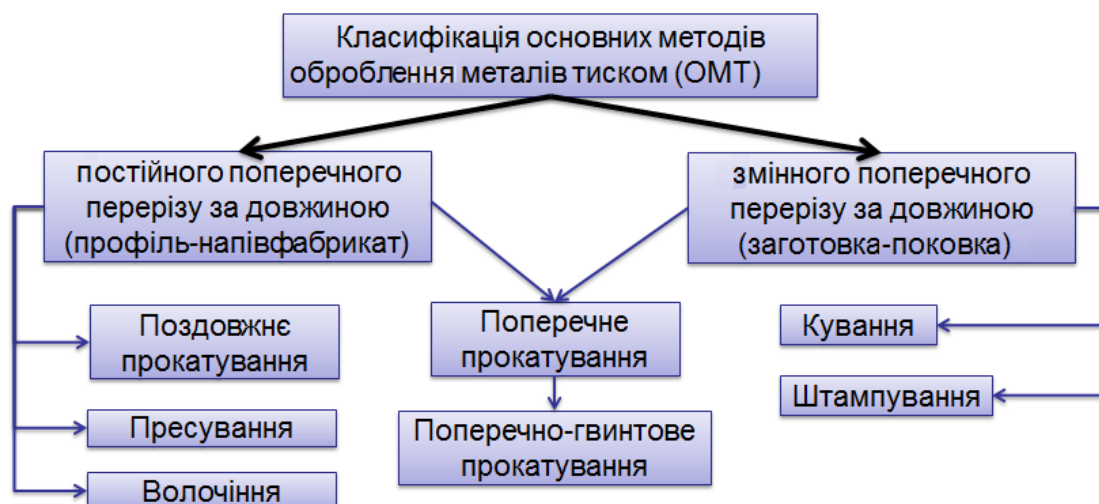


Рисунок 7 – Класифікація основних методів оброблення металів тиском

Найбільш застосовувані способи отримання профілів: прокатування, пресування, волочіння, виробництво гнутих профілів.

### Прокатувальне виробництво

**Прокатування** – один із найбільш поширених способів виробництва профілів. Вхідною заготовкою під час прокатування є зливки. Під час прокатування метал деформується в гарячому або холодному стані обертовими валками.

Розрізняють такі схеми прокатування:

- поздовжнє;
- поперечне;
- поперечно-гвинтове.

За найбільш поширеною схемою поздовжнього прокатування відбуваються обтискання металу по висоті, витягування та незначне збільшення ширини.

Існує певна умова – «умова захоплення», яке обмежує величину деформації металу за



один пропуск між валками.

Сортамент прокату – сукупність профілів, отримуваних прокатуванням. Є листовий, сортовий, трубний та спеціальний прокати. Для одержання усієї номенклатури сортаменту використовують прокатні стани з різною кількістю та розміщенням прокатних валків.

Для отримання листового та більшості сортового прокату використовують схеми по-здовжнього прокатування; для отримання безшовних труб, заготовок кульок – поперечно-гвинтове прокатування; для кілець, бандажів – спеціальне. Прокат використовують як заготовку в кувально-штампувальному виробництві, при виготовленні деталей механічним обробленням і під час створення зварних конструкцій.

Окремими є такі різновиди отримання профілів постійного поперечного перерізу за довжиною, як:

- пресування (видавлювання із замкнутого контейнера металу через певної форми отвір) – для отримання профілів складного перерізу;
- волочіння (протягування металу напівфабрикату через певної форми отвір) – для отримання каліброваного дроту, трубок тощо.

### Кувально-штампувальне виробництво

Кування і гаряче об'ємне штампування (рис. 8) відносять до способів отримання заготовок – поковок, що мають наближені форму й розміри готової деталі.

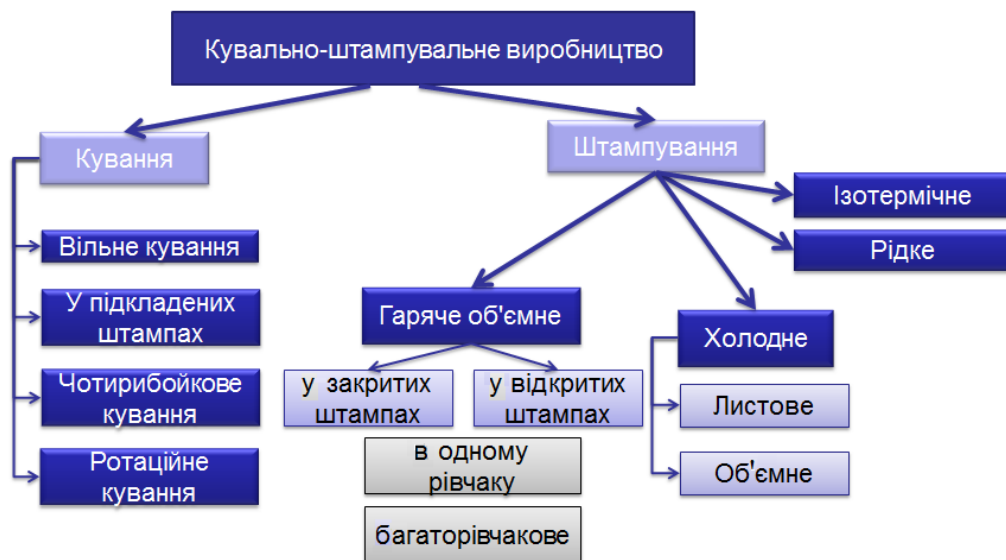


Рисунок 8 – Характеристика кувально-штампувального виробництва

Кування застосовують під час виробництва однієї чи невеликої кількості однакових заготовок. Це єдиний можливий спосіб отримання масивних поковок. Процес здійснюється в гарячому стані і складається з чергування у визначеній послідовності основних операцій кування. Куванням отримують поковки відносно простої форми, що потребують подальшого значного механічного оброблення.

Для кування використовують молоти (машини динамічного деформування) і преси (машини статичного деформування).

Застосування гарячого об'ємного штампування (ГОШ) обґрунтоване лише у разі досить великих партій поковок порівняно невеликих розмірів (до 100–150 кг). Це пов'язано з використанням спеціального дорогого інструменту – штампа.

### Гаряче об'ємне штампування

Гаряче об'ємне штампування порівняно з куванням дозволяє виготовити з великою продуктивністю штамповану поковку, що за конфігурацією близька до готової деталі, з незначними припусками на механічне оброблення.



Вихідні заготовки для об'ємного штампування зазвичай отримують у вигляді відрізків сортового прокату різноманітного профілю. Здебільшого, для наближення форми вихідної заготовки до форми поковки, її попередньо деформують у заготівельних рівчаках багаторівчакового штампа.

Під час класифікації способів штампування за основну ознаку беруть тип штампа (в закритих і відкритих штампах).

Холодне штампування є листовим та об'ємним.

У разі об'ємного штампування (холодного видавлювання, висадки і формування) отримують вироби з високою точністю та якістю поверхні. Проте зусилля у разі холодного об'ємного штампування значно більші, тому стійкість штампа обмежена.

### **Листове штампування**

До листового штампування відносять процеси деформування заготовок із листів, стрічок (штрипса) і труб.

Виділяють дві групи операцій листового штампування:

- роздільні;
- формоутворювальні.

Однією з основних операцій листового формування є витяжка, наприклад, утворення ковпачка з попередньо вирубаній листовій заготовці. Це відбувається шляхом тиску пуансона (частина штампа, що виступає) на матрицю (в матриці є заглибина – робоча порожнина).

Для характеристики граничної формозміни вводять коефіцієнт витяжки. Значення коефіцієнта витяжки наведені в довідковій літературі. Якщо необхідно отримати виріб із коефіцієнтом витяжки, меншим від граничного, застосовують витяжку з кількома переходами.

Інструмент листового штампування – штампи. Устаткування листового штампування – штампувальні преси (кривошипні преси простої та подвійної дії) і молоти.

При виготовленні невеликих партій виробів, якщо виготовлення складних штампів не економічне, застосовують спрощені способи оброблення тиском листових заготовок: штампування еластичними середовищами, давильні роботи й імпульсне штампування.

Література [1–2, 5–6].

## **5 Технологія отримання порошкових, неметалевих та композиційних матеріалів**

Порошкова металургія. Способи одержання і технологічні властивості порошоків. Характеристика композиційних порошкових матеріалів. Приготування суміші, формоутворення й остаточне оброблення заготовок.

Неметалеві матеріали. Класифікація.

Пластмаси. Технологічні властивості пластмас. Особливості формоутворення.

Еластомери. Гуми. Силікони. Поліуретани. Технологічні властивості еластомерів. Особливості формоутворення.

Композиційні матеріали. Композиційні матеріали з металевою матрицею (МКМ). Композити на основі кераміки (НКМ). Полімерні композитні матеріали (ПКМ). Основні технології отримання заготовок із полімерних композитних матеріалів.

Клейові матеріали. Лакофарбові матеріали. Деревинні матеріали. Компаунди. Герметики, неорганічні матеріали.

Виготовлення деталей із неметалевих матеріалів. Способи формоутворення у в'язкотекучому стані. Перероблення у в'язкотекучому стані. Перероблення у високоеластичному стані. Отримання виробів із рідких полімерів. Перероблення в твердому стані. Отримання нерознімних з'єднань.

### **Порошкова металургія**

**Порошкова металургія** – це галузь, що охоплює виробництво порошоків металів (Fe, Cu, Ni, Al тощо), їх сплавів і сполук, а також неметалевих матеріалів (графіту, сажі) та одер-

жання з них напівфабрикатів, заготовок або готових виробів. У цьому разі основний компонент таких матеріалів не доводять до плавлення.

Метод порошкової металургії (рис. 9) цінний можливістю отримання матеріалів із металів зі значною різницею температури плавлення ( $W + Cu$ ), з металів і неметалів (бронза + графіт), із хімічних сполук (оксидів, карбідів, нітридів) – тверді сплави, з матеріалів із пористістю тощо.

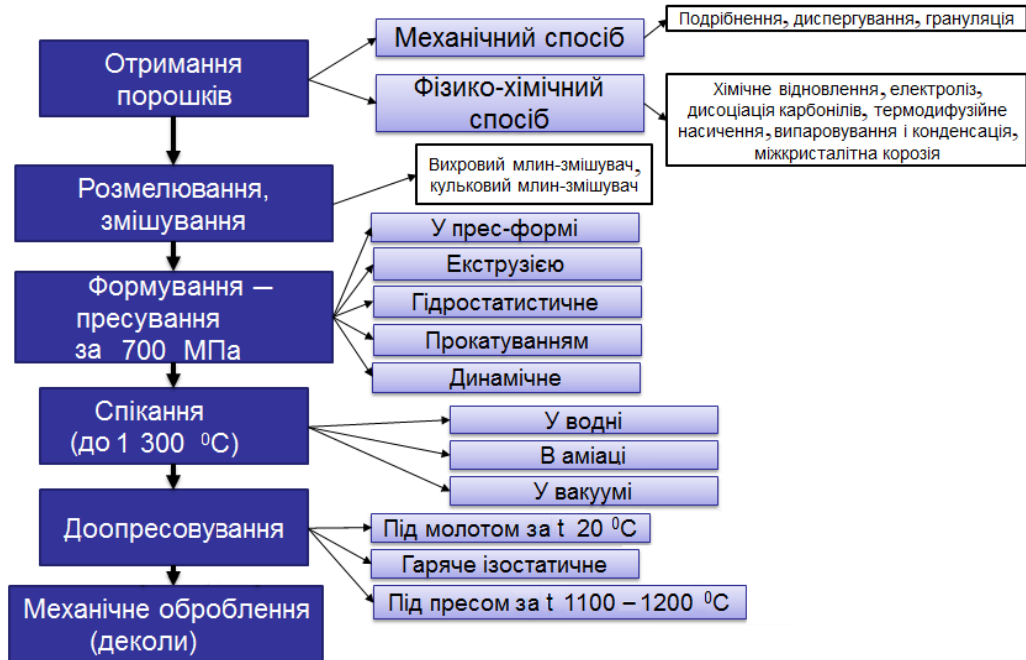
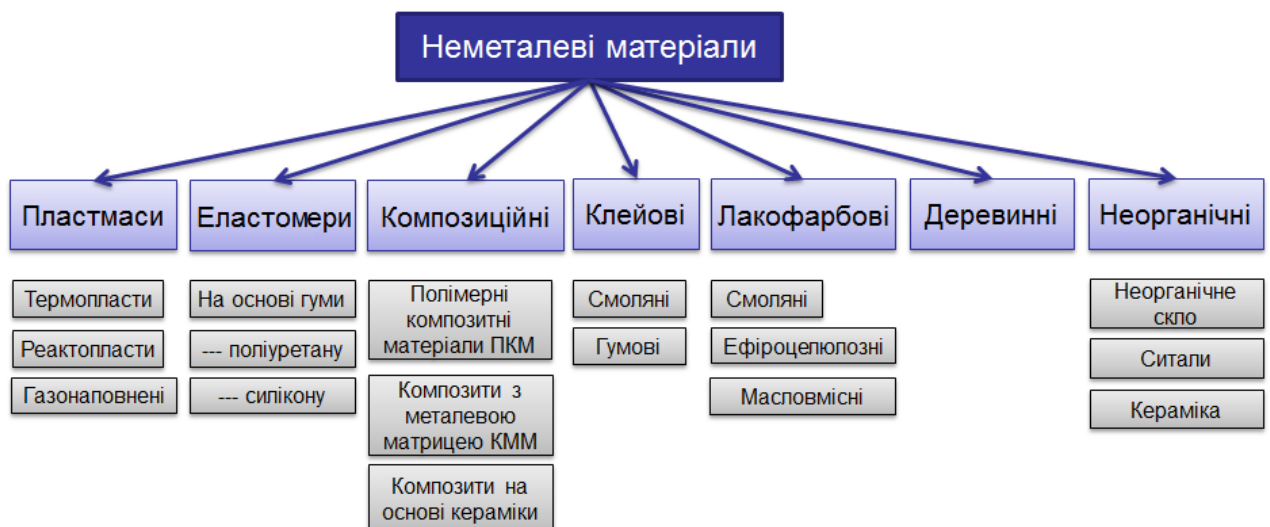


Рисунок 9 – Схема отримання зі сталевих порошків заготовок та виробів

Тут є мінімальною втрата матеріалів, і метод є високоефективним при виготовленні деталей загального машинобудування. Такі вироби виготовляють із порошків сталі, бронз, латуней та інших матеріалів.

За умов додержання технології такі деталі можна додатково обробляти різанням, надавати термічному обробленню.

### Неметалеві матеріали



## Класифікація і технологічні властивості пластмас

**Пластмаси** (рис. 10) – матеріали на основі полімерів (смола) із високою пластичністю на стадії виробництва (перероблення). Мають низьку міцність, твердість, велику повзучість, низьку теплостійкість ( $-60...+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); низьку теплопровідність; негативний бік – здатність старіти – втрачати властивості під впливом зовнішніх факторів.

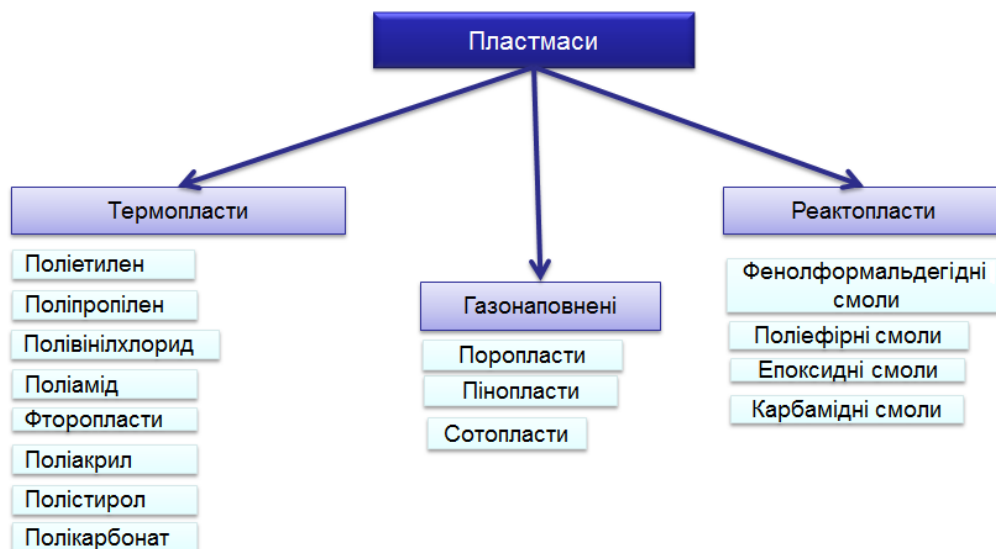


Рисунок 10 – Спрощена класифікація пластмас

**Полімери** (синтетичні смоли) одержують полімеризацією або поліконденсацією простих речовин – мономерів (наприклад, етилену  $\text{C}_2\text{H}_4$ ). З підвищенням температур полімери проходять такі стадії: високоеластичний стан, в'язкоеластичний стан (рідкий) та розкладання.

**Термопласти** (зазвичай чисті полімери) можуть необмежено переходити з рідкого в твердий стан, але мають обмежену робочу температуру – до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , реактопласти – один раз тверднуть незворотно, робоча температура – до  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Термопласти мають невисоку температуру переходу у в'язкотекучий стан, добре переробляються литтям під тиском, екструзією і пресуванням.

### Основні термопласти

**Поліефіри (поліестери)** – поліетилентерефталат PET – продукт поліконденсації етиленгліколю і терефталевої кислоти ( $\sigma_{\text{в}} = 100\text{ МПа}$ ). Торгова марка – лавсан. Пляшки для води, олії. Робоча температура – до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Поліетилен** – продукт полімеризації етилену  $\text{C}_2\text{H}_4$ . Є високого тиску LDPE (низька щільність) і низького тиску HDPE (висока щільність – щільні гляцеві пакети). Поліетилен стійкий у лугах, розчинах солей та кислот. Застосовують для виготовлення труб, плівки, захисних покриттів.

**Поліпропілен** – продукт полімеризації пропілену  $\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$ . Подібний до поліетилену, проте більш теплостійкий (до  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) і твердий. Із часом виділяє вінілхлорид. Застосовування: труби сантехнічні, автопластик.

**Полівінілхлорид (ПВХ)** – полімер хлористого вінілу  $\text{CH}_2\text{-CHCl}$ . Плівка, штучна шкіра, ізоляція дротів тощо. Твердий ПВХ називається вініпластом. Він має високу механічну міцність і гарні електроізоляційні властивості, легко формується, добре піддається механічному обробленню, склеюється і зварюється, крихкий за негативних температур (робочий діапазон температур – від  $0$  до  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

**Поліакрилати** – на основі похідних акрилової та метакрилової кислот. Для підвищення стійкості за низьких температур вводять пластифікатори.

**Полістирол** – продукт полімеризації стиролу з нафти та кам'яного вугілля. Твердий, прозорий, негігроскопічний, горючий, незносостійкий, схильний до старіння. Робоча темпе-

ратура – 90 °С. Добре склеюється й фарбується. Застосовують для виготовлення ємностей, що не нагріваються, корпусів приладів, пінопластів.

*Органічне скло* (акрил) – поліметилметакрилат. Воно легше й прозоріше за силікатне, масло-, бензо- і водостійке, має підвищену хімічну стійкість, розчиняється у вуглеводнях. Робоча температура – до 80 °С, твердість – НВ 6–10. Переробляється литтям під тиском, екструзією, пресуванням.

*Поліаміди* (капрон, нейлон, енант) – група пластмас, у складі молекул яких є амідна (-NH-CO-) і метиленова (-CH<sub>2</sub>-) групи. Добре відливаються, достатньо міцні, зносостійкі, поглинають вібрацію. Витримують бензин, луги, поглинають вологу та істотно старіють. Виготовляють волокна, втулки, підшипники, шестерні.

*Фторопласти* – похідні етилену, в яких атоми водню заміщені атомами фтору.

Політетрафторетилен [-CF<sub>2</sub>-CF<sub>2</sub>-]<sub>n</sub> (фторопласт-4, фторлон-4) є фторопохідним продуктом етилену і являє собою дрібний порошок білого кольору. У в'язкотекучий стан переходить за температури 423 °С, а за – 420 °С сильно окиснюється, тому литтям під тиском та екструзією його не переробляють. Фторопласт-4 пресують за температури 360–380 °С. Матеріал має високу термостійкість, стійкість до дії кислот, лугів, окисників, розчинників, низький коефіцієнт тертя. Застосовується для виготовлення ущільнювальних елементів, деталей антифрикційного призначення, ізоляції. Є лаки з фторопластовим наповнювачем.

Політрифторхлоретилен [-CF<sub>2</sub>-CFCl -]<sub>n</sub> (фторопласт-3, фторлон-3) – полімер стійкий до дії кислот, лугів, окисників, розчинників, діапазон робочих температур від –195 °С до + 125 °С. За високої температури розчиняється в бензині, толуолі, ксилолі. Переробляється литтям під тиском, екструзією і пресуванням. Виготовляють труби, діелектрики, плівки, покриття.

*Полікарбонати* [-OROCOOR-]<sub>n</sub> (дифлон) – полімери, що мають високі механічні властивості, атмосферо- і термостійкі, діапазон робочих температур – від –135 °С до + 140 °С, стійкі до дії розбавлених кислот, лугів, розчинів солей, масло- і бензостійкі. Переробляються литтям під тиском та екструзією. Застосовуються для виготовлення шестерень, підшипників, деталей машин і апаратів, деталей кріогенної техніки, в дизайні, будівництві, військовій техніці (куленепробивні), компакт-дисків.

### **Еластомери**

Це полімери, що мають у діапазоні експлуатації високоеластичні властивості. Типові еластомери: різні каучуки і гуми; силікони, силіконовий каучук; поліуретан тощо.

*Гума* є продуктом перероблення каучуків. Натуральний каучук добувають із рослин гевеї. Синтетичний каучук роблять з етилового спирту, ацетилену, бутану, етилену тощо.

Компоненти гумових сумішей: вулканізаційні речовини, прискорювачі вулканізації – надають гумі міцності; наповнювачі – зменшують витрати каучуку та підвищують властивості; пластифікатори – підвищують еластичність гуми; протистарителі – запобігають швидкому старінню гуми; барвники тощо.

Гуми спеціального призначення вміщують: гуми теплостійкі, масло- і бензостійкі, морозостійкі, стійкі до впливу агресивних середовищ, зносостійкі, електротехнічні, радіаційно-стійкі тощо. В них додають поліуретани, силікони, фторопласти, графіт тощо для отримання потрібних властивостей.

Загальна технологія виготовлення виробів із гуми складається з приготування гумової суміші, формування напівфабрикатів (виробів) і вулканізації.

*Поліуретани* [-NH-CO-O-]<sub>n</sub> – полімери, що мають високу еластичність, морозостійкість (до –70 °С), зносостійкість, стійкі до дії розбавлених органічних та мінеральних кислот і масел. Переробляються литтям під тиском, екструзією та пресуванням. Застосовуються як заміник гуми, для виготовлення ущільнювачів, приготування клеїв, зносостійких покриттів.

*Силікони* (поліорганосилоксани) – еластичний матеріал на основі кисневмісних кремнійорганічних сполук. Силікони мають ряд унікальних якостей у комбінаціях, відсутніх у будь-яких інших відомих речовинах: можливість збільшувати або зменшувати адгезію, нада-

вати гідрофобності, працювати й зберігати властивості за екстремальних і швидкозмінних температур або підвищеної вологості, діелектричні властивості, біоінертність, хімічну інертність, еластичність, довговічність, екологічність.

### Композиційні матеріали

Композиційними називають матеріали, утворені з двох чи більше різнорідних фаз і які мають характеристики, що неможливо одержати на окремих вхідних компонентах.

Композиційні матеріали (КМ) є на основі полімерів (ПКМ) (рис. 11), з металевою матрицею (КММ) і на основі кераміки.

Відмінність більшості КМ від традиційних матеріалів також полягає в поєднанні процесу виготовлення матеріалу з процесом виготовлення виробу, можливістю гнучкого регулювання властивостей виробу.



Рисунок 11 – Класифікація полімерних композиційних матеріалів

Деталі та заготовки з композитів із металевою матрицею і композитів на основі кераміки одержують, в основному, способом пресування з порошків із подальшим спіканням (див. розділ «Порошкова металургія»).

### Виготовлення деталей із неметалевих матеріалів

Залежно від фізичного стану полімерних матеріалів, їх поведінки під впливом теплоти способи перероблення пластмас у виробі поділяють на такі групи (рис. 12):

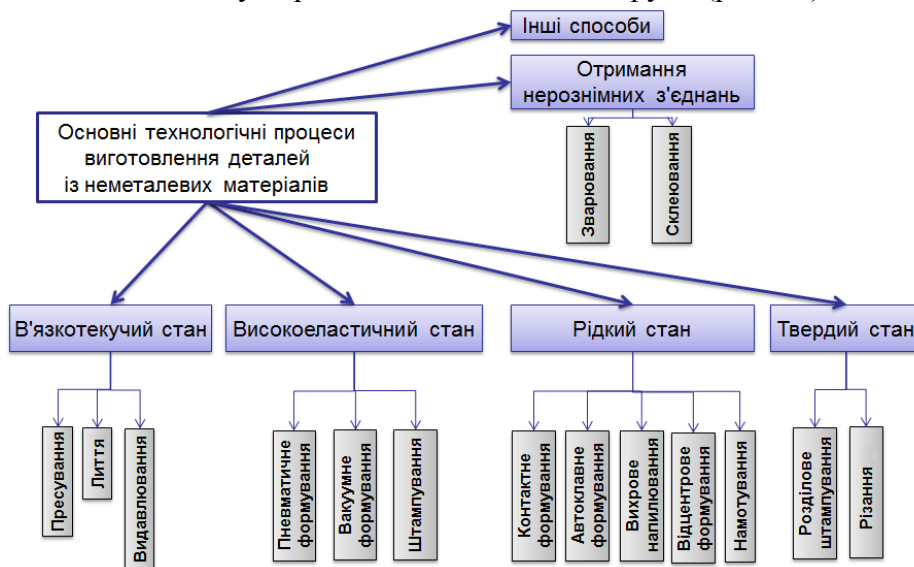


Рисунок 12 – Основні технологічні процеси виготовлення деталей із неметалевих матеріалів

Такі самі технологічні процеси використовують для отримання деталей із полімерних композиційних пластиків.

Література [2, 8].

### **Тема 6. Основи технології зварювального виробництва**

Загальна характеристика зварювального виробництва. Короткі відомості з історії розвитку зварювання. Фізичні основи одержання зварного з'єднання. Умови утворення міжатомних і міжмолекулярних зв'язків. Класифікація способів зварювання. Оцінення зварюваності за ступенем відповідності властивостей зварного з'єднання та основного металу й утворення бездефектних зварних з'єднань.

Термічний клас зварювання. Дугове зварювання. Сутність процесу. Електричні властивості дуги. Ручне дугове зварювання. Зварювальний дріт і електроди для дугового зварювання, їх класифікація й призначення. Механізоване й автоматичне зварювання під шаром флюсу. Флюси та їх характеристика. Дугове зварювання в середовищі захисних газів. Особливості, переваги і застосування зварювання в аргоні й вуглекислому газі. Плазмове зварювання. Схеми зварювання незалежною і залежною дугами. Променеві способи зварювання. Електронно-променеве зварювання. Лазерне зварювання. Газове зварювання. Технологічні можливості способів термічного класу зварювання й галузі застосування.

Термічне різання: повітряно-дугове, кисневе, плазмове, лазерне.

Термомеханічний клас зварювання. Контактне зварювання. Способи контактного зварювання, циклограми процесів. Зварювання акумульованою енергією. Сутність і схема процесу конденсаторного зварювання. Дифузійне зварювання.

Механічний клас зварювання. Ультразвукове зварювання. Сутність і схема процесу. Холодне зварювання. Сутність, схема, різновиду способу.

Особливості зварювання різних металів і сплавів. Поняття про зварюваність металів і сплавів у зв'язку з їх властивостями. Зварюваність низьколегованих сталей із підвищеним вмістом вуглецю. Зварюваність чавунів, кольорових металів та їх сплавів.

Наплавлення та напилювання. Нанесення зносостійких і жаростійких покриттів із спеціальними властивостями. Наплавлення дугове, електрошлакове, струмами високої частоти, плазмове, лазерне. Дугова металізація. Сутність процесу, матеріали, технологічні можливості.

Паяння. Сутність процесу. Способи. Техніко-економічні показники зварювання та наплавлення металів і сплавів.

Контроль якості зварних і паяних з'єднань. Види дефектів зварювальних з'єднань. Техніка безпеки й охорона довкілля під час зварювання.

### **Загальна характеристика зварювального виробництва**

**Зварювання** – технологічний процес, у результаті якого досягається нерознімне з'єднання внаслідок утворення міжатомних зв'язків між з'єднуваними деталями.

Фізична сутність процесу – умови утворення зварного з'єднання:

– звільнення зварювальних поверхонь від забруднень, оксидів та адсорбованих на них чужорідних атомів;

– енергетична активація поверхневих атомів, що полегшує їх взаємодію один з одним;

– зближення зварювальних поверхонь на відстанях, порівняно із міжатомними відстанями у зварювальних деталях.

Зближення атомів металу з'єднуваних деталей на відстані порядку міжатомних та їх енергетична активація досягаються шляхом пластичного деформування, нагрівання або спільною дією того й іншого.

Різновиди класів зварювання металів наведено на схемі (рис. 13).



Рисунок 13 – Класи зварювання металів

### Термічний клас зварювання

Джерелом теплоти під час дугового зварювання є електрична дуга, що горить між двома електродами (часто один електрод є заготовкою, що зварюється).

Дуга – потужний стабільний розряд електрики в іонізованій атмосфері газів і пари металу. Іонізація дугового проміжку відбувається під час запалювання дуги і безупинно підтримується в процесі її горіння.

Під час *ручного зварювання* зварювальник маніпулює електродом, підтримуючи задану довжину дуги, подає електрод, а також рухає його вздовж заготовки.

Електрод для ручного дугового зварювання складається з металевого стрижня та обмазки (покриття). Покриття виконує такі функції: стабілізувальні (іонізувальні), газоутворювальні, шлакоутворювальні, розкиснювальні, легувальні.

*Автоматичне дугове зварювання* під шаром флюсу виконують непокритим електродним дротом, дугу і зварювальну ванну захищають флюсом, подання і переміщення електродного дроту механізовані. Продуктивність у 15–20 разів вища від ручного зварювання за рахунок використання великих зварювальних струмів (до 3 000 А). Флюс, який окремо наносять, виконує функції обмазування електрода.

Під час зварювання в *атмосфері захисних газів* електрод, зона дуги і зварювальна ванна захищаються струменем захисного газу, що примусово подається в зону зварювання ззовні. Захисні гази зазвичай мають відмінну іонізувальну здатність, що забезпечує стабільність горіння електричної дуги навіть за малих струмів. Є активні захисні гази, що вступають у хімічну реакцію, – вуглекислий газ, азот, водень тощо, та інертні – аргон, гелій.

За ступенем механізації зварювання в середовищі захисних газів може бути ручним, автоматичним, напівавтоматичним.

*Зварювання порошковим дротом.* Порошковий дріт має форму трубки, заповненої порошком (шихтою), що може бути складений бухтою (згорнутий). Порошок виконує як функції обмазування звичайного електрода, так і додаткові.

*Плазмове зварювання* – це електрична дуга, стиснена (сфокусована) в струмені іонізувального газу (аргон, гелій, азот, водень, оксид вуглецю тощо). Формується в спеціальних плазмових пальниках (плазмотронах) двох типів: із виділеним із дуги плазмовим струменем і зі збіжним із дугою плазмовим струменем.

*Електрошлакове зварювання* – спосіб зварювання за рахунок виділення тепла, що виникає під час проходження електричного струму через розплавлений шлак. Цим способом можливе особливо високоякісне зварювання металу будь-якої товщини (з 16 мм).

Під час зварювання *електронним променем* використовують принцип електронної емі-

сії за рахунок різниці потенціалів між катодом та анодом за напруги 150 кВ. Зіткнення електронів зі зварюваними деталями розігріває місце зварювання до температур 5 000–6 000 °С. Діаметр електронного променя досягає тисячних мм.

*Зварювання лазерним* променем здійснюється за допомогою оптичних квантових генераторів, що дають світлове проміння з високою густиною енергії. Для його фокусування застосовують оптичну систему. Під час контакту світлового променя зі зварюваним виробом віддається тепла енергія, в місці контакту температура досягається 6 000 °С.

*Газове зварювання.* Метал зварювальних елементів розплавляється газовим полум'ям, що утворюється спалюванням палих газів в атмосфері кисню в газовому пальнику. Найчастіше використовують ацетилен  $C_2H_2$  з найвищою температурою згорання.

### **Термічне різання**

Газовий різак для *кисневого (газового) різання* має додатковий струмінь кисню – він видуває оксиди металу із зони розрізання. Метал повинен відповідати кільком вимогам для можливості проходження процесу газового різання. Далеко не всі метали можна різати цим способом.

Під час *киснево-флюсового різання* в зону розрізу разом зі струменем різального кисню вводять порошок флюсу.

*Фторове різання* використовують для відрізання заготовок із високолегованих сталей, титану тощо. Фтор згоряє у водні, виділяється висока температура, яка й забезпечує різання тугоплавких матеріалів.

*Плазмовим різанням* обробляють будь-які метали, деякі неметали. Локальне високотемпературне нагрівання заготовки виключає її деформацію.

Процес характеризується високою чистотою та якістю поверхні розрізу. Плазмовим струменем розрізають кераміку, високолеговані сталі, мідні й алюмінієві сплави тощо.

*Лазерне різання* є високоефективним видом розкרוювання листових матеріалів і дозволяє вирізувати будь-які вироби зі складним контуром.

*Повітряно-дугове різання* є процесом поверхневого оброблення або розділення металу (сталі й кольорові сплави) за рахунок дуги з неплавким вугільним електродом, додатково подається повітря під тиском. Є високоефективним процесом.

### **Термомеханічний клас зварювання**

*Стикове контактне зварювання* – спосіб з'єднання заготовок за рахунок розігрівання до температури плавлення (або до термопластичного стану) теплом, що виділяється під час проходження електричного струму через заготовки.

*Стикове зварювання* застосовують для з'єднання в стик заготовок з сортового прокату, труб, рейок тощо.

*Точкове зварювання* – спосіб виготовлення листових (або каркасних) конструкцій, що дозволяє одержати міцні з'єднання в окремих точках. Заготовки, зібрані внапуск, затискають між мідними електродами і пропускають струм. Нагрівання від електричного опору матеріалу заготовок локалізується на ділянках контакту – стискання. Електроди водночас пластично деформують заготовку і зварювальну ванну, зміцнюючи місце з'єднання.

*Дифузійне зварювання* матеріалів у твердому стані – це спосіб отримання монолітного з'єднання внаслідок виникнення атомарних зв'язків і взаємодифузії. Це можливе на поверхнях, зближених локальним пластичним деформуванням за підвищеної температури.

### **Механічний клас зварювання**

Під час *ультразвукового зварювання* спричиняються механічні коливання малої амплітуди (десятки мкм) і великої частоти (20–30 кГц). Ці коливання викликають сили тертя в місці зварювання – відбувається нагрівання тонких шарів металу – руйнуються поверхневі оксидні плівки – пластично деформуються приповерхневі шари.

*Холодне зварювання* – процес утворення з'єднання металів і сплавів шляхом інтенсив-



ної пластичної деформації зварюваних деталей за рахунок значного стискального зусилля. З'єднують пластичні матеріали: мідь із міддю, алюміній з алюмінієм, мідь з алюмінієм, нікель, срібло, титан, латунь тощо. Одержують стикові, внапуск, таврові та штирьові з'єднання.

Під час зварювання вибухом утворення з'єднання металевих тіл відбувається ударною дією від детонації вибухової речовини. Під час зіткнення заготовок у точці контакту відбувається зближення заготовок на відстані, за яких забезпечується взаємодія міжатомних сил. Спосіб дозволяє з'єднання різнорідних металів із міцністю на рівні міцності основних металів (сталь + титан, сталь + алюміній, алюміній + мідь і т. ін.) – так утворюють біметали.

Зварювання тертям здійснюють у твердому стані при використанні теплоти, що є наслідком тертя поверхонь зварювальних елементів. Застосовують зварювання тертям для з'єднання однорідних і різнорідних металів.

### **Особливості зварювання різних металів і сплавів**

Зварюваність – здатність матеріалів утворювати зварні з'єднання (без тріщин, пор, шлакових включень та ін.) Розрізняють добру, задовільну та погану зварюваність.

Кожний із металів має свою зварюваність, про що зазначено в довідниках. Наприклад, низьковуглецеві (низьколеговані) сталі добре зварюються. Середньовуглецеві й середньолеговані сталі (більше вуглецю і легувальних елементів) зварюються гірше. Можливі кристалізаційні тріщини та гартівні структури. Застосовують попереднє нагрівання (100–300 °С), термооброблення.

Високовуглецеві сталі не використовують для утворення зварних з'єднань, виняток становлять ремонтні роботи.

Сталі з високим вмістом хрому, нікелю зварюються на особливих режимах.

Для зварних з'єднань не підходить чавун. Алюмінієві, титанові сплави зварюються лише за умови руйнування оксидної плівки на їх поверхні, наприклад, у середовищі захисного газу аргону на імпульсному режимі.

### **Наплавлення та напилювання**

**Покриття** – шар матеріалу, штучно одержуваний на поверхні деталі. Покриття використовують для відновлення зношених деталей, а також для захисту або зміцнення поверхні. Найчастіше для отримання покриттів застосовують процеси, що широко використовуються в зварювальному виробництві.

Існують:

- ручне дугове наплавлення електродами із стрижнями чи покриттями спеціальних складів, порошковим дротом;
- автоматичне наплавлення під флюсом суцільним чи порошковим дротом;
- наплавлення плавкими і неплавкими електродами в середовищі захисних газів;
- плазмове наплавлення;
- електрошлакове, електронно-променеве, лазерне наплавлення, газокисневим полум'ям.

Для напилювання найчастіше застосовують плазмовий струмінь. Це дає можливість напилювати покриття товщиною від 0,5 мм до 5 мм за допомогою спеціальних пальників із подаванням порошку напилюючого матеріалу.

### **Паяння металів і сплавів**

**Паяння** – це з'єднання металевих заготовок без їх розплавлення за допомогою присадного сплаву (припою), що має температуру плавлення нижчу за основний метал. Розплавляючись, припій заповнює зазор між заготовками. Під час паяння можливе з'єднання не лише всіх однорідних металів і сплавів, а й різнорідних, нерідко з різко відмінними властивостями.

За технологічною ознакою розрізняють: капілярне, дифузійне, контактено-реактивне, реактивно-флюсове, паяння - зварювання.

Властивості паяного з'єднання дуже часто наближаються і перевищують властивості з'єднувального металу, але метал заготовок не плавиться, отже, немає короблення від усадки, первинної кристалізації тощо.

### **Контроль якості зварних і паяних з'єднань**

Методи контролю поділяють на дві великі групи – руйнівні та неруйнівні.

До руйнівних відносять механічні, металографічні та корозійні випробування тощо.

Дефекти можуть бути зовнішні і внутрішні. Для їх виявлення, крім візуального огляду, застосовують контроль фарбами, люмінофорами, магнітопорошковий метод, просвічування проникним випромінюванням, ультразвукову дефектоскопію тощо.

Дефекти структури шва зварного з'єднання і зони термічного впливу, внутрішні й зовнішні тріщини, шлакові включення можуть бути виявлені під час металографічного дослідження.

Література [1–4].

### **7 Основні принципи вибору методу отримання заготовки**

Чинники, що визначають вибір методу отримання заготовки з металу. Застосовність методів отримання заготовки для типових деталей. Отримання заготовок корпусних деталей. Заготовки для валів. Заготовки зубчастих коліс. Заготовки деталей типу важелів, шатунів, вилок, профільних стрижнів тощо. Заготовки дрібних і кріпильних деталей.

Чинники, що визначають вибір методу отримання заготовки з неметалів. Отримання заготовок (деталей) із термопластів. Отримання заготовок (деталей) із порошкових матеріалів. Отримання заготовок (деталей) із полімерних композиційних матеріалів.

### **Продукція (напівфабрикати) металургійного виробництва**

Сучасне машинобудування випускає широку номенклатуру сортового й профільного матеріалу, з якої для ряду деталей підбирають необхідні напівфабрикати.

Якщо для виготовлення деталі не можна підібрати напівфабрикат, що дозволяє перетворити його відразу на готову деталь, доводиться вибирати інший вид напівфабрикату, що дозволяє перетворити його спочатку, з найменшими втратами і витратами на заготовку, що наближається за вимогами до готової деталі, а потім – на готову деталь.

У таких випадках як напівфабрикат використовується продукція металургійного виробництва у вигляді:

- метал у зливках – для виготовлення заготовки шляхом лиття;
- сортовий матеріал у вигляді прутка, листа, стрічки або дроту для виготовлення кованих, штампованих, зварних, висаджених, штампувально-зварних, ливарно-зварних та інших видів заготовок.

Вибір напівфабрикату та розроблення технологічного процесу його перетворення спочатку на заготовку, а згодом і на готову деталь дають найбільш високі техніко-економічні показники, якщо ці питання вирішуються комплексно й одночасно з розробленням конструкції виробу та його деталей.

В умовах металургійного виробництва машинобудівні профілі виготовляють прокатуванням, пресуванням і волочінням. У цьому разі отримують напівфабрикат у вигляді сортових профілів, листового прокату, труб і періодичних профілів. Прокат випускають гарячекатаним і каліброваним. Деталі, виготовлені з каліброваних профілів, відрізняються високою точністю розмірів і низькою шорсткістю поверхні.

Сортові профілі поділяють на профілі простої геометричної форми (квадрат, круг, шестигранник, прямокутник) і фасонні (швелер, рейка, кутовий і тавровий профілі тощо). Листовим металом є товстолиста сталь (завтовшки 4–60 мм), тонколистова сталь (завтовшки менше ніж 4 мм) і фольга (завтовшки менше ніж 0,2 мм).

Труби можуть бути безшовними й зварними. Безшовні труби використовують у най-

більш відповідальних трубопроводах і як порожнисті заготовки валів.

Періодичні профілі мають форму, що змінюється, і площу поперечного перерізу вздовж осі заготовки. Їх застосовують як фасонні заготовки для подальшого об'ємного штампування і механічного оброблення різанням.

Гнуті профілі застосовують під час виготовлення виробів для машинобудування, автомобільної та авіаційної промисловості, будівельних конструкцій.

### **Технологічні можливості основних методів формоутворення металевої заготовки**

У сучасному машинобудуванні для отримання заготовок деталей використовують велику кількість різноманітних технологічних процесів та їх поєднань.

Основними з цих процесів є:

- 1) різні способи лиття (у піщані форми, в опоки, кокільне, відцентрове, за моделями, що виплавляються, в оболонкові форми, під тиском, із використанням вакууму);
- 2) різні способи пластичного деформування металів (вільне кування, кування в підкладних штампах, штампування на молотах і пресах, періодичне і поперечне прокатування, висадження, видавлювання);
- 3) різання;
- 4) зварювання;
- 5) паяння;
- 6) комбіновані способи штампування – зварювання, лиття - зварювання і т. ін.;
- 7) порошкова металургія та ін.

Для отримання заготовок зі сталі та кольорових металів із деформованою макроструктурою, що мають форму і розміри, близькі до форми деталей машин, доцільно застосовувати метод оброблення тиском (кування, об'ємне і листове штампування).

*Кування* застосовують для виготовлення заготовок в одиничному виробництві шляхом пластичного деформування профілів або зливків. Під час виробництва великих і унікальних заготовок масою до 250 т кування є єдиною можливим способом оброблення тиском.

Заготовки, отримані *об'ємним штампуванням*, відрізняються більш високою точністю розмірів, якістю поверхневого шару порівняно з кованими поковками. Застосування цього виду оброблення тиском для отримання заготовок деталей машин економічно доцільно в умовах великосерійного і масового виробництв. Під час виготовлення поковок об'ємним штампуванням застосовують сортові й періодичні профілі масою менше ніж 400 кг. За точністю і шорсткістю поверхонь заготовки, отримуваних холодним об'ємним штампуванням, не поступаються виробам, що виготовляються спеціальними способами лиття. У цьому разі механічні властивості поковок вищі, ніж виливків.

*Листовим штампуванням* виготовляють найрізноманітніші плоскі й просторові вироби масою від часток грамів до десятків кілограмів. Як напівфабрикат під час листового штампування використовують отримані прокатуванням листи, смуги або стрічки, товщина яких зазвичай не перевищує 10 мм. При заданій міцності й жорсткості цим видом оброблення тиском отримують вироби мінімальної маси з високою точністю розмірів та якістю поверхні. Це дозволяє скоротити кількість технологічних операцій механічного оброблення різанням.

Методами *порошкової металургії* отримують заготовки, які за розмірами та формою близькі до форми і розмірів деталей, тому під час виготовлення виробів потрібен невеликий обсяг механічного оброблення. Технології порошкової металургії дозволяють практично повністю виключити з виробництва звичайні металургійні процеси, а також значно поліпшити екологічні умови. Коефіцієнт використання металу збільшується до 0,98, продуктивність праці зростає вдвічі порівняно з виготовленням деталей із сортових профілів, отримуваних в умовах металургійного виробництва.

*Методом лиття* отримують заготовки практично будь-яких розмірів як простої, так і дуже складної конфігурації. Водночас виливки можуть мати складні внутрішні порожнини з криволінійними поверхнями, що перетинаються під різними кутами. Точність розмірів і якість поверхні заготовки залежать від способу лиття. Виливки можна виготовляти практич-

но з усіх металів і сплавів, але за механічними властивостями литі заготовки часто будуть поступатися заготовкам із того самого матеріалу (якщо це можливо), отриманим обробленням тиском. Часто при неправильному розрахунку у виливках у масивних частинах утворюються дефекти (усадкові раковини, пористість, гарячі й холодні тріщини).

*Зварні заготовки* виготовляють різними видами зварювання – від електрошлакового до зварювання тертям. У ряді випадків зварювання спрощує виготовлення заготовок складної конфігурації. Слабким місцем зварної заготовки є шов або пришовна зона. Зазвичай їх міцність нижча, ніж основного металу. Крім того, неправильна конструкція заготовки або технологія зварювання може призвести до дефектів (викривлення, пористість, тріщини), які важко виправити подальшим обробленням. Заготовки складної конфігурації дають значний економічний ефект під час виготовлення елементів виробів штампуванням, литтям, прокатуванням із подальшим з'єднанням їх зварюванням. Такі заготовки застосовують у процесі виготовлення великих колінчастих валів, станин ковальсько-пресового устаткування і т. ін.

### **Чинники, що визначають вибір методу отримання заготовки з металу**

Метод отримання тієї чи іншої заготовки залежить від службового призначення деталі та вимог, яке ставлять до неї, а також від її конфігурації й розмірів, марки матеріалу, типу виробництва та інших чинників.

#### *Вплив розмірів та конфігурації деталі на вибір методу отримання заготовки*

Найскладніші за конфігурацією заготовки можна виготовляти методом литва. Вироби, що отримуються методом обробки тиском, мають бути простішими за формою. Виготовлення в поковках отворів і порожнин об'ємним штампуванням у ряді випадків ускладнене, а використання напуску різко збільшує обсяг подальшої механічної обробки.

Розміри заготовок, отримуваних методами лиття та оброблення тиском, практично не обмежуються. Нерідко визначальним параметром у цьому разі є мінімальні розміри (наприклад, мінімальна товщина стінок вилівка, мінімальна маса поковки). Об'ємним штампуванням і більшістю спеціальних способів лиття отримують заготовки масою до декількох десятків або сотень кілограмів.

Форма та розміри заготовок, отримуваних методами порошкової металургії, обмежені як максимальними, так і мінімальними розмірами. Водночас площа поперечного перерізу виробів, отримуваних холодним формуванням порошків із подальшим спіканням, може бути від 50 мм<sup>2</sup> до 6 000 мм<sup>2</sup>, висота – від 2 мм до 60 мм, а маса заготовок, зазвичай, не перевищує 10 кг.

#### *Вплив матеріалу на вибір методу отримання заготовки*

У процесі конструювання деталей вибір марки матеріалу визначається не лише умовами її функціонування, а й умовами виготовлення в реальному виробництві. У той самий час технологічні властивості матеріалу істотно впливають на вибір методу і способу отримання заготовок. Так, сірий чавун має прекрасні ливарні властивості, але він не пластичний і має незадовільну зварюваність.

Заготовки з одного й того самого матеріалу, отримані методами лиття, оброблення тиском і зварюванням, мають різні властивості. Так, литий метал характеризується великим розміром зерен, неоднорідністю хімічного складу і механічних властивостей по перерізу вилівка, наявністю залишкових напружень тощо.

Після оброблення тиском заготовки мають дрібнозернисту структуру і певну спрямованість розміщення волокон (неметалевих включень). Після холодного оброблення тиском виникає явище наклепу, тому холоднокатаний метал міцніший від литого в 1,5–3 рази. Пластична деформація металу призводить до анізотропії властивостей: міцність уздовж волокон (неметалевих включень) приблизно на 10–15 % вища, ніж у поперечному напрямі (незалежно від температурних умов деформування). Таким чином, за інших однакових умов лише за рахунок удалого застосування технології можна отримати збільшення міцності деталі.

Зварювання призводить до утворення неоднорідних структур у зварному шві та пришовній зоні. Неоднорідність залежить від виду і режиму зварювання. Так, найбільша

відмінність щодо властивостей зварного шва виникає під час ручного зварювання, а електрошлакове, автоматичне дугове зварювання забезпечують формування найбільш якісних однорідних швів.

#### *Вплив програми випуску продукції на вибір методу отримання заготовки*

Програма випуску продукції, тобто кількість виробів, що випускаються впродовж певного часу (зазвичай за рік), є одним із найважливіших чинників, які визначають вибір методу і способу виробництва заготовок.

В умовах одиничного виробництва і для простих за конфігурацією деталей часто заготовками є профілі (сортовий прокат, труби і тощо), які отримуються в умовах металургійного виробництва. Вартість механічного оброблення заготовок під час виготовлення деталей у цьому разі висока. Проте така заготовка може бути досить економічною через низьку вартість прокату, майже повну відсутність підготовчих операцій і можливість автоматизації процесу механічного оброблення.

У разі великосерійного і масового виробництва форму заготовок потрібно максимально наближати до конфігурації деталі. Наприклад, для виготовлення ступінчастого вала зі сталі 45 (рис. 14) доцільно застосовувати поковку, отримвану об'ємним штампуванням.

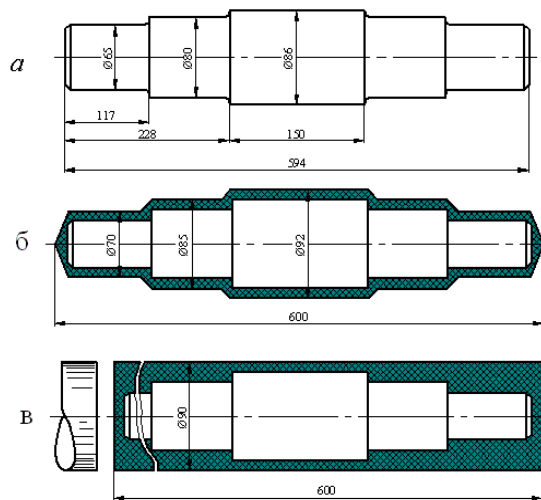


Рисунок 14 – Вал ступінчастий: а – деталь; б – штампована поковка; в – заготовка з гарячекатаного прокату

Найбільш ефективними технологічними способами виготовлення заготовок під час великосерійного і масового виробництва є спеціальні види прокатування (поперечно-гвинтове, поперечно-клинове, прокатування у гвинтових калібрах), що дозволяють отримати періодичні профілі. Застосування таких заготовок дає можливість підвищити коефіцієнт використання матеріалу і продуктивність праці.

#### *Вплив можливостей підприємства*

Під час конструювання деталей необхідно враховувати можливості підприємства, на якому передбачається їх виготовлення. Для цього необхідно мати в розпорядженні відомості про тип і кількість наявного устаткування, виробничі площі, можливості ремонтної бази, допоміжних служб тощо.

#### **Застосовність методів отримання заготовки для типових деталей**

##### **Отримання заготовок корпусних деталей**

Корпусні деталі відрізняються великою різноманітністю конструктивних форм, розмірів, маси та матеріалів. Нині найбільш поширеними технологічними процесами виготовлення заготовок корпусних деталей є литво у піщані форми, меншою мірою – різання – згинання – зварювання, штампування – зварювання і лиття – зварювання.

Основні переваги отримання заготовок литтям – відносно невеликі витрати на виготов-

лення форм для одного виливка; недоліки – невисока точність виливків, що є наслідком використання дерев'яних моделей, збільшення розмірів і спотворення форм, що отримуються при розміщенні моделей перед їх вилученням із форм; недостатньо висока точність виготовлення стрижнів і складання форм; великі ливарні ухили, велика трудомісткість, тривалий цикл формування, спотворення виливка внаслідок нерівномірного ущільнення форми в різних її частинах тощо.

Ці особливості обмежують галузь економічного використання зазначеного способу лиття виробництвом одиничних або таких, що виготовляються в невеликих кількостях великих деталей, а також заготовок, які не можуть бути отримані за допомогою інших способів.

Прикладами таких деталей можуть бути станини, траверси й стояки важких верстатів, станини шестеренчастих клітей, корпуси редукторів, станини силових лебідок, статори, кришки редукторів, гідротурбін та ін.

Під час виготовлення виливків корпусних та інших деталей у машинобудуванні використовують процеси, що значно наближають заготовки до вимог, які ставлять до готових деталей. Основним із яких є лиття в оболонкові форми (оболонкові вставки), що виготовляються з хімічно твердних сумішей із рідким склом.

Досить широко для отримання заготовок великих деталей застосовують комбінований метод, коли заготовку ділять на ряд простих частин, кожна з яких отримують за допомогою лиття. Подальшим зварюванням окремі частини з'єднують з утворенням ливарно-зварної заготовки деталі.

Основними перевагами розглянутих способів отримання заготовок є усунення витрат на виготовлення дорогих моделей, значне скорочення циклу виготовлення, економія металу і зазвичай менша трудомісткість виготовлення. Багато відповідальних зварних заготовок корпусних деталей складних конструктивних форм вимагають відпалу для зниження залишкового напруження, що утворюється під час зварювання.

Незважаючи на відзначені недоліки, ці способи отримання великих заготовок набувають досить широкого використання, особливо під час виготовлення деталей великих габаритних розмірів і маси, лиття яких цілком трудомістке, вимагає багато часу і пов'язане з ризиком отримання непоправного браку.

Менш великі заготовки деталі отримують за допомогою лиття в опоках (двох і більше) з використанням ручного, піскометального і машинного формувань. Ручне формування навіть із використанням пневматичних трамбівок та інших засобів механізації відрізняється малою продуктивністю та отриманням відливок відносно невисокої точності. Тому його використовують в основному при отриманні заготовок деталей, що виготовляються одинично або в малих кількостях.

Машинне формування порівняно з ручним має переваги: 1) більш високу точність форм при видаленні з них моделей; 2) можливість зменшення формувальних ухилів; 3) отримання форм із великою міцністю й однорідністю ущільнення внаслідок механізації ущільнення; 4) меншу трудомісткість формування з використанням менш кваліфікованої праці.

Під час застосування машинного формування виливки отримують точнішими за розмірами і геометричними формами, з меншими коливаннями за масою.

Досить широкого використання набуває отримання заготовок корпусних деталей, столів, плит за допомогою кокільного лиття, за якого використовують поєднання металевої форми з піщаним стрижнем. Економічна ефективність цього виду заготовок значною мірою залежить від вартості виготовлення сталих металевих форм.

Заготовки, отримані кокільним литвом, характеризуються точністю й правильністю геометричних форм (меншими припусками на оброблення і меншими їх коливаннями). Результатом є економія металу й скорочення трудомісткості механічного оброблення виливків.

Для виготовлення литих заготовок дрібних корпусних і ряду інших деталей використовують лиття під тиском до 10 МПа і більше. Це дозволяє скоротити трудомісткість механічного оброблення виливків, які отримують литтям під тиском на 80–85 % порівняно зі звичайними литими заготовками.

Для виготовлення заготовок ряду корпусних та інших деталей середніх розмірів використовують штампування, зварювання, різання, згинання. Заготовки деталі заздалегідь ділять на дещо простіші частини. Окремі частини виготовляють із листового, стрічкового, сортового або профільного матеріалу шляхом різання, згинання, штампування, потім з'єднують зварюванням, утворюючи заготовки деталей.

Основними перевагами деталей, виготовлених із таких заготовок, є якнайповніше використання властивостей матеріалів, унаслідок цього досягається зменшення маси деталей і відходів, та незначний цикл виготовлення деталей порівняно з литтям. Недоліком цього способу є потреба в термічному обробленні (відпалюванні) заготовок для зниження залишкового напруження, що виникає під час зварювання, з метою зменшення деформації деталей.

### **Заготовки для валів**

Використання як заготовки круглого прокату економічне лише для виготовлення гладких і ступінчастих валів із невеликою різницею в діаметрах шийок, оскільки інакше одержують значні відходи металу в стружку і витрати на оброблення різанням. Заготовки для багатоступінчастих і колінчастих валів, що виготовляються одинично, отримують за допомогою вільного кування, кувальними молотами і пресами.

Більше наближення заготовок до вимог, що ставляться до готових деталей, досягається шляхом їх штампування у відкритих і закритих штампах. Штампи роблять однорівчакowymi і багаторівчакowymi.

Відносно висока вартість виготовлення штампів, особливо багаторівчакowych, робить економічним використання штампування на штампувальних молотах при великосерійному і масовому виробництвах валів та інших подібних деталей.

Для виготовлення в значних кількостях ряду валів невеликих габаритних розмірів застосовують більш економічний спосіб отримання заготовок на горизонтально-кувальних машинах. Як початковий напівфабрикат для отримання заготовок зазвичай використовують круглі прутки, отримані прокатуванням.

На значну увагу й поширення заслугоує використання поперечно-гвинтового прокатування для отримання заготовок багатоступінчастих валів, півосей автомобілів та інших подібних деталей.

Литі заготовки застосовують для отримання валів прокатних станів, шпинделів і пінолів ряду важких верстатів і т. ін.

Для отримання якісніших виливків порожнистих валів використовують відцентровий спосіб лиття, за якого заготовка набуває необхідної форми шляхом використання відцентрової сили розплавленого металу, що створюється обертанням виливниці навколо її осі. При цьому внутрішня поверхня самої відливки завжди виходить циліндричною або у вигляді параболоїда обертання (при вертикальній осі обертання виливниці).

Під час вибору методу отримання заготовки вала потрібно зважати на те, що заготовка, отримана шляхом пластичного деформування з «опрацюванням» макроструктури, має кращі показники міцності, ніж та, що не має оптимальної текстури і тим паче, якщо порівнювати з виливками. Ще більше значення пластичне деформування має під час підготовки заготовок із легованих сталей і сплавів.

### **Заготовки зубчастих коліс**

При виготовленні зубчастих коліс невеликого діаметра (до 60–80 мм) невеликою різницею діаметрів зубчастого вінця і маточини можна знехтувати і використовувати прутковий матеріал (круг), а зубці отримують механічним обробленням. Потрібно зауважити, що такий метод не повинен використовуватися для відповідальних зубчастих коліс.

Виготовлення зубчастих коліс діаметром більше ніж 80 мм із прутка стає неекономічним через збільшення відходів металу і собівартість виготовлення. Для отримання штучних заготовок діаметром понад 80 мм залежно від розмірів, матеріалу, конструктивних форм і потрібної кількості можуть використовуватися вільне кування, штампування в підкладних,

відкритих і закритих штампах, на кувальних молотах та пресах, штампувальних молотах і кривошипних пресах, на горизонтально-кувальних машинах.

Зі збільшенням кількості зубчастих коліс, що підлягають виготовленню, стає економічним використання штампування у відкритих штампах, здійснюваного на штампувальних молотах і пресах або на продуктивніших кривошипних пресах.

Штамповані заготовки, які отримують на штампувальних молотах, відрізняються меншими припусками на оброблення і коливанням їх величин порівняно з отримуваними вільним куванням і в підкладних штампах.

Зі збільшенням розмірів зубчастих коліс, які виготовляють в одничному екземплярі або в невеликих кількостях, можна використати вільне кування.

У будь-якому разі під час виготовлення заготовки зубчастого колеса для відповідальних конструкцій потрібно застосовувати метод формоутворення зубців шляхом пластичного деформування (накатування), що призводить до значного збільшення механічних показників.

### **Заготовки деталей типу важелів, шатунів, вилок, профільних стрижнів тощо**

При отриманні литих чавунних заготовок для перелічених деталей залежно від їх кількості та розмірів використовують піщане формування, в опоках, ручне і машинне.

Заготовки ряду деталей, особливо складних конструктивних форм і невеликих габаритних розмірів, економічно отримувати за допомогою лиття за виплавлюваними моделями. Заготовки дрібних важелів, заціпок, балочок, лопаток роторів газових турбін і ряду інших деталей відливають цим способом навіть у разі виготовлення невеликих кількостей заготовок.

Сталеві заготовки зазначених типів деталей отримують вільним куванням під час виготовлення одиничних заготовок або декількох їх штук. Зі збільшенням кількості заготовок, що підлягають виготовленню за незмінним кресленням, стає економічним використання підкладених штамів для формоутворення заготовки в цілому або окремих, складніших її частин (наприклад, кінців важеля).

За великих кількостей заготовок, особливо у разі масового виробництва, економічно використовувати штампування у відкритих і тим паче в закритих штампах.

Для отримання заготовок, що максимально наближаються до вимог готових деталей, використовують калібрування і карбування штампованих заготовок. Практично при багатократному карбуванні досягається точність розмірів за висотою заготовки до  $\pm 25$  мкм.

### **Заготовки дрібних і кріпильних деталей**

Дрібні та кріпильні деталі становлять велику номенклатуру найрізноманітніших деталей. Прикладами можуть бути різного роду косинки, трійники, штуцери, нарізні втулки, болти, гайки, гвинти, шпильки, шурупи, шпонки. Дрібні деталі виготовляють із різних металів, сплавів, пластмас та інших матеріалів.

Групування дрібних деталей за службовим призначенням, розмірами, подібністю конструктивних форм і технічними вимогами до цих деталей створює передумови для їх групового виготовлення. У таких випадках стає економічним використання як заготовки профільного матеріалу. За відсутності спеціального профільного прокату матеріали спеціального профілю економічно отримувати за допомогою порівняно простого приладдя. Таке приладдя закріплюються на протяжних або волочильних станах. Нагрітий пруток матеріалу стандартного профілю шляхом протягування між роликками приладдя перетворюється на пруток спеціального профілю.

Одним із найбільш економічних технологічних процесів отримання заготовок кріпильних та інших видів дрібних деталей, що випускаються у великих кількостях, є їх холодна висадка на спеціальних холодновисадних автоматах.

### **Чинники, що визначають вибір методу отримання заготовки з неметалів**

Під час вибору методу виготовлення заготовок із неметалів потрібно визначити такі чинники:



1) природу неметалу. Можливість його оброблення у в'язкотекучому, високоеластичному, рідкому та твердому станах. Серед можливих способів потрібно обирати найпродуктивніші для серійного виробництва і відповідно універсальні – для одиничного;

2) розміри заготовки. Якщо заготовка порівняно великих розмірів (габаритні розміри більші за 200 – 300 мм) застосування високопродуктивних методів (лиття під тиском, пневматичне формування) істотно обмежується технологічними можливостями. Для габаритних деталей, у загальному випадку, потрібно обирати контактне формування, вихрове напилення тощо для склопластиків й автоклавне, вакуумне формування – для термопластів;

3) серійність виробництва. Під час одиничного виробництва потрібно обирати такі методи, які не потребують спеціальних форм або ці форми є недорогими. Під час серійного виробництва і незначних розмірів потрібно обирати прес-лиття, автоматичне вакуумне формування тощо;

Зазвичай тут неможливо скласти загальну методику, щоб задовольняла всім випадкам. Тому під час вибору потрібно враховувати певні переважні чинники та обирати технологію, спираючись на них.

### **Отримання заготовок (деталей) із термопластів**

У разі одиничного виробництва заготовки (деталі) з термопластів отримують шляхом механічного оброблення, роздільного штампування напівфабрикатів – прутків (круга), листів тощо. Можливе застосування для невеликих серій заготовок методів автоклавного формування, відцентрового формування, намотування залежно від форми заготовки, типу термопласту, наповнення термопласту (композиту).

У разі серійного виробництва, якщо це дозволяє термопласт, застосовують насамперед високопродуктивні способи формоутворення у в'язкоеластичному стані шляхом пресування, лиття під тиском, видавлювання. Необхідно розуміти, що такі способи вимагають спеціального обладнання, зокрема дорогих прес-форм для кожного типу виробів, і його застосування обґрунтоване лише у разі великої серійності виробництва.

### **Отримання заготовок (деталей) із порошкових матеріалів**

Із порошкових матеріалів заготовки отримують за наступною схемою: отримання порошків, подрібнення, змішування в певній пропорції, спресування, спікання. Залежно від серійності, розмірів заготовки, складності форми використовують: холодне пресування, гаряче пресування (для невеликих заготовок), гідростатичне пресування (для складних за формою, одиничних заготовок), видавлювання і прокатування (для отримання профілю-напівфабрикату).

### **Отримання заготовок (деталей) із полімерних композиційних матеріалів**

За умов одиничного виробництва раціональним є застосування способів, що не вимагають використання матриць (форм): викладання вручну, намотування тощо. Такі способи дозволяють отримати заготовки, що вимагають подальшого механічного оброблення, зокрема зовнішніх поверхонь.

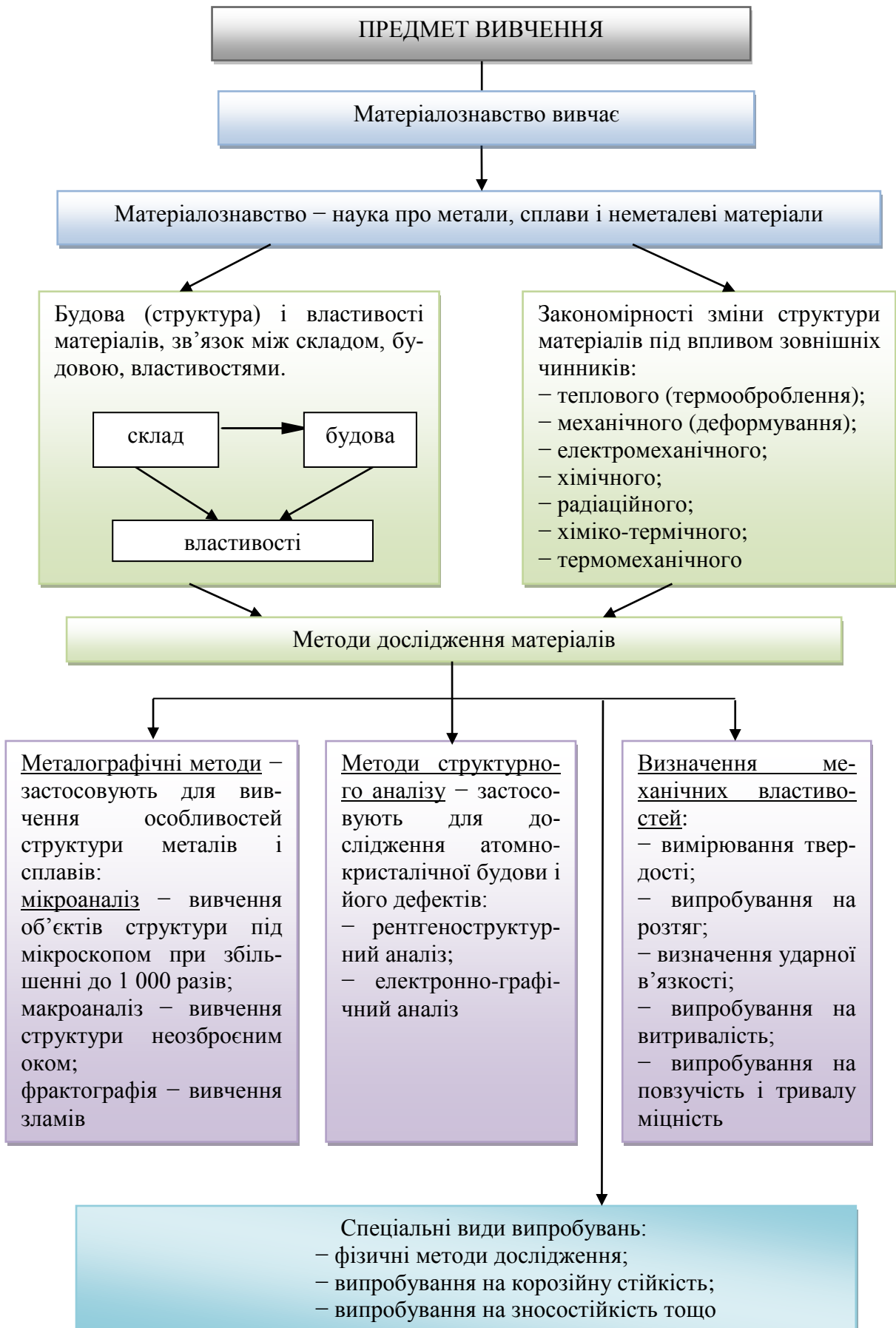
Більшість інших способів застосовні для серійного виробництва і вимагають використання матриць, штампів, форм тощо. Таким способом отримують заготовки, для яких зведене до мінімуму подальше механічне оброблення.

Література [1–4, 9–11].

## **8 Атомно-кристалічна будова металів**

Завдання і значення розділу «Матеріалознавство». Роль матеріалів у сучасній техніці. Формування матеріалознавства як науки. Класифікація металів та їх загальна характеристика. Атомно-кристалічна будова металів. Типи кристалічних ґраток та їх параметри. Реальна будова металевих кристалів. Властивості сплавів. Анізотропія властивостей кристалів. Ме-

тоди вивчення будови металів. Класифікація дефектів кристалічної будови.



**Метали** – це речовини, що мають кристалічну будову, металевий блиск, добру пластичність, високу електро- і теплопровідність. Якщо, наприклад, до рідкого металу спеціально ввести задану кількість хімічних елементів, то отримаємо матеріал з іншими властивостями, що називається сплавом. Властивості металевих сплавів можна додатково змінювати застосовуючи відповідне термічне або хіміко-термічне оброблення.

Умовно метали поділяють на *чорні* (залізо і сплави на його основі – сталі й чавуни) та *кольорові* (усі інші метали, крім чорних).

В основі прийнятої в технічній літературі класифікації металів є деякі їх спільні фізико-хімічні властивості, зокрема температура плавлення, густина, електропровідність, корозійна тривкість, радіоактивність тощо.

Характерні фізичні, хімічні та механічні властивості, що відрізняють метали від інших елементів, визначаються електронною будовою їх атомів.

Тип зв'язку між елементарними частинками в твердому тілі (кристалі) визначається електронною будовою атомів, що взаємодіють. Найважливіші зв'язки: іонний, ковалентний і металевий. Кристалічна будова характеризується закономірним, геометрично правильним розміщенням атомів (іонів) у просторі. **Елементарна комірка** – це такий найменший об'єм, який дає нам уявлення про взаємне розміщення атомів в усьому кристалі і характеризується параметром комірки, кількістю атомів, що припадає на одну елементарну комірку, коефіцієнтом компактності та координаційним числом. Це кубічна об'ємноцентрована (ОЦК), кубічна гранецентрована (ГЦК), гексагональна щільноукладена (ГЩУ) ґратки.

Реальні кристали на відміну від ідеальних мають багато різних дефектів. Дефект є зоною кристалу, де порушено правильне розташування атомів. За геометричною ознакою дефекти кристалічної будови поділяють на: точкові, лінійні, поверхневі, об'ємні (рис. 15).

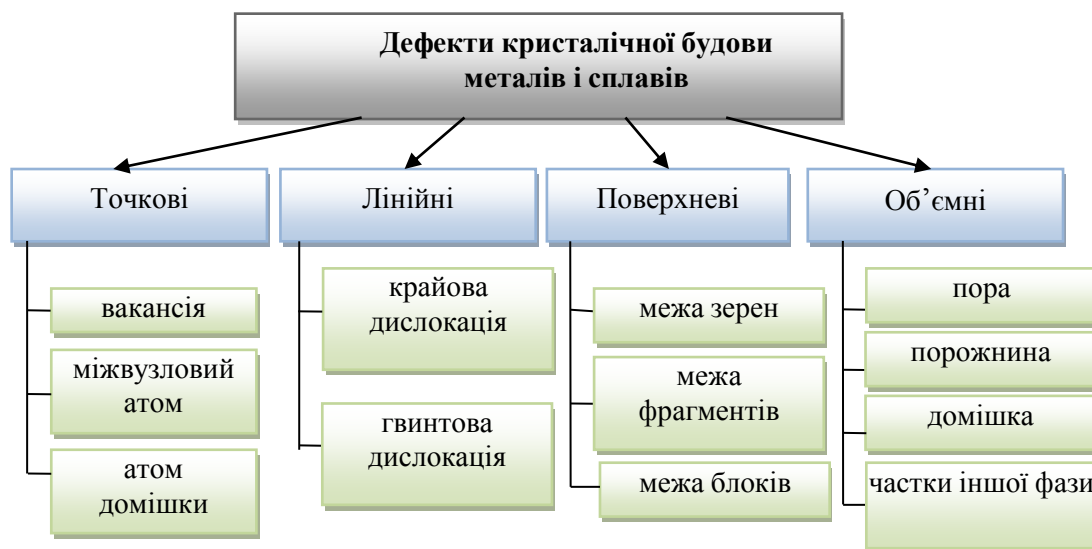


Рисунок 15 – Класифікація дефектів кристалічної будови

Література [12–15].

## 9 Кристалізація металів

Термодинаміка та кінетика процесу кристалізації. Будова металевого зливка. Неоднорідність литого металу. Перетворення у твердому стані. Пластична деформація. Вплив пластичної деформації на структуру та властивості металів. Статичні та динамічні рекристалізаційні процеси. Холодна і гаряча деформація. Повернення, полігонізація та рекристалізація. Властивості металів після рекристалізаційних процесів.

**Кристалізація** – це перехід металу від рідкого до твердого стану з утворенням криста-

лічної структури.

Вивчення закономірностей процесу кристалізації дає можливість одержати необхідні знання та набути досвіду, які використовують для оптимізації структури і властивостей металів та їх сплавів.

Процес кристалізації відбувається лише тоді, коли рідкий метал буде охолоджений до температури  $t_k$ , нижчої від  $t_s$  (рис. 16). Різниця  $\Delta G$  вільної енергії рідкого  $G_p$  і твердого  $G_T$  станів:

$$\Delta G = G_p - G_T.$$

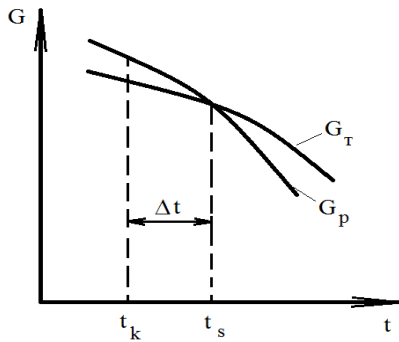


Рисунок 16 – Зміна вільної енергії рідкого  $G_p$  і твердого  $G_T$  станів металу залежно від температури  $t$ :

$t_s$  – теоретична температура,  $t_k$  – фактична температура кристалізації;  $\Delta t$  – ступінь переохолодження

Охолодження рідини до температури, нижчої від рівноважної, має назву *переохолодження*, а різниця між теоретичною та фактичною температурами кристалізації металу – це ступінь переохолодження  $\Delta t$ :

$$\Delta t = t_s - t_k.$$

Для визначення температури кристалізації  $t_k$  за конкретних умов використовують термічний аналіз із побудовою кривої охолодження в координатах температура  $t$  – час  $\tau$ .

Експериментально доведено, що кристалізація відбувається двома стадіями (рис. 17):

- зародження найдрібніших кристаліків – центрів кристалізації (*перша стадія*);
- зростання кристаліків (*друга стадія*).

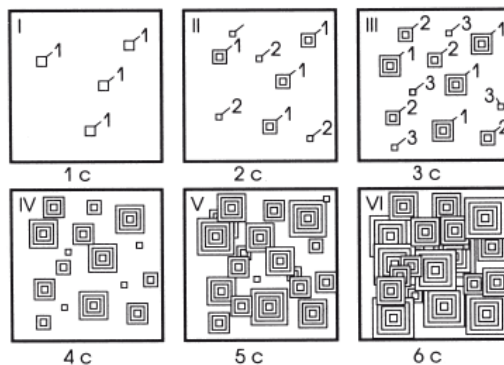


Рисунок 17 – Кінетика процесу кристалізації металу (за Міркінім) впродовж 6 секунд

Розрізняють два механізми зародження кристалів:

– гомогенний (описаний вище) коли центри кристалізації виникають в однорідній рідині;

– гетерогенний, коли центрами кристалізації стають тверді чужорідні частинки, наприклад, оксиди чи нітриди, розсіяні в рідкому металі.

Зовнішні навантаження, що діють на елементи конструкцій і машин, розподілені тією чи іншою мірою за деякою площею або об'ємом. Унаслідок цього розподілені навантаження можуть бути поверхневими та об'ємними.

Залежно від зміни в часі навантаження поділяють на статичні й динамічні. За характером дії навантаження поділяють на розтягувальні, стискальні, згинальні, скручувальні, зрізувальні.

**Деформація** – це зміна розмірів і форми тіла під дією навантажень. Деформація, що ха-

рактизує зміну лінійних розмірів, називається лінійною, а деформація, що характеризує зміну кутів, — кутовою або деформацією зрушення. Види деформації наведено на рисунку 18.

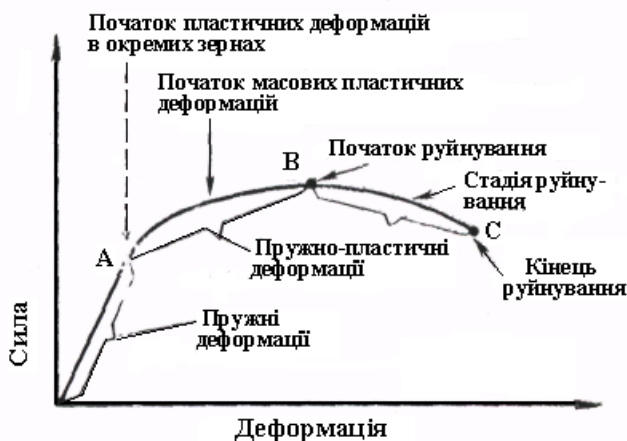


Рисунок 18 – Схема процесу деформації металу

Пружно-пластична деформація, досягнувши достатньо високих напружень, може завершитися руйнуванням тіла. У загальному випадку розрізняють в'язке і крихке руйнування.

Лінійна або кутова деформація, що зникає після розвантаження, називається *пружною*, а що залишається в тілі, — *пластичною* (залишковою). Пластична деформація реалізується переважно двома шляхами: ковзанням, двійникуванням.

**Наклеп** — це зміцнення металу під час холодної пластичної деформації. Наклеп підвищує твердість і міцність, але знижує пластичність.

**Повернення** — це зменшення щільності дефектів кристалічної будови наклепаного металу під час нагрівання без помітних змін структури, видимої в оптичному мікроскопі. Повернення (рис. 19) має дві стадії: відпочинок і полігонізацію.

**Рекристалізація** — процес зародження та росту нових недеформованих зерен під час нагрівання наклепаного металу до заданої температури. Рекристалізація відбувається за вищої температури, ніж відновлення. Є дві стадії рекристалізації: первинна (рекристалізація оброблення) і збиральна.

Найнижча температура, за якої починається рекристалізація, має назву *температурний поріг рекристалізації*  $T_{рек}$ .



Рисунок 19 – Класифікація статичних процесів знеміцнення

Залежно від співвідношення температури деформації й температури рекристалізації розрізняють холодну та гарячу деформації.

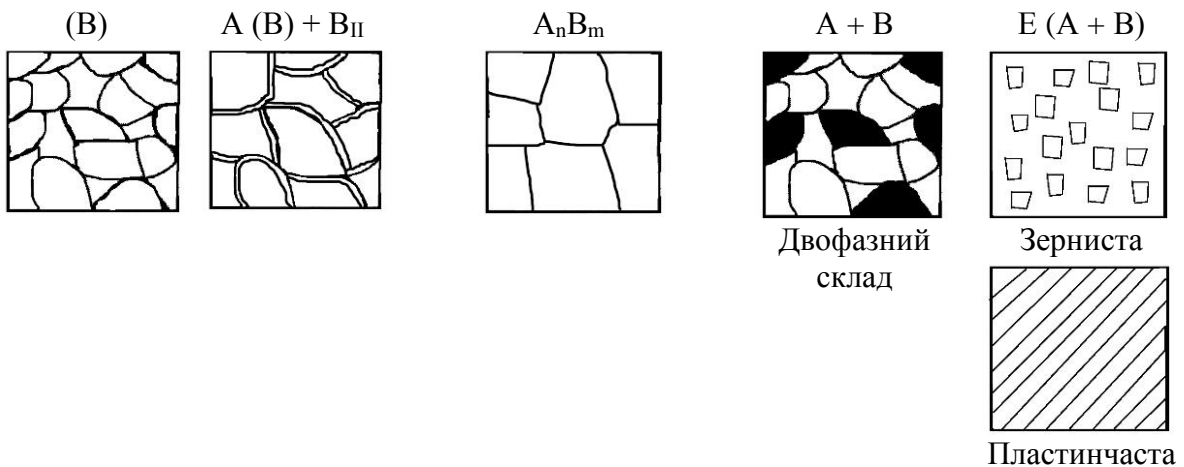
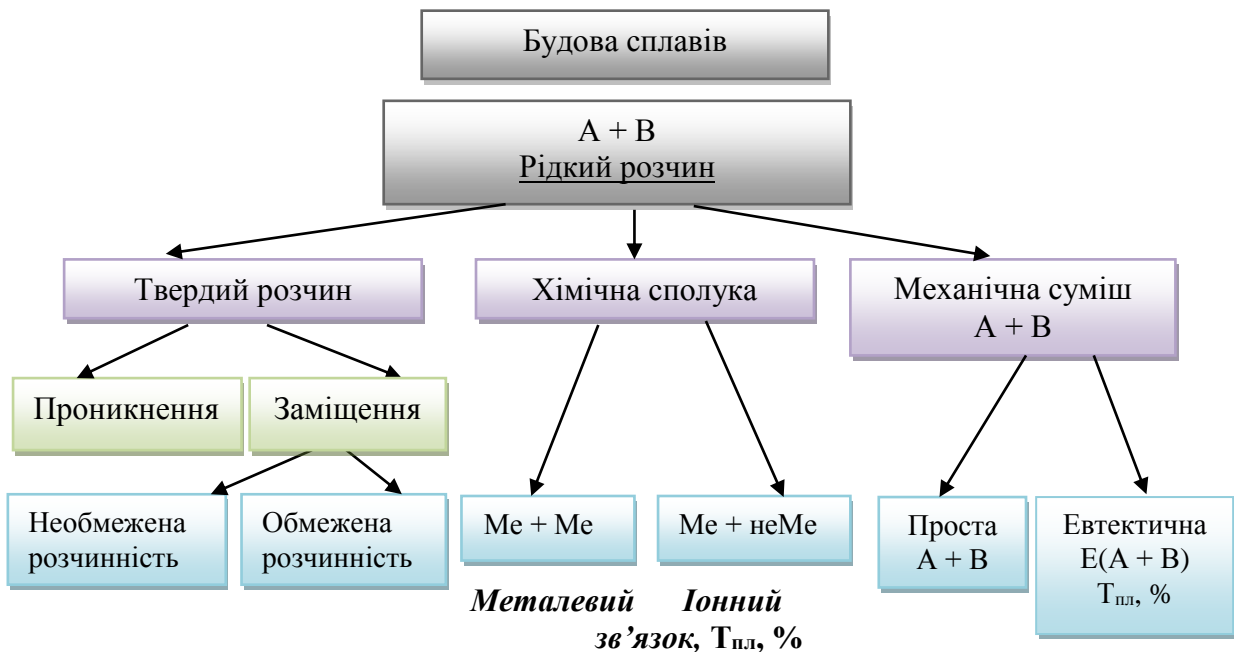
Література [12–15].

## 10 Теорія сплавів та діаграми стану сплавів

Види сплавів. Сплав, система, компонент, фаза. Правило фаз Гіббса. Тверді розчини. Види твердих розчинів та умови їх утворення. Механічні суміші. Особливості кристалізації механічних сумішей. Хімічні сполуки. Діаграми стану подвійних сплавів. Правило відрізків. Типові діаграми стану подвійних систем: а) з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому і твердому станах; б) з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані й наявністю евтектичного перетворення; в) з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані й наявністю перитектичного перетворення; г) зі стійким і нестійким хімічними сполуками; д) з наявністю поліморфних перетворень у компонентів (діаграми з евтектоїдними перетвореннями). Зв'язок між типом діаграми і характером зміни властивостей сплавів (правило Курнакова).

**Сплав** – це складна речовина, отримана сплавленням двох або більше компонентів, переважно металевих. Необхідною умовою для будь-якого методу виготовлення сплавів є взаємна дифузія атомів компонентів. Унаслідок такої взаємодії формуються структури у вигляді:

- твердого розчину заміщення або проникнення;
- хімічної сполуки;
- механічної суміші з різнорідних кристалів тощо.



Тверді розчини є кристалічними фазами змінного складу. Розрізняють тверді розчини:

заміщення, проникнення та віднімання.

Твердий розчин заміщення – це коли атоми розчиненого компонента В заміщують частину атомів компонента–розчинника А в його кристалічній ґратці. Тверді розчини заміщення бувають із необмеженою і з обмеженою розчинністю. Тверді розчини бувають упорядковані та неупорядковані.

Хімічна сполука утворюється з елементів, які істотно відрізняються за будовою і властивостями. Співвідношення кількості атомів елементів, що входять до складу сполуки, точно визначене й виражається простою формулою  $A_nB_m$ .

Механічна суміш складається з різнорідних кристалів і така структура утворюється тоді, коли під час кристалізації сили взаємодії між однорідними атомами більші, ніж сили взаємодії між різнорідними атомами.

**Діаграма стану** – це графічне зображення стану сплавів залежно від їх хімічного складу й температури і будується в координатах, що пов'язують концентрацію з температурою. Діаграми стану містять цінну інформацію про температуру плавлення (кристалізації) і наявність або відсутність структурних перетворень у твердому стані. Діаграми набувають широкого практичного застосування в промисловості (ливарне виробництво, гаряче оброблення металів тиском, зварювальне виробництво, термічне та хіміко-термічне оброблення, обґрунтування вибору того чи іншого сплаву для конкретних умов експлуатації тощо).

Залежність між кількістю ступенів вільності С, компонентів К і фаз Ф, що перебувають у рівновазі, виражає **правило фаз** (Гіббса), яке у загальному вигляді описується рівнянням

$$C = K - \Phi + 2,$$

де 2 – кількість зовнішніх змінних параметрів (температура й тиск).

Оскільки зміни атмосферного тиску практично не впливають на фазову рівновагу металевих сплавів, то одним із двох зовнішніх факторів (тиском) можна знехтувати й тоді попереднє рівняння набирає такого вигляду:

$$C = K - \Phi + 1.$$

**Правило відрізків** дає можливість визначити склад фаз і кількісне співвідношення між ними за різних температур у двофазовій області діаграми стану сплавів. В однофазовій області правило відрізків не застосовують.

Існує декілька основних типів діаграм стану сплавів.

**Діаграми стану сплавів із необмеженими твердими розчинами** утворюють компоненти, що розчиняються необмежено і в рідкому, і в твердому станах.

Лінію початку кристалізації називають лінією ліквідуса, а лінію кінця кристалізації – лінією солідуса.

**Діаграми стану сплавів з обмеженими твердими розчинами та евтектикою** утворюють компоненти, які в рідкому стані розчиняються необмежено, а в твердому стані обмежено і здатні до евтектичного перетворення. Обмежену розчинність можуть мати і тверді розчини заміщення, і тверді розчини проникнення.

Сплав, у якому відбувається одночасно кристалізація двох фаз за сталих температур, називають евтектичним сплавом, а утворена дрібна двофазова структура – це евтектика.

**Діаграма стану сплавів із хімічною сполукою** утворюється з компонентів, що розчиняються необмежено в рідкому стані, обмежено – в твердому стані, а їх атоми помітно відрізняються розмірами, кристалічною будовою і властивостями. Стійка сполука – це така, яка під час нагрівання не розкладається і плавиться за сталої температури.

**Діаграма стану сплавів із перитектичним перетворенням** утворюється компонентами, що розчиняються необмежено в рідкому стані, обмежено – в твердому стані й здатні до перитектичного перетворення. Перитектичне перетворення – це таке, під час якого внаслідок взаємодії рідкого розчину Р із раніше утвореним твердим розчином  $\beta$  за сталої температури утворюється новий твердий розчин  $\alpha$ .

Існує зв'язок між структурою сплаву та його властивостями, що визначається згідно з правилом Курнакова.

Література [12–15].

## 11 Залізовуглецеві сплави

Діаграма стану «залізо – цементит». Компоненти, фази і структура сталей і білих чавунів, їх характеристики, умови утворення і властивості. Вуглецеві сталі. Класифікація і маркування вуглецевих сталей. Вплив легувальних елементів на властивості сталей. Діаграма стану «залізо – графіт». Типи графітних чавунів. Модифікований сірий чавун. Ковкий чавун. Високоміцний чавун. Леговані чавуни.

Серед металевих матеріалів сплави заліза з вуглецем – сталі й чавуни – найпоширеніші. Їх використовують в усіх галузях промисловості, тому діаграма «залізо – вуглець» має важливе теоретичне й прикладне значення.

Діаграму «залізо – вуглець» подано на рисунку 20. У координатах температура – концентрація компонентів нанесені лінії діаграми, на кожній з яких відбуваються певні структурні перетворення. Розглянемо ці перетворення під час охолодження. На лінії *ліквідус* ABCD маємо початок, а на лінії *солідус* – АНJECF – кінець кристалізації.

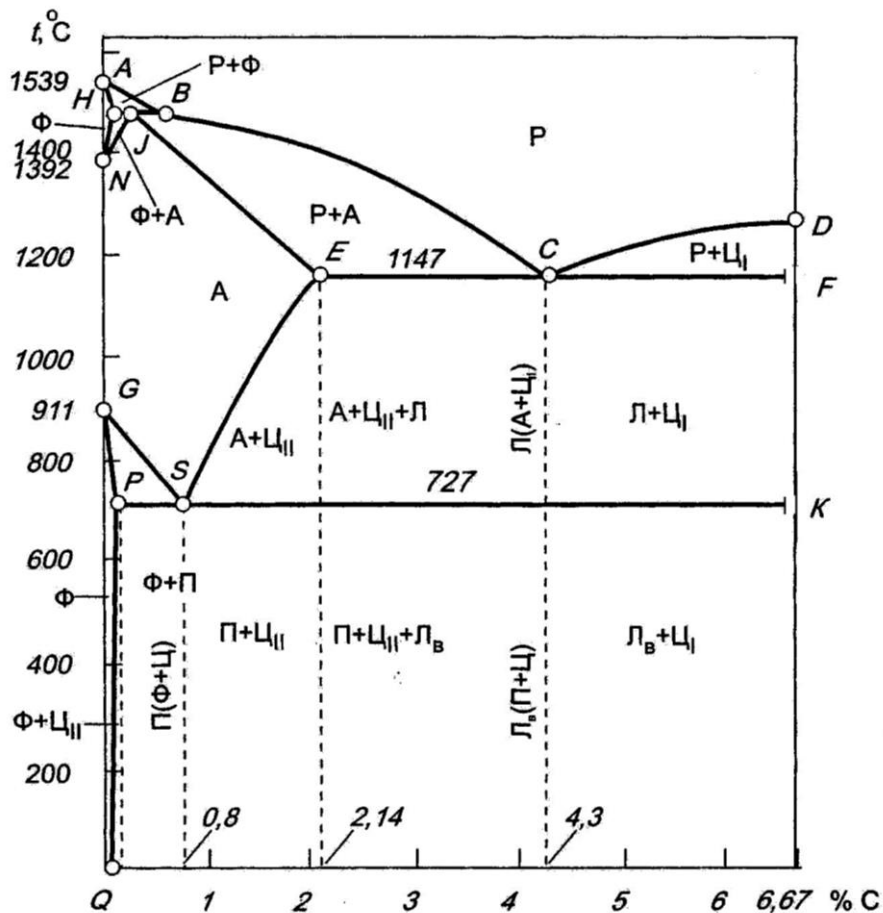


Рисунок 20 – Діаграма стану «залізо – вуглець»

**Компонентами залізовуглецевих сплавів** є два хімічні елементи – Ферум (Залізо) та Карбон (Вуглець).

До **фаз системи «залізо-цементит»** належать: рідкий розчин, ферит, аустеніт і цементит.

**Рідкий розчин P** – однорідна рідина, що складається із заліза та вуглецю. **Ферит Ф** – твердий розчин проникнення вуглецю в  $\alpha$ -залізі ( $\alpha$ -Ф) або в  $\delta$ -залізі ( $\delta$ -Ф). **Аустеніт А** – твердий розчин проникнення вуглецю в  $\gamma$ -залізі з максимальною розчинністю 2,14 % С за  $T = 1147$  °С. **Цементит Ц** (карбід заліза) – хімічна сполука заліза з вуглецем  $Fe_3C$ , що відповідає концентрації вуглецю 6,67 %. Структурні складові діаграми «залізо – цементит» – ледебурит і перліт не однорідні і являють собою механічні суміші (евтектика та евтектоїд).

Діаграма стану «залізо – цементит» охоплює залізовуглецеві сплави, що містять від 0 до



6,67 % C. Система «Fe – Fe<sub>3</sub>C» метастабільна.

Залізовуглецеві сплави за структурою класифікують згідно зі схемою на рисунку 21.

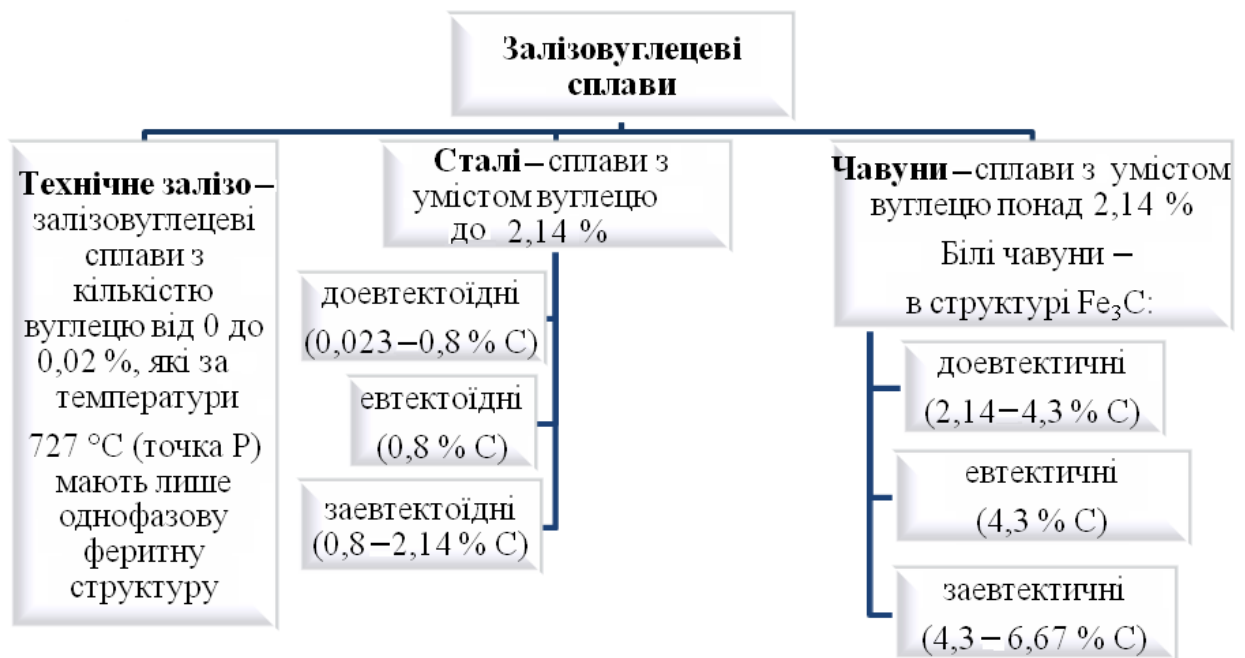


Рисунок 21 – Класифікація залізовуглецевих сталей за структурою

**Вуглецеві сталі** промислового виробництва – це багатоконпонентні сплави, які, крім заліза й вуглецю, мають домішки марганцю, кремнію, фосфору, сірки та деякі інші. Кожен із перелічених компонентів впливає відповідним чином на структуру та властивості сталей.

Серед них найбільший вплив має вуглець. **Вуглець (карбон)** у сталях перебуває у складі фериту й цементиту. Зміна в співвідношенні фаз фериту й цементиту збільшує міцність і твердість сталі й зменшує її пластичність та ударну в’язкість. Із зростанням кількості вуглецю в сталі її зварюваність та оброблюваність різанням погіршуються.

Класифікація домішок наведена на рисунку 22.

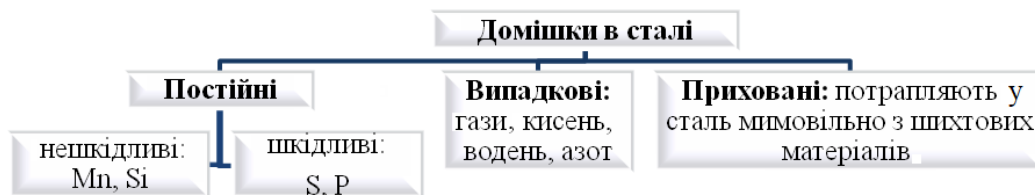


Рисунок 22 – Класифікація домішок в сталі

**Постійні домішки сталей.** Марганець, як відомо, використовують у металургії з метою дезоксидації та десульфурації рідкого металу. Кремній застосовують для дезоксидації.

Фосфор розчиняється у фериті і хоча підвищує міцність, проте зменшує пластичність та ударну в’язкість сталі, що призводить до *холодноламкості* сталі, тобто до крихкого руйнування за низьких температур.

Сірка не розчиняється в залізі, входить до складу хімічної сполуки FeS, яка разом із залізом утворює евтектику і спричинює *червоноламкість*, тобто схильність сталі до крихкого руйнування під час гарячого оброблення тиском.

Сірка і фосфор є шкідливими домішками.

Кисень, азот і водень у сталях можуть перебувати: в складі неметалевих вкраплень – оксидів та нітридів, у твердому розчині  $\alpha$ -заліза, у газоподібному стані в мікропорожнинах. Шкідливий вплив газів можна зменшити, дегазуючи рідкий метал перед розливанням.

Якщо водню багато, то він утворює в мікропорожнинах високий тиск, що призводить до виникнення внутрішніх тріщин, які мають назву **флокени**.

Сталі класифікують за: структурою, способом виробництва, ступенем дезоксидації, якістю та призначенням (див. рис. 2).

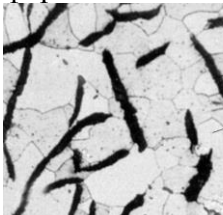
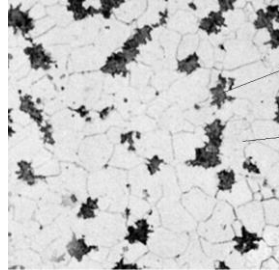
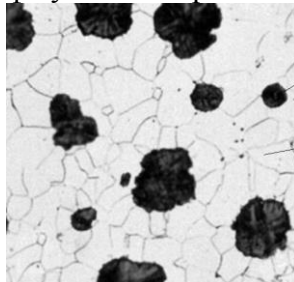
Відповідно до призначення сталі поділяють на *конструкційні* з масовою часткою вуглецю до 0,65 % (використовують для виготовлення деталей машин, металевих конструкцій і будівельних споруд) та *інструментальні* з масовою часткою вуглецю в межах від 0,65 до 1,35 % (використовують для виготовлення різальних, вимірювальних інструментів і штампів).

**Чавуни** – це залізобуглецеві сплави, масова частка вуглецю в яких перебуває у межах 2,14 – 6,67 %. Класифікація чавунів наведена на рисунку 3.

**Білі чавуни** – це такі, в яких увесь вуглець міститься у хімічній сполуці  $Fe_3C$ , і їх злами мають білий колір. Білі чавуни не застосовують для виготовлення деталей машин, оскільки вони мають високу твердість і крихкість.

Характерною структурною особливістю графітних чавунів є вкраплення графіту в металевій основі. На відміну від білих сірі, ковкі й високоміцні чавуни широко використовують у промисловості як конструкційні матеріали.

**Графітизація** – виділення графіту з рідкого й твердого розчинів, а також із цементиту.

<b>Графітні чавуни</b>		
<p><b>Сірі чавуни з пластинчастим графітом</b> – це такі чавуни, в структурі яких більша частка вуглецю перебуває у вигляді графіту пластинчастої форми в площині шліфа.</p>  <p style="text-align: right;">Графіт Металева матриця</p> <p><b>Вони</b> мають добрі ливарні властивості, легко обробляються різанням, здатні гасити вібрації, що виникають у конструкціях, є найдешевшими і найпоширенішими серед ливарних сплавів.</p> <p><b>Умовне позначення марки</b> має літери СЧ – сірий чавун і цифри – значення мінімальної межі міцності матеріалу на розрив <math>\sigma_B</math> у <math>10^{-1} \cdot \text{МПа}</math></p>	<p><b>Ковкі чавуни з пластівчастою формою графіту</b>, отримують унаслідок спеціального довготривалого графітизувального відпалу виливків із білого чавуну. Відпал білого чавуну виконують в одну або дві стадії залежно від структури, яку необхідно сформувати.</p>  <p style="text-align: right;">Графіт Металева матриця</p> <p><b>Умовне позначення марки</b> має літери КЧ та числа, перше з яких відповідає межі міцності розрив <math>\sigma_B</math> у <math>10^{-1} \cdot \text{МПа}</math>, а друге – відносному видовженню – <math>\delta</math>, %. Із ковких чавунів виготовляють виливки, що працюють під ударними або знакозмінними циклічними навантаженнями (корпуси редукторів, корпуси задніх мостів вантажних автомобілів, вилки карданних валів, муфти, арматуру)</p>	<p><b>Високоміцні чавуни з кулястим графітом</b> отримують під час лиття, додаючи до розплаву модифікатори (магній, цезій, кальцій), що сприяють сфероїдизації графіту під час кристалізації.</p>  <p style="text-align: right;">Графіт Металева матриця</p> <p><b>Марки чавунів із кулястим графітом</b> позначають літерами ВЧ – високоміцний чавун й двоцифровим числом, що означає мінімальну межу міцності чавуну на розрив у МПа та через дефіс – мінімальне значення відносного видовження у відсотках. З них виготовляють відповідальні деталі: колінчасті вали, валки вальцювальних станів, шаботи ковальських молотів, корпуси парових турбін, супорти, різцетримачі й планшайби металорізальних верстатів</p>

Постійні домішки чавунів (кремній, марганець, сірка та фосфор), а також швидкість охолодження істотно впливають на процес графітизації.

Серед легувальних (тобто спеціально введених) елементів найпомітніше впливають на графітизацію мідь, нікель і хром. Мідь і нікель інтенсифікують графітизацію, а хром її послаблює. Дрібні тверді частинки, зрівноважені в рідкому розчині, сприяють виділенню графіту, будучи центрами графітизації.

Під час легування чавунів застосовують елементи: хром, нікель, мідь, титан, молібден та ін. Чавун із підвищеним умістом кремнію (понад 4 %) і марганцю (більше за 2 %) належать до легованих чавунів. Залежно від легування розрізняють низьколеговані (з умістом легувальних елементів до 1–3 %), середньо леговані (3–10 %) і високолеговані чавуни (понад 10 %).

Маркування легованих чавунів починається з букви Ч. Наступні букви показують наявність легувальних елементів. Цифри позначають послідовно середній вміст легувальних елементів у відсотках. Буква Ш означає, що графіт у чавуні має кулясту форму.

Всі легувальні елементи змінюють як процес графітизації при евтектичному перетворенні, так і процес формування металевої основи при евтектоїдному перетворенні. Правильно підбираючи вміст основних і легувальних елементів, вид термічної обробки можна отримати феритну, перлітну, сорбітну, троститну, мартенситну і аустенітну структури металевої основи при певних розмірах, формі і розподілі графіту.

За хімічним складом розрізняють кілька груп легованих чавунів: хромисті, крем'янисті, алюмінієві, марганцеві та нікелеві, а за умовами експлуатації – жаростійкі, жароміцні зносостійкі, корозійностійкі і немагнітні.

Література [12–16].

## 12 Теорія термічного оброблення сталей

Основи теорії термічного оброблення сталей. Перетворення сталі під час нагрівання. Ріст зерна аустеніту. Вплив розміру зерна на механічні й технологічні властивості сталі. Вплив легувальних елементів на ріст зерна аустеніту. Перегрів і перепал. Класифікація видів термічного оброблення. Основні перетворення в сталях під час термічного оброблення (нагрівання, охолодження). Чотири основних перетворення у сталі. Аустенітне й перлітне перетворення. Фазові й структурні перетворення в сталях під час нагрівання й охолодження. Мартенситне перетворення в сталях і його особливості. Критична швидкість охолодження і фактори, що впливають на неї. Види відпуску після гартування та їх призначення.

**Термічне оброблення сталі** – це процес її нагрівання до визначеної температури, витримання за цієї температури й подальше охолодження із заданою швидкістю з метою зміни структури та властивостей у бажаному напрямі.

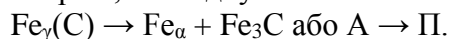
**Основні види термічного оброблення:** відпалювання, гартування, відпускання та старіння. Нормалізація є різновидом відпалювання. Для зменшення залишкових напружень виробу нагрівають. Існують також рекристалізаційне та дифузійне відпалювання (гомогенізація).

Під час термічного оброблення сталі спостерігають *чотири основні перетворення* (рис. 23):

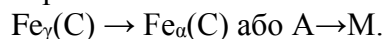
I Перетворення перліту на аустеніт, що проходить вище від точки  $A_1$ :



II Перетворення аустеніту на перліт, яке відбувається нижче від точки  $A_1$ :



III Перетворення аустеніту на мартенсит:



IV Перетворення мартенситу на перліт, точніше на феритокарбідну суміш:



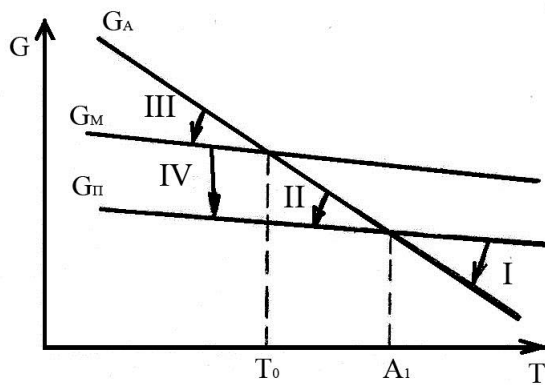


Рисунок 23 – Зміна вільної енергії аустеніту ( $G_A$ ), мартенситу ( $G_M$ ) і перліту ( $G_P$ ) зі зміною температури; позначення I–IV характеризують перше – четверте перетворення відповідно

Критичні температури цих перетворень позначають буквою  $A$  з певними індексами: температуру лінії PSK позначають через  $A_1$ , температури лінії GS – через  $A_3$ , температури лінії SE – через  $A_m$ . До названих позначень додають індекс  $C$  у разі охолодження або індекс  $r$  – під час нагрівання, наприклад:  $A_{C1}$ ,  $A_{Cm1}$ ,  $A_{r3}$ .

Література [15–19].

### 13 Технологія термічного оброблення

Загальна характеристика процесу термічного оброблення сталі. Відпалювання першого і другого родів. Призначення відпалювання. Повне і неповне відпалювання. Ізотермічне і сфероїдируюче відпалювання. Нормалізація сталі. Гартування сталі. Гартівні середовища і вимоги до них. Способи гартування. Загартованість сталі і фактори, що впливають на неї. Прогартованість сталі. Вплив легувальних елементів на прогартованість сталі. Відпускання сталі. Види і призначення відпускання. Технологія проведення відпускання. Поверхнєве зміцнення сталі. Методи поверхневого зміцнення. Поверхнєве гартування, його види й галузі застосування. Термомеханічне оброблення.

Технологія термічного оброблення сталі регламентує зміну температури сталі в часі. Процес термічної оброблення часто описують графічно в координатах температура – час.

До найпоширеніших видів термічного оброблення сталі належать: відпалювання, нормалізація, гартування і відпускання (рис. 24).

**Відпалювання** – термооброблення, під час якого доєвтектоїдну сталь нагрівають до температури  $A_{C3} + 30\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ , евтектоїдну й заєвтектоїдну сталі – до температури  $A_{C1} + 30\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ , витримують за цієї температури і повільно охолоджують (переважно разом із піччю).

Розрізняють повне і неповне відпалювання. **Повне відпалювання** – це відпалювання з повною перекристалізацією вихідних низькотемпературних фаз, а **неповне** – відпалювання з повною перекристалізацією одної фази й частковою перекристалізацією іншої. Відпалювання на зернистий перліт називають сфероїдизацією.

**Нормалізація** – це нагрівання доєвтектоїдної сталі вище від температури  $A_{C3}$ , евтектоїдної – вище від температури  $A_{C1}$  і заєвтектоїдної – вище від температури  $A_{Cm}$  на  $30\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ , витримування за цієї температури та охолодження на спокійному повітрі.

**Гартування** – це вид термооброблення, під час якого доєвтектоїдну сталь нагрівають вище від температури  $A_{C3}$ , евтектоїдну й заєвтектоїдну сталі – вище від температури  $A_{C1}$  на  $30\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ , витримують за цієї температури і охолоджують зі швидкістю, не меншою за критичну. Критична швидкість  $V_{кр}$  – така мінімальна швидкість охолодження, за якої аустеніт перетворюється лише на мартенсит.

Розрізняють різні способи гартування: гартування в одному охолоджувачі, гартування у двох охолоджувачах, гартування з підстужуванням, ступінчасте гартування та ізотермічне гартування.



Рисунок 24 – Класифікація видів термічного оброблення

**Оброблення холодом** – це додаткове охолодження, яке застосовують для перетворення залишкового аустеніту на мартенсит у низьковуглецевих і легованих сталях, для яких температура  $M_k$  нижча за  $0\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Загартованість** – це здатність сталі підвищувати твердість унаслідок гартування.

**Прогартованість** – це глибина проникнення загартованої зони від поверхні в глибину виробу.

**Поверхнєве гартування** відбувається внаслідок швидкого нагрівання лише поверхневої зони сталеві заготовки до температур аустенітної області з подальшим охолодженням зі швидкістю, не меншою за критичну. Поверхню заготовок нагрівають до температур фазових перетворень струмами високої частоти (СВЧ), полум'ям пальників, лазерним променем, у розплавлених легкоплавких металах або солях та іншими методами.

**Відпускання** – це нагрівання загартованої сталі до температури, меншої від  $A_{c1}$ , витримання за цієї температури й подальше охолодження. Залежно від температури нагрівання розрізняють низькотемпературне, середньотемпературне і високотемпературне відпускання.

**Відпускнуою крихкістю** називають окрихчення багатьох конструкційних сталей в певних діапазонах температури відпуску.

Розрізняють два види відпускнуої крихкості – необернену (I роду) та обернену (II роду).

Технологія термооброблення повинна забезпечити високу стабільність заданих властивостей сталі, максимальну продуктивність праці та низьку собівартість продукції.

Література [15–19].

#### 14 Хіміко-термічне оброблення сплавів

Хіміко-термічне оброблення сплавів. Фізичні основи хіміко-термічного оброблення сталі. Цементация та азотування сплавів. Нітроцементация. Дифузійна металізація. Властивості дифузійних шарів. Галузі застосування. Охорона праці і техніка безпеки під час хіміко-термічного оброблення.

**Хіміко-термічне оброблення (ХТО)** – це процес зміни хімічного складу, мікроструктури та властивостей поверхневого шару заготовки.

Для зміни хімічного складу заготовку нагрівають у середовищі, збагаченому *дифузантами*, витримують упродовж певного часу за заданої температури, а потім охолоджують. ХТО складається з трьох елементарних процесів – дисоціації, адсорбції та дифузії.

До найпоширеніших способів ХТО належать цементація, азотування, ціанування, нітроцементація, алітування, силіціювання та інші.

**Цементація** – це процес дифузійного насичення вуглецем поверхневого шару сталевих заготовок. Мета цементації в комплексі з подальшим термообробленням – надати поверхні деталі високої твердості та зносостійкості, зберігши в'язке осердя. Застосовують два види цементації – у твердому й газовому насичувачі (карбюризаторі). Після цементації здійснюють термічне оброблення заготовок – гартування й низькотемпературне відпускання з метою одержання заданих механічних властивостей.

**Азотування** – це дифузійне насичення азотом поверхневого шару сталевих деталей. Мета азотування – істотно підвищити твердість, зносостійкість, границю витривалості й корозійну стійкість. Лише легувальні елементи – хром, молібден, ванадій, титан – утворюють дисперсні, тверді й термічно тривкі нітриди, що надають дуже високої поверхневої твердості спеціальним комплексно легованим сталям, які називаються *нітралої*.

Існує два різновиди азотування – для підвищення поверхневої твердості й зносостійкості та для підвищення корозійної тривкості.

Переваги азотування порівняно з цементацією: вища твердість і зносостійкість поверхневого шару; перелічені властивості зберігаються до температур 450–500 °С порівняно з 200–225 °С у разі цементації. Недоліки азотування порівняно з цементацією: значна тривалість процесу; висока вартість застосовуваних для азотування легованих сталей – нітралоїв.

**Ціанування** – це одночасне дифузійне насичення вуглецем та азотом поверхневого шару сталевих деталей (заготовок) у розплавленій ціанистій солі, а **нітроцементація** – насичення їх у газовому середовищі. Мета ціанування й нітроцементації – підвищення твердості, зносостійкості та втомної міцності деталей.

Розрізняють ціанування низькотемпературне (540–560 °С), що за результатами наближається до азотування, і високотемпературне (820–950 °С), що наближається до цементації.

Недоліком ціанування є висока вартість ціанистих солей та їх отруйність, що потребує спеціальних заходів для охорони праці й довкілля. Перелічених недоліків позбавлена нітроцементація.

Нітроцементація здійснюється в суміші газу, яким навуглецьовують, й аміаку за температури 850–870 °С впродовж 2–10 годин. Її широко використовують в автомобільній промисловості для поверхневого зміцнення зубчастих коліс і валів, виготовлених із хромистих і хромомарганцевих сталей.

**Дифузійна металізація** – дифузійне насичення поверхневих шарів переважно сталевих виробів різними металами за високої температури. Дифузійна металізація зумовлює підвищення корозійної тривкості, жаро- й зносостійкості.

Дифузійну металізацію виконують у твердому, рідкому й газоподібному дифузантах.

Дифузійне насичення виробів алюмінієм для підвищення жаростійкості називають *алітуванням*. **Хромування** – дифузійне насичення хромом поверхонь переважно сталевих виробів для підвищення до 800 °С жаростійкості, корозійної тривкості у воді, морській воді й азотній кислоті та поверхневої твердості.

Література [15–19].

## 15 Леговані сталі

Основи раціонального легування і роль окремих легувальних елементів. Маркування і класифікація легованих сталей за призначенням. Конструкційні сталі загального призначен-

ня. Сталі для цементації, покращувальні, пружинні, будівельні сталі, інструментальні (для різального, вимірювального, штампового інструменту), жаростійкі та жароміцні, корозієстійкі, зносостійкі сталі, сталі та сплави особливого призначення. Економічне обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення деталей машин.

**Леговані сталі** – це сплави на основі заліза та вуглецю, до складу яких входять легувальні елементи.

**Легувальні елементи** – метали або неметали, що спеціально вводяться в сплави системи «залізо – вуглець» з метою зміни структури і властивостей сплаву. Сталі системи «Fe – C – ЛЕ» (легувальний елемент) називаються легованими.

Легувальні елементи дорожчі від заліза, тому вартість легованих сталей вища, нерідко значно вища за вартість вуглецевих сталей.

Легувальні елементи можуть перебувати в твердих розчинах фериту або аустеніту, у вигляді карбідів або у вигляді інших фаз. Класифікація легувальних елементів наведена на рисунку 25.

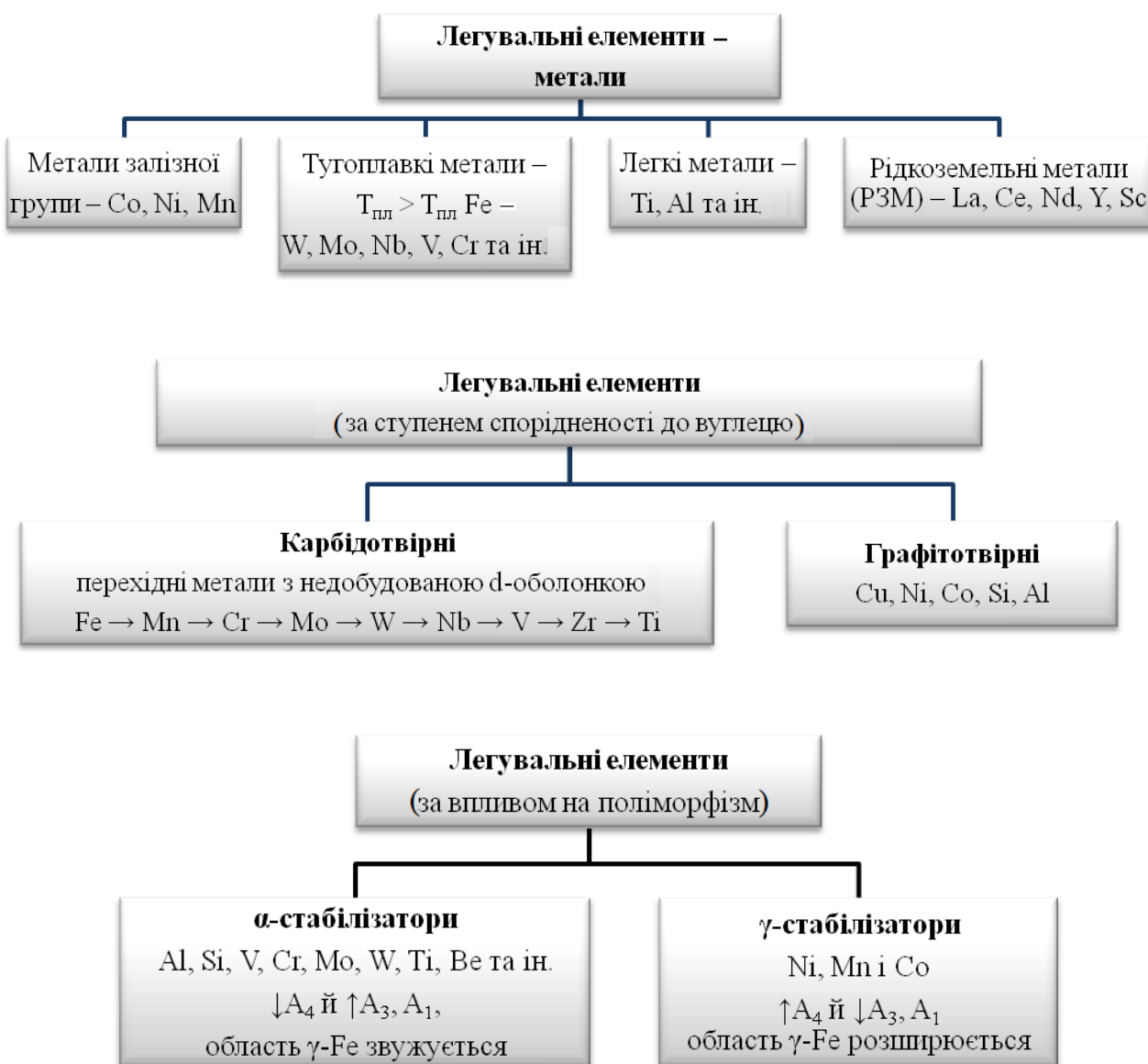


Рисунок 25 – Класифікація легувальних елементів

**Леговані сталі** класифікують за структурою в рівноважному стані, за сумарною част-



кою легувальних елементів, за призначенням, а також за іншими ознаками.

Класифікацію сталей і сплавів здійснюють (див. рис. 2):

- ✓ за хімічним складом;
- ✓ за структурою;
- ✓ за якістю (за способом виробництва і вмістом шкідливих домішок);
- ✓ за ступенем розкиснення і характером затвердіння металу у виливниці;
- ✓ за призначенням,

а також за іншими ознаками (рис. 26).

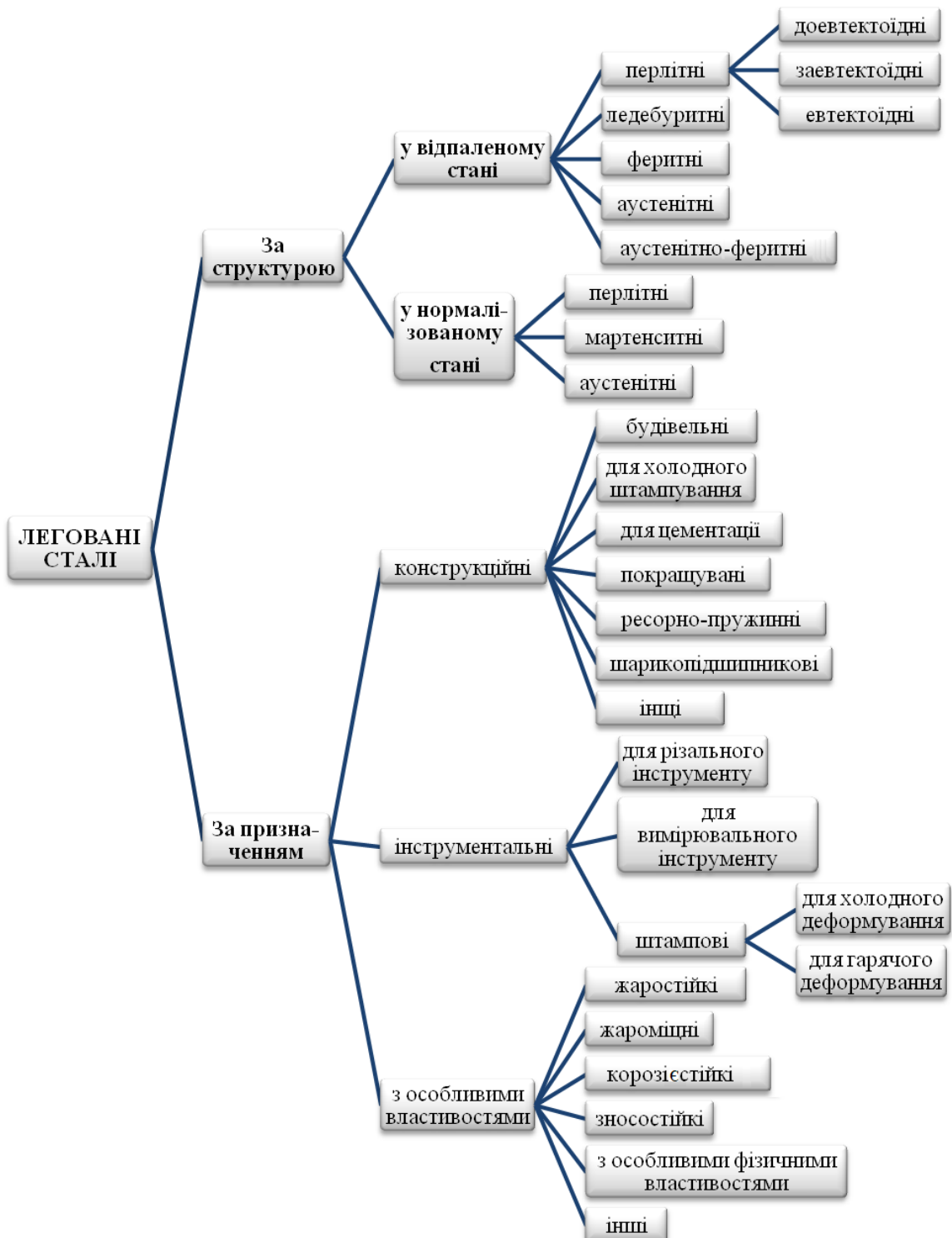


Рисунок 26 – Класифікація легуваних сталей

*Конструкційні легувані сталі* широко використовують у машинобудуванні, а також



для будівельних конструкцій та споруд різного призначення.

Будівельні сталі містять відносно малу кількість вуглецю – 0,1–0,25 %. Основна вимога до будівельних сталей – хороша зварюваність. Схильність сталі до утворення гарячих і холодних тріщин залежить від умісту вуглецю.

*Будівельні сталі* – це вуглецеві сталі звичайної якості (Ст 2, Ст 3 та ін.), низьколеговані для будівельних конструкцій (14Г2, 17ГС, 14ХГС, 15ХСНД), для виготовлення зварних конструкцій застосовують сталі з високою міцністю (10ХСНД, 15ХСНД, 10Г2С1Д, 16Г2АФ), у вагонобудуванні та сільськогосподарському машинобудуванні використовують високоміцні сталі (12Г2СМФ, 14ГСМФР та ін.).

*Цементовані сталі* застосовують для виготовлення деталей, що працюють під дією динамічних навантажень в умовах поверхневого зношування. Містять не більше ніж 0,2 % С, піддають цементації, гартуванню і низькому відпуску. Це сталі 10, 20, 15Х, 20Х, 15ХФ, 20ХН, 18ХГТ, 12ХН3А, 12Х2Н4А та ін.

*Поліпшуваними конструкційними сталями* називають середньовуглецеві сталі (0,3–0,5 % С), що містять не більше ніж 5 % легувальних елементів, використовуваних після термічного оброблення – «поліпшення», що складається з гартування і високого відпускання. Після термооброблення поліпшувані сталі мають структуру сорбіту, добре сприймають ударні навантаження.

Це сталі 40, 40Х, 30ХМ, 40ХГ, 30ХГС, 40ХН, 40ХНМ, 38ХН3МФ та ін.

*Ресорно-пружинні сталі* містять 0,5–0,7 % вуглецю і леговані марганцем та кремнієм, застосовують для виготовлення пружин і ресор. Такі сталі мають високу границю пружності (текучості). Згідно з ГОСТ 14959-2016 подані найбільш поширені пружинні сталі: 65, 70, 75, 65Г, 50С2, 55С2, 60С2, 70С3А, 55СГ, 60СГ, 50ХФА, 50ХГФА, 60С2ХА. Термічне оброблення складається з гартування на мартенсит із подальшим середньотемпературним відпусканням на структуру тростит із твердістю порядку 35–45 НРС.

*Підшипникові сталі* повинні бути дуже твердими й зносостійкими. У позначенні марок цих сталей літери й цифри означають: Ш на початку марки – підшипникова; Х – легована хромом; 4, 15, 20 – масова частка хрому (0,4; 1,5; 2,0 %); СГ – легована кремнієм і марганцем. Термічне оброблення їх полягає в гартуванні від 840–850 °С в маслі й подальшому низькотемпературному відпусканні при 150–160 °С.

*Інструментальні сталі* – це нелеговані й леговані, швидкорізальні сталі, сталі для вимірвальних інструментів та штампів.

*Інструментальні леговані сталі* 9ХС, ХВГ, 9Х5ВФ, 3Х4В3М3Ф2, ХВСГ та інші містять обмежену кількість хрому, вольфраму, ванадію, кремнію і марганцю. Масова частка вуглецю в цих сталях висока – 0,9–1,3 %. Звичайне термічне оброблення легованих сталей для різального інструменту полягає в гартуванні від 810–870 °С й низькотемпературному відпусканні.

*Швидкорізальні сталі* – високолеговані інструментальні сталі, до складу яких входить 0,75–1,10 % вуглецю, 3,0–4,4 % хрому, 2,0–18,0 % вольфраму, 1,0–3,0 % ванадію, а також до 8 % кобальту і до 9 % молібдену. Температура гартування швидкорізальних сталей повинна бути такою, щоб забезпечити максимальний перехід карбідів в аустеніт і водночас не допустити надмірного росту зерна аустеніту.

Серед швидкорізальних сталей розрізняють: вольфрамові марок Р18 і Р9, вольфрамокобальтові (Р9К5), вольфрамованадієві (Р12Ф3), вольфрамомолібденові з кобальтом (Р6М5К5), вольфрамокобальтові з ванадієм (Р18К5Ф2). Швидкорізальні сталі широко використовують для виготовлення всіх видів металорізальних інструментів.

*Сталі для вимірвальних інструментів* повинні характеризуватися високою зносостійкістю, сталою формою та розмірами впродовж тривалого часу експлуатації та доброю оброблюваністю. Вимірвальний інструмент найчастіше виготовляють із вуглецевих інструментальних сталей марок У8–У12, легованих інструментальних сталей марок Х, 9ХВГ, 12Х1, цементованих конструкційних вуглецевих сталей марок 15, 20. Щоб не допустити змін об'єму й лінійних розмірів інструменту, загартовану сталь піддають низькотемпературному відпус-

канню-старінню за температури 120–170 °С впродовж 10–30 год.

Залежно від температури експлуатації розрізняють сталі для штамів, що працюють в умовах холодного й гарячого (до 900–1 200 °С) деформування.

*Сталі для штамів холодного деформування* мають високу зносостійкість (високу поверхневу твердість), достатню міцність у поєднанні із задовільною в'язкістю, оскільки вони працюють в умовах ударних навантажень. Це сталі вуглецеві У10-У12, низьколеговані Х, ХВГ, ХВСГ, хромисті Х6ВФ, Х12, Х12МФ, Х12Ф1, Х6ВФ, Х12, Х12МФ, Х12Ф1 тощо.

*Штамп гарячого деформування* контактують із заготовками, нагрітими до високих температур, і тому сталі для виготовлення штамів гарячого деформування повинні мати добру теплостійкість, високу стійкість до спрацювання і певну в'язкість. Це сталі 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНТ, 5ХГМ, а також 7Х3, 4ХМФС, 3Х2В8Ф та ін.

**Корозія** – це руйнування металу під дією довкілля. Ознаками корозії є втрата металевого блиску й поява іржі на поверхні металу. Корозія призводить до істотного погіршення механічних властивостей металу та його деградації. Залежно від механізму корозійного руйнування розрізняють хімічну й електрохімічну корозію. Стійкість сталі до корозії можна підвищити, легуючи хромом, алюмінієм або кремнієм, які утворюють на поверхні щільні оксидні плівки.

*Корозієстійкі* – це всі хромові сталі, масова частка хрому в яких понад 13 %. Корозійна стійкість нержавіючих сталей збільшується разом зі збільшенням у них масової частки хрому, середня величина якої становить 13, 17 і 27 %.

*Хромові нержавіючі сталі* 08Х13, 20Х13, 40Х13, 12Х17 і ін. гартують від температури 1 000–1 100 °С й відпускають за температури 700–750 °С, щоб отримати сорбітну структуру або за температури 200–250 °С – структуру відпущеного мартенситу.

*Хромонікелеві нержавіючі сталі* Х18Н9, Х18Н10Т, 08Х18Н10, 20Х23Н18, 12Х18Н12Т та ін. мають вищу корозійну тривкість і кращі технологічні властивості (зварюваність, оброблюваність тиском) порівняно з хромовими нержавіючими сталями. У виробничій сфері найчастіше використовують сталі, що мають у своєму складі 18 % хрому, 9–13 % нікелю й обмежену масову частку (0,03–0,12 %) вуглецю. Щоб перевести карбідну фазу в твердий розчин, необхідно нагріти хромонікелеву сталь до температури 1 100–1 150 °С та охолодити її у воді. У разі необхідності міцність хромонікелевої аустенітної сталі можна підвищити шляхом холодної пластичної деформації (наклепу).

Література [9–11, 15–20].

## **16 Кольорові метали, застосовувані в машинобудуванні**

Титан і його сплави. Конструкційні сплави титана, їх властивості, термічне оброблення й галузі застосування. Алюміній та його сплави. Алюмінієві ливарні сплави та сплави, що деформуються. Їх властивості, термічне оброблення та галузі застосування. Мідь та її сплави. Латуні, їх властивості, маркування і застосування. Бронзи. Склад та властивості бронз, їх марки й галузі застосування.

Алюміній за обсягами світового виробництва займає друге місце після сталі, а за темпами зростання далеко випередив сталь.

**Алюміній** – метал срібно-білого кольору, має гранецентровану кубічну гратку з параметром  $a = 0,4041$  нм; характеризується малою густиною ( $\gamma = 2\,700$  кг/м<sup>3</sup>), низькою температурою плавлення ( $t_{\text{п}} = 660$  °С), високими пластичністю, тепло- та електропровідністю, доброю зварюваністю та оброблюваністю різанням. Водночас алюміній характеризується низькою міцністю і твердістю.

На повітрі він покривається тонкою щільною оксидною плівкою  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , що надійно захищає його від корозії.

Алюміній особливої чистоти марок А999 містить 0,001 % домішок, високої чистоти марок А995, А99, А97 і А95 – від 0,005 до 0,05 % домішок, технічної чистоти марок А85, А8, Л7, А7Е, А6, А5, А5Е і А0 – від 0,15 до 1,0 % домішок. Алюміній особливої чистоти застосо-

вують для дослідних робіт, у напівпровідниковій і ядерній техніці. У промисловості використовують переважно алюміній високої й технічної чистоти.

**Сплави алюмінію**, крім основного металу й домішок, мають спеціально введені легувальні елементи, що змінюють структуру та властивості в бажаному напрямку. Легують алюміній міддю, магнієм, кремнієм, марганцем, цинком, літієм, нікелем і титаном. Сплави алюмінію характеризуються високими механічними й технологічними властивостями, більшість із цих сплавів мають високу тепло- та електропровідність, добру корозійну тривкість. Сплави алюмінію широко використовують у літако-, судно- й ракетобудуванні, транспорті, будівництві та побуті.

Залежно від технології виготовлення виробів сплави алюмінію поділяють на деформівні й ливарні.

**Деформівні сплави алюмінію**, що не зміцнюються термообробленням, виготовляють на основі алюмінію та марганцю або на основі алюмінію й магнію і застосовують для виготовлення мало- і середньонавантажених виробів (резервуари для пального, трубопроводи, корпуси суден, ліфти, рами вагонів тощо). Сплави алюмінію з марганцем позначають літерами АМц, а сплави алюмінію з магнієм – літерами АМг. Зміцнювальне оброблення сплавів АМц і АМг малоефективне. Значно більший ефект дає деформування в холодному стані. Залежно від рівня зміцнення розрізняють напівнагартвані (П) й нагартвані (Н) сплави.

**Сплави алюмінію, що зміцнюються термообробленням**, це дюралюміни, авіалі, а також високоміцні, кувальні й жароміцні сплави.

**Ливарні сплави алюмінію** повинні добре заповнювати форму в найвужчих місцях, мати незначну схильність до утворення пористості й гарячих тріщин. Стандарт поділяє ливарні сплави алюмінію на п'ять груп:

–сплави першої групи – силуміни, їх використовують для виготовлення мало- й середньонавантажених литих деталей часто складної конфігурації;

–сплави другої групи – мідні силуміни, з яких виготовляють корпуси компресорів, головки та блоки циліндрів автомобільних двигунів;

–сплави третьої групи, основними компонентами яких є Al і Cu, мають серед ливарних сплавів найвищу міцність й пластичність та легко обробляються різанням, добре зварюються, але виявляють малу корозійну тривкість й мають низькі ливарні властивості;

–сплави четвертої групи – магнеліти належать до системи Al–Mg і використовуються для виготовлення деталей суден та літаків, які не бояться вологи;

–у сплавах п'ятої групи другим за масовою часткою компонентом після алюмінію може бути кремній (К) або цинк (Ц). Марки сплавів: АК9Ц6, АК7Ц9, АЦ4Мг.

У виробничій практиці та наукових лабораторіях широко використовують такі види термічного оброблення сплавів алюмінію як відпалювання, гартування і старіння.

Відпалюють вироби, в яких під час попереднього оброблення сформувалася нерівноважна структура, що знижує пластичність матеріалу. Під час відпалювання нерівноважна структура переходить у рівноважну. Розрізняють гомогенізаційне, рекристалізаційне і знеміцнювальне відпалювання сплавів алюмінію.

**Мідь** – метал рожево-червонуватого кольору, має елементарну кристалічну комірку у вигляді гранецентрованого куба з параметром  $a = 0,3608$  нм. Густина міді  $\gamma = 8\,940$  кг/м<sup>3</sup>, температура плавлення  $t_n = 1\,083$  °С.

До найпоширеніших сплавів міді належать латуні та бронзи. Легують мідь цинком, оловом, алюмінієм, кремнієм, марганцем, нікелем, берилієм та ін. Легувальні елементи в сплавах міді позначають літерами: А – алюміній, Б – берилій, Ж – залізо, К – кремній, Мц – марганець, Н – нікель, О –олово, С –свинець, Ф – фосфор, Ц – цинк.

За технологічною ознакою розрізняють деформівні та ливарні сплави міді.

**Латуні** – це дво- або багатокомпонентні сплави міді, в яких основним легувальним компонентом є цинк. Двокомпонентні латуні системи «Cu – Zn» вважають простими латунями, а багатокомпонентні, що, крім цинку, містять інші елементи, — як спеціальними латунями.

Марки латуней позначають літерою Л (латунь), після якої для простих латуней записують числа, що відповідають масовій частці міді, – Л96, Л90, Л85, Л80.

**Бронзи** – це дво- або багатокомпонентні сплави міді з оловом, алюмінієм, свинцем, берилієм, кремнієм, хромом чи іншими компонентами, серед яких цинк не є основним. Залежно від назви основного легувального компонента бронзи поділяють на олов'яні, алюмінієві, кремнієві, свинцеві, берилієві та ін.

**Титан** – метал сріблясто-білого кольору з густиною  $\rho = 4\,505 \text{ кг/м}^3$  і температурою плавлення  $t_n = 1\,668 \text{ }^\circ\text{C}$ . Розрізняють дві поліморфні модифікації титану – низькотемпературну ( $\alpha$ ) і високотемпературну ( $\beta$ ). Титан легко обробляється тиском, добре з'єднується дуговим і контактним електричним зварюванням, проте погано обробляється різанням. На повітрі титан покривається щільною оксидною плівкою  $\text{TiO}_2$ , що робить хімічно активний титан тривким до корозії в атмосфері, прісній і морській воді, в органічних та неорганічних кислотах.

**Сплави титану**, крім основного металу й домішок, можуть містити легувальні елементи: алюміній, молібден, ванадій, хром, марганець, залізо, тантал, ніобій, цирконій, олово, мідь, вольфрам, кремній, нікель, свинець, берилій, кобальт, гафній, торій та ін.

Легувальні елементи залежно від впливу на поліморфні перетворення титану поділяють на три групи:  $\alpha$ -стабілізатори,  $\beta$ -стабілізатори, нейтральні.

Щоб зміцнити сплави титану, використовують легування, холодну деформацію (наклеп) і термічне оброблення.

Внаслідок легування сплавів титану в них формуються структури у вигляді твердих розчинів заміщення або інтерметалів типу  $\text{Ti}_x\text{Me}_y$ , що змінюють властивості сплавів у бажаному напрямі. Завдяки відпалюванню, гартуванню й старінню можна додатково змінювати властивості, з огляду на що у виробничій практиці більшість сплавів титану використовують у термообробленому вигляді.

Залежно від способів виготовлення заготовок сплави титану поділяють на деформівні й ливарні.

Завдяки своїй високій питомій міцності, теплостійкості, стійкості до корозії й добрій зварюваності промислові сплави титану широко використовують в авіації, ракетно-космічній техніці, транспортному машинобудуванні, хімічній і харчовій промисловості, медицині. З цих сплавів виготовляють обшивку фюзеляжів надшвидкісних літаків, панелі ракет, деталі двигунів для літаків і ракет, обшивки морських суден і підводних човнів, деталі машин та апаратів для хімічної промисловості.

Література [7, 15–20].

### 3 СПИСОК ПИТАНЬ, ЩО ВІНОСЯТЬСЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

1 Металургія алюмінію, міді, магнію і титану.

2 Спеціальні способи формування. Особливості проектування заготовок, отриманих способом лиття.

3 Розділові й формозмінні операції листового штампування. Сутність і схеми листового штампування еластичним середовищем, вибухом, електрогідравлічним та електромагнітним методами, давильних робіт. Особливості проектування заготовок, отриманих способом оброблення тиском.

4 Технологічні особливості проектування і додаткового механічного оброблення деталей із полімерних матеріалів. Технологічні особливості проектування та додаткового механічного оброблення деталей із композиційних матеріалів. Органічне скло, гумові матеріали, неорганічне скло, склокристалічні матеріали. Деревина.

5 Газове зварювання. Сутність процесу. Застосовуване устаткування і матеріали.

6 Зварювання акумульованою енергією. Сутність і схема процесу конденсаторного зварювання.

7 Нанесення зносостійких і жаростійких покриттів зі спеціальними властивостями. Наплавлення дугове, електрошлакове, струмами високої частоти, плазмове, лазерне. Дугова металізація. Сутність процесу, матеріали, технологічні можливості.

8 Реальна будова металічних кристалів. Методи вивчення будови металів.

9 Пластична деформація. Динамічні рекристалізаційні процеси. Холодна, тепла та гаряча деформація. Повернення, полігонізація та рекристалізація. Властивості металів після рекристалізаційних процесів.

10 Твердість металів та сплавів. Методи визначення твердості.

11 Правила побудови діаграм стану двокомпонентних сплавів. Діаграми стану I, II, III та IV типів.

12 Залізівуглецеві сплави. Класифікація і маркування вуглецевих сталей. Вплив легувальних елементів на властивості сталей. Діаграма стану «залізо – графіт». Типи графітних чавунів. Леговані чавуни.

13 Теорія термічного оброблення сталей. Перетворення сталі під час нагрівання та охолодження. Вплив розміру зерна на механічні й технологічні властивості сталі. Бейнітне перетворення.

14 Технологія термічного оброблення. Поверхнєве зміцнення сталі. Методи поверхнєвого зміцнення. Високоенергетичне хімічне модифікування поверхнєвих шарів сталейних виробів. Плазмове та лазерне поверхнєве зміцнення.

15 Термомеханічне оброблення сталі. Види та призначення.

16 Дифузійна металізація. Хромування, алітування, цинкування. Багатокомпонентні дифузійні покриття, призначення, галузі застосування. Охорона праці і техніка безпеки під час хіміко-термічного оброблення.

17 Леговані сталі. Жаростійкі та жароміцні, корозієстійкі, зносостійкі сталі, сталі та сплави особового призначення. Економічне обґрунтування вибору матеріалів для виготовлення деталей машин.

18 Кольорові метали, застосовувані в машинобудуванні. Маркування кольорових металів і сплавів. Антифрикційні сплави на основі кольорових металів.

19 Неметалеві та композиційні матеріали, перспективи їх застосування. Термопластичні і терморективні полімери та їх властивості. Композиційні матеріали, їх склад і властивості, галузі застосування. Порошкові сталі й сплави, галузі застосування.

## **4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ОBOB'ЯЗKOBИХ (ІНДИВІДУАЛЬНИХ) ДОМАШНІХ ЗАВДАНЬ**

### **1 Мета та завдання обов'язкових (індивідуальних) домашніх завдань**

Індивідуальні (обов'язкові) завдання та виконання їх студентами на високому рівні ставлять за мету такі завдання:

- систематизацію, поглиблення, закріплення та розширення теоретичних і практичних знань із дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство»;
- застосування цих знань під час розв'язування конкретних науково-дослідницьких та інженерно-фізичних задач;
- розвиток навичок самостійної роботи з використанням літератури та інформаційно-технічних засобів.

Результатом виконання індивідуального завдання є звіт у вигляді реферату з обраної студентом тематики згідно з питаннями, які вивчаються з цих дисциплін.

### **2 Теми (обов'язкових) індивідуальних завдань**

Індивідуальні завдання з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство» виконуються за такою тематикою:

- 1 Найлегші сплави. Проблеми і перспективи.
- 2 За металами – в космос.
- 3 Сучасні методи контролю якості матеріалів.
- 4 Металургія Місяця і Марса.
- 5 Вогнетриві в металургії.
- 6 Епоха металу – закономірне зростання в розвитку цивілізації.
- 7 Три століття чавуну.
- 8 Століття сталі.
- 9 Екологічно чиста металургія заліза.
- 10 ХХІ століття – століття кераміки і нових жаростійких матеріалів.
- 11 Рідкісні метали та атомна енергетика.
- 12 Тверді сплави і технічний прогрес.
- 13 Вплив важких кольорових і благородних металів на розвиток культури.
- 14 Роль сплавів кольорових металів у житті (минулому, сьогоденні та майбутньому).
- 15 Зварювання вибухом – єдиний спосіб сполучення металів: сталь + срібло, сталь + свинець, мідь + срібло та ін.
- 16 Гідро- і газоекструзія – технології майбутнього.
- 17 З чого все зроблено. Характеристики та сфери застосування основних природних і штучних матеріалів.
- 18 Литий і кований булат – стародавні представники металевих композиційних матеріалів.
- 19 Самозміцнення металів і сплавів: фізична природа та основні закономірності.
- 20 Композити як основний матеріал космічної техніки.
- 21 Чому не ржавіють «нержавіючі» сталі?
- 22 Чому метали «хворіють» корозією?
- 23 Чому олово і цинк – захисники заліза від корозії?
- 24 «Корозійні хвороби» нержавіючих сталей.
- 25 Пасивність металів: історія відкриття, практична користь.
- 26 Корозія металів та екологія.
- 27 Корозія металів і катастрофи ХХ століття.
- 28 Найдавніший, але актуальний і сьогодні електрохімічний (гальванічний) метод одержання металевих покриттів.

- 29 Термічні методи напилення покриттів на металеві вироби вибухом та електродугою.
- 30 Таємниця самурайських мечів. Магічний кинджал. Булат нашого часу.
- 31 Як перетворився алюміній із дорогоцінного металу на «крилатий» і чому його потрібно захищати антикорозійними покриттями.
- 32 Корозійна втома виробів із металевих матеріалів.
- 33 Сучасні керамічні та композиційні матеріали.
- 34 Біомедична інженерія: «Майбутнє ближче, ніж здається».
- 35 Полімери в медицині.
- 36 Рентген, електрони, нейтрони – невидимі помічники матеріалознавців.
- 37 Кристалічна структура металів і сплавів.
- 38 Термічне оброблення металів і сплавів – «можливі варіанти».
- 39 «Чудова четвірка» в біосумісних сплавах – титан, ніобій, тантал, цирконій.
- 40 «Кераміка буває різною». Класифікація керамічних матеріалів.
- 41 Сучасні методи дослідження властивостей матеріалів.
- 42 Матеріали та елементи електронної техніки.
- 43 Матеріалознавство і технологія нових матеріалів.
- 44 Нанотехнології в сучасному світі.
- 45 Нанопорошки металів: отримання і застосування.
- 46 Методи отримання і застосування фулеренів.
- 47 Методи отримання і застосування вуглецевих нанотрубок.
- 48 Наноматеріали в біотехнологіях.
- 49 Наноструктурні плівки і покриття: види та методи нанесення.
- 50 Студент сам обирає тему ІДЗ (ОДЗ).

### **3 Вимоги до оформлення індивідуальних домашніх завдань**

Реферат повинен мати логічну структуру та складатися з таких частин:

- титульного аркуша з темою даної роботи;
- реферату;
- змісту;
- вступу;
- оригінальної частини;
- висновків;
- списку використаних джерел (або літератури);
- додатків (якщо є необхідність).

Тема реферату повинна бути розкрита всебічно, повно, обґрунтовано.

Реферат повинен містити:

- об'єкт дослідження;
- мету роботи;
- відомості про обсяг (кількість сторінок), кількість рисунків, таблиць, використаних літературних джерел та додатків;
- перелік ключових слів, що несуть смислове навантаження за темою індивідуального домашнього завдання.

Реферат має обсяг до 2/3 сторінки, ключові слова повинні бути надруковані через вільний рядок із нового рядка. Ключові слова (5–8 слів або словосполучень) наводяться в називному відмінку, друкуються великими літерами в рядок через кому.

Зміст містить найменування і нумерацію початкових сторінок вступу, всіх розділів, підрозділів, пунктів та підпунктів, висновків, літератури, додатків.

Вступ розкриває сутність теми реферату або поставленого завдання.

Оригінальна частина складається з розділів. Кожний розділ починається з нової сторін-

ки, заголовки пишуться великими літерами. Розділи можуть поділятися на підрозділи, які також поділяються на пункти. Заголовки підрозділів та пунктів пишуть малими літерами.

У висновках викладають основні ідеї та думки, що наведені в роботі.

Основна мова роботи – українська.

#### *Загальні вимоги до оформлення текстової частини*

Текст роботи друкується за допомогою комп'ютера і принтера з одного боку аркуша білого паперу формату А4 (210 x 297 мм) без рамки. Набір тексту здійснюється з використання текстового редактора Word. У цьому разі рекомендується використовувати шрифти типу Times New Roman розміром 14 типографських пунктів (pt). Текст необхідно розміщувати залишаючи поля паперового аркуша таких розмірів:

- ліве – 25 мм;
- праве – 15 мм;
- верхнє та нижнє – 20 мм.

Якщо студент виконує роботу без допомоги персонального комп'ютера, то вимоги до формату залишаються, текст повинен бути написаний чітким, розбірливим почерком, грамотно, висота букв не менше ніж 2,5 мм. Для написання роботи використовують чорнила (пас-ту) синього або чорного кольору.

Абзац у тексті починають із відступу. Абзацний відступ першого рядка (новий рядок) повинен бути не більше ніж 1 см. Обсяг роботи реферативного типу повинен бути не меншим ніж 10–15 сторінок, включаючи ілюстрації й таблиці.

Текст основної частини роботи поділяють на розділи, підрозділи, пункти та підпункти (за необхідності).

Заголовки структурних частин («ЗМІСТ», «ВСТУП», «РОЗДІЛ», «ВИСНОВКИ», «ЛІТЕРАТУРА», «ДОДАТКИ») друкують великими літерами посередині рядка. Усі інші заголовки (підрозділів та пунктів) друкують із першої великої літери. У кінці заголовків крапку не ставлять. Якщо заголовок містить два речення, їх відокремлюють крапкою. Заголовок і текст відділяють один від одного пустим рядком. Якщо між двома заголовками тексту немає, то відокремлювати їх пустим рядком не потрібно. Після закінчення тексту пункту (підрозділу) перед заголовком нового пункту пропускають два пустих рядки. Кожна структурна частина роботи починається з нового аркуша.

#### *Правила нумерації:*

- структурні частини такі, як «ЗМІСТ», «ВСТУП», «ВИСНОВКИ», «ЛІТЕРАТУРА» та «ДОДАТКИ», не нумерують;
- номери мають розділи, підрозділи, пункти та підпункти;
- нумерацію розділів, підрозділів, пунктів, рисунків, таблиць, формул, рівнянь здійснюють арабськими цифрами без знака «№»;
- номер розділу ставлять після слова «РОЗДІЛ» (наприклад, РОЗДІЛ 1);
- підрозділи нумерують у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу та порядкового номера підрозділу, відокремлених крапкою, наприклад: 1.1 (перший підрозділ першого розділу).
- пункти нумерують у межах кожного розділу. Номер пункту складається з номера розділу та порядкових номерів підрозділу та пункту, відокремлених крапками, наприклад: 1.1.1 (перший пункт першого підрозділу першого розділу);
- заголовок підрозділу друкують із нового рядка, що йде за номером розділу. Заголовки підрозділів та пунктів наводять після їх номерів через пробіл;
- у кінці нумерації розділів, підрозділів та пунктів крапку не ставлять;
- нумерацію сторінок подають арабськими цифрами. Першою сторінкою роботи є титульний аркуш, що входить до загальної нумерації сторінок роботи. Номер сторінок на титульному аркуші, рефераті та змісті не зазначають. На наступних аркушах номер проставля-



ють у правому нижньому куті без крапки в кінці;

- усі сторінки тексту нумерують послідовно, включаючи список використаних джерел та додатки.

#### *Правила оформлення таблиць та ілюстрацій*

Цифровий матеріал оформлюють у вигляді таблиць, які нумерують згідно з нумерацією розділу послідовно.

Наприклад,

Таблиця 4.1 – Хімічний склад деяких швидкорізальних сталей, %

Марка сталі	C	Cr	W	V	Mo	Co
P18	0,73–0,83	3,8–4,4	17,0–18,5	1,0–1,4	До 1,0	До 0,5
P9	0,85–0,95	3,8–4,4	8,5–9,5	2,3–2,7	До 1,0	До 0,5
P6M5	0,82–0,90	3,8–4,4	5,5–6,5	1,7–2,1	4,8–5,3	До 0,5
P6M5Ф	0,95–1,05	3,8–4,3	5,7–6,7	2,3–2,7	4,8–5,3	До 0,5
P6M5K5	0,84–0,92	3,8–4,3	5,7–6,7	1,7–2,1	4,8–5,3	4,7–5,2

Таблицю з великою кількістю рядків допускається переносити на наступний аркуш; у разі перенесення частини таблиці на інший аркуш її заголовок зазначають лише один раз над першою частиною, над іншими частинами ліворуч з абзацу пишуть «Продовження таблиці 1.7».

Ілюстрації позначають відповідно словом «Рисунок» і нумерують послідовно в межах кожного розділу.

На всі таблиці й ілюстрації повинні бути посилання в тексті. Слова «Рисунок» і «Таблиця» в підписах до рисунка або таблиці не скорочують, але в посиланнях на них у тексті їх скорочують. Номер таблиці (ілюстрації) повинен складатися з номера розділу й порядкового номера таблиці (ілюстрації), розділених крапкою. Наприклад, рис. 1.2 або табл. 1.7.

Ілюстрації повинні бути виконані за допомогою комп'ютерної техніки або чорнилом чи пастою чорного кольору і мати підписаний підпис. Слово «Рисунок», номер і найменування ілюстрації поміщують під ілюстрацією, відокремлюючи знаком тире номер від найменування. Крапку наприкінці нумерації й найменувань ілюстрацій не ставлять. Не допускається перенесення слів у найменуванні рисунка. Якщо на рисунку є цифри, що позначають окремі елементи (на схемах, графіках та ін.), то це пояснювальні дані.

Наприклад,

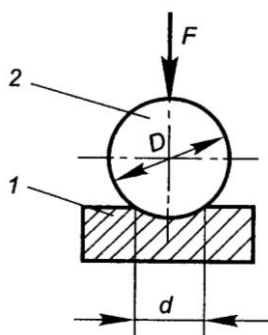


Рисунок 4.1 – Схема випробовування під час визначення твердості за Брінеллем: 1 – зразок; 2 – кулька; F – сила, що діє на кульку; D – діаметр кульки; d – діаметр відбитка

#### *Правила оформлення формул та рівнянь*

Формули й рівняння в тексті роботи (якщо їх більше ніж одна) нумерують у межах розділу подвійною нумерацією. Номер формули (рівняння) складається з номера розділу й порядкового номера формули (рівняння) в цьому розділі, розділених крапкою. Номери формул (рівнянь) пишуть у круглих дужках біля правого поля аркуша на рівні формули (рівняння).

Наприклад: (5.2) – друга формула п'ятого розділу.

Формули (рівняння) потрібно виділяти з тексту окремим рядком і розміщувати посередині рядка. Вище й нижче від кожної формули й рівняння залишається по одному вільному рядку; посилання на формули в тексті роботи подають у круглих дужках; пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули або рівняння, потрібно наводити безпосередньо після формули в тій самій послідовності, в якій вони подані у формулі, але за винятком тих, про які вже згадувалось у тексті вище. Значення кожного символу записують через крапку з комою, перший рядок пояснення починають зі слів «де» без абзацу й без двокрапки.

Наприклад:

$$\Delta E = Q - W, \quad (4.1)$$

де  $\Delta E$  – зміна енергії системи в даному процесі;  $Q$  – кількість тепла, одержаного системою;  $W$  – робота, виконана системою.

Після розшифрування символів з абзацу йде текст (вільний рядок не залишають).

Рисунки, таблиці, формули та рівняння повинні бути пронумеровані відповідно до порядку посилання на них у тексті реферату.

#### *Правила оформлення літератури*

Літературу наводять мовою оригіналу (українською, російською, англійською та ін.). Назви міст пишуть повністю: Київ (Київ), Харків (Харьков), Івано-Франківськ (Ивано-Франковск), Львів (Львов) та ін. Цитовані джерела нумерують за порядком цитування в тексті. Посилання на літературні джерела в тексті наводять у вигляді номера відповідно до бібліографічного списку. Номер джерела наводять у квадратних дужках (наприклад: [1], [2–4], [3, 4]). Цитовану літературу в розділі «Список використаних джерел» або «Література» розміщують послідовно в порядку появи посилань у тексті роботи.

Наприклад:

1. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури / Д. М. Заячук – Львів : Львівська політехніка, 2009. – 580 с.
2. Лившиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Линецкий. – Москва: Металлургия, 1980. – 320 с.

#### *Правила оформлення додатків*

Додатки оформляють наприкінці тексту і розміщують у порядку появи на них посилань у тексті роботи.

Кожний додаток починають із нового аркуша з наведенням посередині слова «ДОДАТОК», надрукованого великими літерами. Додаток повинен мати заголовок, що розміщується з нового рядка по центру аркуша з великої літери. Додатки позначають великими літерами українського алфавіту, починаючи з букви А.

Наприклад: ДОДАТОК А, ДОДАТОК Б.

У додатках можна розміщувати за необхідності таблиці, графіки, типові розрахунки.

Зразки титульного аркуша (перша сторінка), реферату та змісту роботи наведено в додатку В. Закінчену роботу студенти подають на кафедру відповідно до термінів, визначених навчальним графіком.

Література [21–23].

## **5 КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ СТУДЕНТА**

### **1 Питання, винесені на тести з частини «Технологія конструкційних матеріалів»**

#### **Металургійне виробництво**

- 1 Структура металургійного виробництва.
- 2 Матеріали, застосовувані в доменному виробництві та підготовка їх до плавлення.
- 3 Отримання чавуну в доменній печі.
- 4 Продукти доменної плавки.
- 5 Отримання сталі.
- 6 Мартенівська піч.
- 7 Конвертерна піч.
- 8 Електрична піч.
- 9 Розливання сталі.
- 10 Підвищення якості сталі.

#### **Ливарне виробництво**

- 11 Сутність ливарного виробництва.
- 12 Ливарні матеріали та їх властивості.
- 13 Лиття в піщано-глинясту форму.
- 14 Виготовлення виливків у піщані форми. Машинне формування.
- 15 Лиття в оболонкову форму.
- 16 Лиття за виплавленими моделями.
- 17 Лиття в кокіль.
- 18 Литтям під тиском.
- 19 Відцентрове лиття.
- 20 Дефекти виливків і методи їх виправлення.

#### **Оброблення металів тиском**

- 21 Холодне пластичне деформування металу.
- 22 Гаряче пластичне деформування металу.
- 23 Прокатування. Види прокатування.
- 24 Вільне кування.
- 25 Устаткування для кування.
- 26 Гаряче об'ємне штампування.
- 27 Холодне штампування.
- 28 Технологія листового штампування.
- 29 Волочіння.
- 30 Технологія отримання труб у прокатному виробництві.

#### **Технологія отримання порошкових, неметалевих та композиційних матеріалів**

- 31 Виготовлення деталей із композиційних порошкових матеріалів.
- 32 Способи одержання й технологічні властивості порошків.
- 33 Готування суміші, формоутворення та остаточне оброблення заготовок.
- 34 Класифікація пластмас.
- 35 Перероблення пластмас у в'язкотекучому стані.
- 36 Перероблення пластмас у високоеластичному стані.
- 37 Виробництво деталей із рідких полімерів.
- 38 Виготовлення деталей із пластмас у твердому стані.
- 39 Зварювання пластмас.
- 40 Склеювання пластмас.
- 41 Покриття з пластмас.
- 42 Лакофарбові покриття.

- 43 Гуми. Загальні відомості.
- 44 Технологія отримання деталей із гуми.
- 45 З яких компонентів виготовляють пластмаси?
- 46 Яка відмінність фізико-механічних властивостей термопластичних і термореактивних пластмас?
- 47 У чому полягає процес старіння пластмас і чим це спричинено?
- 48 Що складає основу термопластичних і термореактивних пластмас?
- 49 З яких компонентів складається гума?
- 50 Яка існує класифікація гуми?
- 51 Які бувають гуми спеціального призначення і де їх використовують?
- 52 Що називається композиційним матеріалом?
- 53 За якими параметрами класифікують композиційні матеріали?
- 54 У яких цілях використовують композиційні матеріали?
- 55 Які переваги та недоліки порошкової металургії?
- 56 Які ви знаєте порошкові антифрикційні й фрикційні матеріали?
- 57 Як впливає пористість на механічні властивості порошкових матеріалів?
- 58 Опишіть властивості, технологію оброблення і застосування конструкційних порошкових матеріалів.

### **Технологія зварювання**

- 59 Термічний клас зварювання.
- 60 Механічний клас зварювання.
- 61 Термомеханічне зварювання.
- 62 Схеми дугового зварювання.
- 63 Електрошлакове зварювання.
- 64 Автоматичне зварювання під шаром флюсу.
- 65 Дугове зварювання в захисному газі.
- 66 Плазмове зварювання.
- 67 Електричне контактне зварювання.
- 68 Паяння.

## **2 Питання, винесені на тести з частини «Матеріалознавство»**

### **Атомно-кристалічна будова металів**

- 1 Вибір матеріалу. Етапи вибору матеріалу. Критерії, які необхідно враховувати під час вибору матеріалу.
- 2 Використання металів у техніці. Класифікація металів.
- 3 Кольорові метали, їх характерні особливості та властивості. Приклади кольорових металів.
- 4 Чорні метали, їх характерні особливості та властивості. Приклади чорних металів.
- 5 Аморфні й кристалічні тіла. Кристалізація і процес плавлення кристалічних та аморфних тіл.
- 6 Типи кристалічних ґраток та їх параметри.
- 7 Що таке елементарна кристалічна комірочка? Наведіть схеми найбільш поширених елементарних кристалічних комірок.
- 8 Що таке кристалічна ґратка? Наведіть приклади і стисло охарактеризуйте основні види кристалічних ґраток.
- 9 Класифікація дефектів кристалічної будови.
- 10 Точкові дефекти та їх різновиди.
- 11 Дислокації, види дислокацій, особливості впливу дислокацій на властивості металів та сплавів.

### **Кристалізація металів**

- 12 Кристалізація, види. Описати кінетику самочинної кристалізації.
- 13 Від яких чинників залежить величина зерна під час кристалізації металів і сплавів.
- 14 Енергетичні умови процесу кристалізації.
- 15 Будова металевого зливка. Неоднорідність литого металу.
- 16 Термодинаміка та кінетика процесу кристалізації. Вплив швидкості охолодження на процес кристалізації.
- 17 Якими величинами характеризується кількісно процес кристалізації?
- 18 Вплив ступеня переохолодження на лінійну швидкість росту кристалів і на кількість центрів кристалізації (пояснити графік).
- 19 Способи отримання дрібнозернистої структури металів під час кристалізації.
- 20 Перекристалізація у твердому стані. Поліморфне перетворення металів.
- 21 Перетворення у твердому стані. Особливості магнітних перетворень металів.
- 22 Вплив нагрівання на властивості наклепаного металу.
- 23 Статичні та динамічні рекристалізаційні процеси.
- 24 Холодна й гаряча деформація. Повернення, полігонізація та рекристалізація.

### **Теорія сплавів та діаграми стану сплавів**

- 25 Тверді розчини, їх характеристика і різновид.
- 26 Хімічні сполуки, їх характеристика, різновиди, умови утворення.
- 27 Механічні суміші. Особливості кристалізації механічних сумішей.
- 28 Правило фаз Гіббса, його практичне значення. Наведіть приклад застосування правила фаз.
- 29 Як можна визначити об'ємне (кількісне) співвідношення фаз у заданій точці двофазної області діаграми стану? Наведіть приклади.
- 30 Які перетворення відбуваються, якщо ступінь вільності системи дорівнює нулю? Напишіть, що відбувається в результаті цих перетворень, і зобразіть фрагмент кривої охолодження, характерний для них.
- 31 Методи побудови діаграм стану. Наведіть приклад.
- 32 Зобразіть діаграму стану сплавів, що утворюють механічні суміші; опишіть структурно-фазові перетворення, що відбуваються на лініях діаграми а також структурно-фазові зони діаграми стану.
- 33 Зобразіть діаграму стану сплавів із повною розчинністю компонентів у твердому стані; опишіть структурно-фазові перетворення, що відбуваються на лініях діаграми.
- 34 Зобразіть діаграму стану компонентів, що утворюють обмежені тверді розчини (з евтектикою); опишіть структурно-фазові зони і перетворення, що відбуваються на лініях діаграми.
- 35 Зобразіть діаграму стану третього типу з перитектичною кристалізацією; опишіть структурно-фазові перетворення, що відбуваються на лініях діаграми.
- 36 Опишіть зв'язок між типом діаграми і характером зміни властивостей сплавів (правило Курнакова).

### **Залізовуглецеві сплави**

- 37 Діаграма стану «залізо – цементит». Охарактеризуйте компоненти та фази діаграми стану «залізо – цементит».
- 38 Структура сталей і білих чавунів, їх характеристики, умови утворення і властивості.
- 39 Чим відрізняється ледебурит від перетвореного ледебуриту? У результаті яких перетворень відбувається зміна фазового складу ледебуриту?
- 40 Які геометричні форми графіту ви знаєте? Як вони впливають на властивості чавуну?
- 41 Описати процес графітизації білих чавунів. Структура металевої матриці графітових чавунів.

- 42 Типи графітних чавунів. Модифікований сірий чавун. Його структура, властивості, призначення.
- 43 Типи графітних чавунів. Високоміцний чавун. Його структура, властивості, призначення.
- 44 Процеси графітизації в чавунах. Методика отримання ковкого чавуну.
- 45 Вуглецева сталь загального призначення. Маркування і галузь застосування.
- 46 Вплив постійних домішок на властивості вуглецевих сталей.
- 47 Вплив легувальних елементів на поліморфні перетворення та властивості сталей.

### **Теорія термічного оброблення сталей**

- 48 Основи теорії термічного оброблення сталей. Параметри, що впливають на процес термічного оброблення.
- 49 Чотири основні перетворення в сталі. Перетворення сталі під час нагрівання та охолодження.
- 50 Перше основне перетворення: перетворення в сталі під час нагрівання, утворення аустеніту.
- 51 Ріст зерна аустеніту під час нагрівання. Спадково дрібнозернисті та спадково великозернисті сталі. Вплив легувальних елементів на ріст зерна аустеніту.
- 52 Ріст зерна аустеніту під час нагрівання. Перегрівання і перепалювання.
- 53 Перетворення в сталі під час охолодження. Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту.
- 54 Перетворення аустеніту під час неперервного охолодження. Критична швидкість охолодження і фактори, що впливають на неї.
- 55 Перетворення в сталі під час охолодження. Особливості перлітного перетворення.
- 56 Перетворення в сталі під час охолодження. Особливості мартенситного перетворення.
- 57 Перетворення в сталі під час охолодження. Особливості бейнітного (проміжного) перетворення.
- 58 Перетворення аустеніту під час неперервного охолодження. Умови формування структури перліту, сорбіту, троститу, бейніту та мартенситу.
- 59 Перетворення під час відпускання загартованої сталі.

### **Технологія термічного оброблення**

- 60 Загальна характеристика процесу термічного оброблення сталі. Класифікація видів термічного оброблення.
- 61 Відпалювання першого роду. Класифікація видів відпалювання першого роду. Призначення відпалювання.
- 62 Дифузійне відпалювання. Призначення відпалювання.
- 63 Рекристалізаційне відпалювання. Призначення відпалювання.
- 64 Відпалювання для зняття залишкових напружень і твердості. Режими та призначення.
- 65 Відпалювання другого роду. Повне і неповне відпалювання. Призначення відпалювання.
- 66 Відпалювання другого роду. Ізотермічне відпалювання. Призначення відпалювання.
- 67 Відпалювання другого роду. Сфероїдизувальне відпалювання. Призначення відпалювання.
- 68 Відпалювання другого роду. Нормалізація сталі. Призначення нормалізації.
- 69 Гартування сталі. Способи гартування.
- 70 Гартування сталі. Гартівні середовища і вимоги до них.
- 71 Гартування сталі. Періоди гартування сталі в охолодних середовищах. Тривалість нагрівання під час гартування сталі в електричній печі.

72 Загартованість і прогартованість сталі. Фактори, що впливають на загартовуваність і прогартовуваність сталі.

73 Відпускання сталі. Види і призначення відпускання.

74 Відпускна крихкість першого і другого родів. Причини відпускнуї крихкості.

75 Поверхнєве зміцнення сталі. Методи поверхнєвого зміцнення. Поверхнєве гартування струмами високої частоти.

76 Термомеханічне оброблення. Види термомеханічного оброблення та галузі застосування.

77 Термомеханічне оброблення. Режими високотемпературного термомеханічного оброблення сталі. Призначення та галузі застосування.

78 Термомеханічне оброблення. Режими низькотемпературного термомеханічного оброблення сталі. Призначення та галузі застосування термомеханічного оброблення.

### **Хіміко-термічне оброблення сплавів**

79 Хіміко-термічне оброблення сплавів. Фізичні основи хіміко-термічного оброблення сталі.

80 Цементация сталі. Сталі, використовувані для цементации.

81 Цементация сталі. Структура цементованого шару.

82 Цементация сталі. Призначення та галузі застосування цементации. Термічне оброблення цементованих сталей.

83 Технологія ціанування сталі, сталі, використовувані для ціанування, призначення та галузі застосування ціанування.

84 Нітроцементация. Призначення нітроцементации та галузі застосування.

85 Технологія азотування сплавів. Попереднє та остаточне термічне оброблення азотованих деталей, його призначення.

86 Технологія азотування сплавів. Сталі, використовувані для азотування. Призначення азотування.

87 Технологія азотування сплавів. Структура азотованого шару. Властивості азотованого шару.

88 Дифузійна металізація. Властивості дифузійних шарів.

89 Дифузійна металізація. Хромування та галузі застосування. Режими та способи хромування. Властивості дифузійного шару.

### **Леговані сталі**

90 Вуглецева та легована сталь. Вплив легувальних елементів на властивості сталі.

91 Класифікація легованих сталей за структурою після охолодження на повітрі.

92 Поліпшувані середньовуглецеві сталі, маркування та термічне оброблення.

93 Будівельні сталі, маркування та термічне оброблення.

94 Пружинні конструкційні сталі, маркування та термічне оброблення.

95 Шарикопідшипникова сталь, маркування та термічне оброблення.

96 Інструментальні сталі, маркування та термічне оброблення.

97 Сталі для виготовлення різального інструменту. Маркування, призначення та особливості термічного оброблення інструменту.

98 Сталі для виготовлення вимірювального інструменту. Маркування, призначення та особливості термічного оброблення інструменту.

99 Швидкорізальні сталі. Маркування, призначення та особливості термічного оброблення інструменту зі швидкорізальної сталі.

100 Штампові сталі. Сталі для штамів холодного і гарячого штампування. Маркування та термічне оброблення.

101 Сталі й сплави з особливими фізичними властивостями. Класифікація цих сплавів. Жаростійкі та жароміцні сталі.

### **Кольорові метали, застосовувані в машинобудуванні**

- 102 Які основні властивості алюмінію? Назвіть галузі його застосування?
- 103 Як класифікуються алюмінієві сплави?
- 104 Які алюмінієві сплави зміцнюються термічним обробленням? Назвіть їх марки, склад, режим термічного оброблення, одержувані властивості.
- 105 У чому полягає суть процесу старіння?
- 106 Які сплави зміцнюються пластичною деформацією? Перелічіть їх марки, склад, вид оброблення, одержувані властивості.
- 107 Які ви знаєте ливарні алюмінієві сплави? Наведіть їх марки, склад, вид оброблення, властивості.
- 108 Які основні властивості міді? Назвіть галузі її застосування.
- 109 Який вплив домішок на властивості міді?
- 110 Який вплив чинить цинк на фазовий стан і механічні властивості латуней? Назвіть галузі застосування латуней.
- 111 Які види бронз ви знаєте? Назвіть галузі їх застосування.
- 112 Які види термооброблення застосовують до латуней і бронз? Яке їх значення?
- 113 Охарактеризуйте структури і властивості сплавів на нікелевій основі.
- 114 Які структури мають бабіти?
- 115 Які особливості структур бабітів забезпечують цим металам необхідні службові властивості?



## 6 ДОДАТКОВІ ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

### 6.1 Практична робота 1

#### «ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ»

(тривалість роботи – 2 години)

#### 1 МЕТА РОБОТИ

- 1.1 Ознайомити студентів із загальною конструкцією твердомірів.
- 1.2 Набути практичних навичок вимірювання твердості на приладах типу Брінелля (ТШ) і Роквелла (ТК).
- 1.3 Навчити студентів переводити одиниці твердості, виміряної на приладі ТК, в одиниці приладу ТШ.

#### 2 ОБЛАДНАННЯ І МАТЕРІАЛИ

- 2.1 Прилад для визначення твердості за методом Брінелля (ТШ).
- 2.2 Прилад для визначення твердості за методом Роквелла (ТК).
- 2.3 Набір зразків та матеріалів із чорних і кольорових металів для вимірювання твердості.
- 2.4 Таблиці переведення чисел твердості, виміряної на приладах ТШ, в числа твердості приладу ТК і навпаки.
- 2.5 Мікроскоп МПБ-2 (лупа Брінелля).

#### 3 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

**Твердість матеріалу** – опір проникненню в його поверхню стандартного тіла – індентора (наприклад, кульки, конуса і ін.), що не деформується під час випробування. *Випробування на твердість* – основний метод оцінювання якості термічного оброблення виробів. Існують такі методи визначення твердості: втискування індентора, відскоку кульки, дряпання, гойдання маятника та інші.

Найбільшого поширення на практиці набули методи втискування індентора: методи Брінелля, Роквелла, Віккерса і метод мікротвердості. Вимірювання твердості цими методами стандартизовані й підпорядковані державними стандартами: Брінелля – ДСТУ ISO 6506-1:2007, Роквелла – ДСТУ ISO 6508-1:2013, Віккерса – ДСТУ 3870-99, мікротвердості – ДСТУ ISO 9015-2:2003.

На рисунку 1 наведено діапазон значень твердості перших трьох принципово однакових методів, що ґрунтуються на статичному вдавлюванні твердого наконечника.

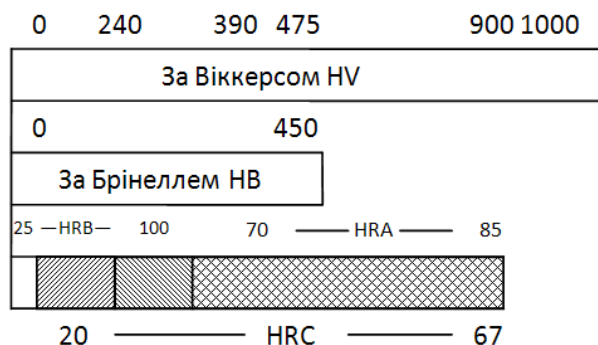


Рисунок 1 – Діапазон значень твердості

Для вимірювання твердості поверхні зразків чи деталей повинні бути шліфованими і паралельними один до одного, чистими від гравію та масел. Для вимірювання мікротвердості готується мікрошліф.

### Визначення твердості за методом Брінелля (ТШ)

Твердість за методом Брінелля визначають втискуванням у випробовувану поверхню під навантаженням  $P$  сталеві загартовані кульки діаметром  $D$  (рис. 2).

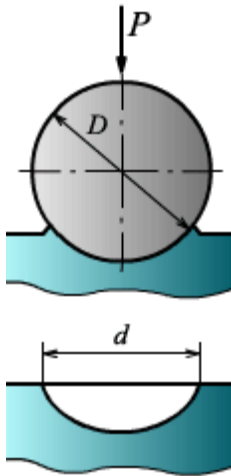


Рисунок 2 – Схема випробування під час визначення твердості за Брінеллем:  $P$  – сила, що діє на кульку;  $D$  – діаметр кульки;  $d$  – діаметр відбитка

Зовнішній вигляд твердомірів за Брінеллем наведено на рисунку 3, а конструктивна схема приладу твердоміра за Брінеллем ТШ-2 наведено на рисунку 4.



а



б



в

Рисунок 3 – Зовнішній вигляд твердомірів за Брінеллем : ТШ-2 (а), ТБ 5004 (б) і цифрового твердоміра ТН 600 (в)

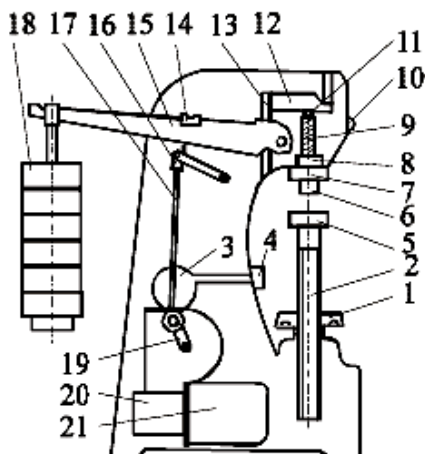


Рисунок 4 – Схема приладу для вимірювання твердості за Брінеллем: 1 – маховик; 2 – підйомний гвинт; 3 – шкала для завдання часу витримки під вантажем; 4 – кнопка-вимикач; 5 – опорний столик; 6 – шпindel для індентора; 7 – упорний чохол; 8 – втулка; 9 – пружина; 10 – шпindel; 11 – сигнальна лампа; 12, 15 – важелі; 13 – серга; 14 – мікроперемикач; 16 – вилка; 17 – шатун; 18 – вантажі; 19 – кривошип; 20 – редуктор; 21 – електродвигун

Прилад ТШ-2 змонтовано на масивній станині. На підйомному гвинті 2, що обертається маховиком 1, установлюють змінні опорні столики 5 для зразків. У верхній частині станини розміщений шпindel 6, в який монтують наконечники з кульками різних діаметрів. Шпindel спирається на пружину 9, призначену для прикладення попереднього навантаження 1 000 Н. Попереднє навантаження потрібне для усунення зсуву зразка під час випробувань. Основне навантаження прикладають через систему важелів. На довгому плечі основного важеля 15 розміщена підвіска, на яку встановлюють змінні вантажі 18. Обертання вала електродвигуна 21 через черв'ячну передачу йде на шатун 19, він опускається, і навантаження передається на шпindel приладу. Коли шатун 17 доходить до перемикача 14, електродвигун 21 починає обертатися в зворотний бік, шатун піднімається, і вантаж припиняє діяти на шпindel. Після повернення шатуна в первинний стан двигун автоматично зупиняється.

Число твердості позначають НВ (Н від Hardness – твердість, В – методом Брінелля) і визначають відношенням навантаження Р до сферичної поверхні відбитка лунки F кульового сегмента d, тобто

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

Діаметр кульки D, що дорівнює 10; 5; 2,5 мм, вибирають залежно від товщини виробу, навантаження Р – від діаметра кульки, твердості й товщини випробовуваного матеріалу (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення твердості за Брінеллем для сплавів

Матеріал	Твердість, НВ	Товщина матеріалу, мм	Діаметр кульки, мм	Навантаження Р, кг
Сталь, чавун	140–150	Від 6 до 3, від 4 до 2, < 2	10,0; 5,0; 2,5	3 000, 750, 187,5
Кольорові метали	< 130	Від 6 до 3, від 4 до 2, < 2	10,0; 5,0; 2,5	3 000, 750, 187,5
Кольорові метали	< 130	Від 9 до 3, від 6 до 3, < 3	10,0; 5,0; 2,5	1 000, 250, 62,5

Тривалість витримки під навантаженням – в межах від 10 до 30 с. Для забезпечення однакових умов випробувань при використанні різних діаметрів кульок додержуються таких співвідношень: для сталей і чавунів  $P = 30 D^2$ ; для міді та її сплавів –  $P = 10 D^2$ ; для алюмінію –  $P = 2,5 D^2$ , де D – діаметр кульки. Стандартом передбачено використання таких вантажів: 3 000, 1 000, 750, 500, 250 і 187,5 кг (див. табл. 1). Час дії вантажу на індентор задається механізмом приладу.

Практично під час визначення *твердості за методом Брінелля* вимірюють діаметр відбитка (в мм) лупою Брінелля МПБ-2 (рис. 5), що дозволяє збільшити зображення відбитка та визначити розмір діаметра в міліметрах. Потім за таблицею 1 знаходять число твердості НВ, яке відповідає діаметру відбитка.



Рисунок 5 – Зовнішній вигляд лупи Брінелля МПБ-2

Діаметр відбитка, отриманий від впливу індентора, вимірюють спеціальною лупою МПБ-2, на якій є шкала з ціною поділки 0,1 мм. Схема вимірювання наведена на рисунку 6.

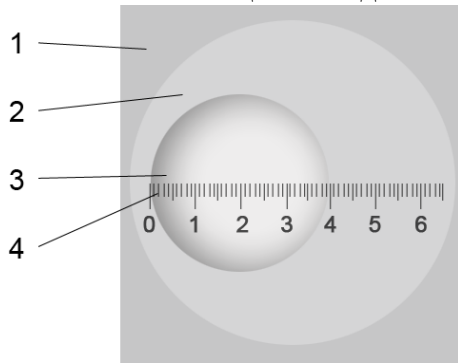


Рисунок 6 – Схема вимірювання діаметру відбитка з використанням мікроскопа: 1 – зразок; 2 – поле зору окуляра, 3 – площа відбитка на зразку; 4 – вимірювальна шкала окуляра

### Визначення твердості за методом Роквелла (ТК)

Метод базується на статичному втискуванні у випробовану поверхню сталеві кульки або алмазного конуса. Для відпаленої сталі та інших матеріалів із твердістю  $HB \leq 300$  застосовують сталеву кульку при навантаженні  $P = 100$  кгс.

На рисунку 7 наведена схема вимірювання твердості із застосуванням алмазного наконечника у вигляді конуса з кутом при вершині  $\alpha = 120^\circ$  і радіусом  $R = 0,2$  мм. Спочатку до індентора прикладають попередню силу  $P_0$  (рис. 7 б), під дією якої він заглиблюється в метал на величину  $h_0$ . Потім плавно додають основну силу  $P_1$  (рис. 7 в), внаслідок цього заглиблення індентора зростає до значення  $h_0 + h_1$ . Після зняття основної  $P_1$  залишається попередня сила  $P_0$  (рис. 7 г). Під дією пружних деформацій металу індентор дещо підніметься вгору і займе положення, що визначається розміром  $h_0 + h$ .

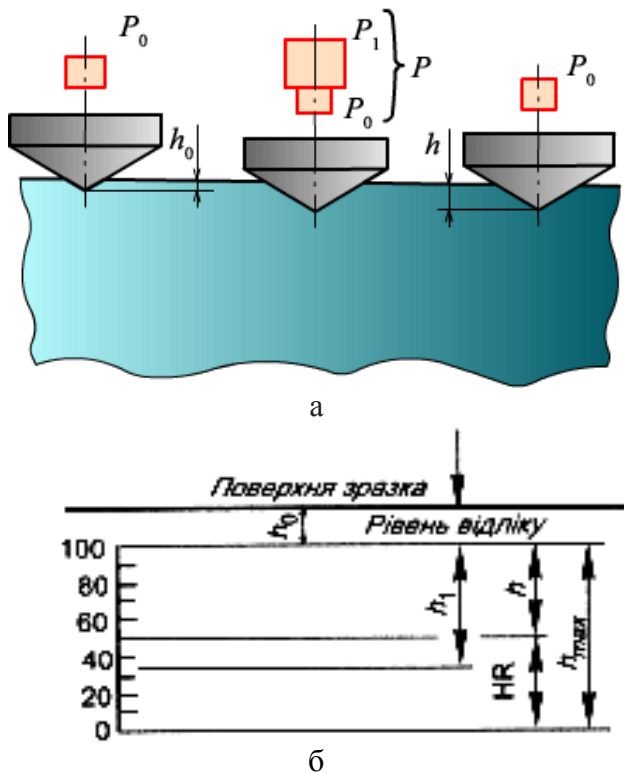


Рисунок 7 – Схема вимірювання твердості втискуванням алмазного конуса (а) і зіставлення значень заглиблення зі шкалою приладу (б):  $P_0$  – попереднє та  $P_1$  – основне навантаження;  $h_0, h_1$  – заглиблення індентора під дією  $P_0$  і  $P_1$ ;  $h$  – сумарне заглиблення після зняття  $P_1$ ;  $HR$  – твердість за Роквеллом

Твердість за Роквеллом визначають за величиною заглиблення  $h_0 + h$  індентора у матеріал під дією загального навантаження  $P$  ( $P = P_0 + P_1$ ). Аналогічну схему застосовують для вимірювання твердості із застосуванням сталевого наконечника у вигляді кулі діаметром 1,588 мм

Сума попереднього та основного навантаження становлять загальне навантаження  $P$ , яке вибирають залежно від індентора і сподіваної твердості (табл. 2).

Таблиця 2 – 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 ніж 700	Надтверді матеріали, цементовані сталі	$A$ – чорна	Алмазний конус	600	70–90
230–700	Тверді й термічно оброблені сталі	$C$ – чорна	Алмазний конус	1500	20–67
60–230	М'які матеріали	$B$ – черво-на	Сталева кулька	1000	25–100

Зовнішній вигляд твердомірів за Роквеллом наведено на рисунку 8.



Рисунок 8 – Зовнішній вигляд твердомірів за Роквеллом: ТК-2 (а), ТН 550 (б) і цифрового твердоміра ТН 500 (в)

Конструктивна схема приладу твердоміра за Роквеллом ТК-2 М, наведена на рисунку 9. Механізм 14 підйомного столика 11 складається з пари гвинт – маховик 12–13. Випробування зразка на твердість здійснюють за допомогою механізму занурення, якому надає рух електродвигун 1. Від двигуна через черв'ячний редуктор 2 обертання передається кулачковому блоку 16, що через шток 5 опускає вантажний важіль 6 із вантажами 3 і передає навантаження на зразок через наконечник 10 із кулькою або алмазним конусом на кінці. При повороті кулачкового блоку 16 на один оберт шток 5 повертає вантажний важіль 6 у початкове положення, знімаючи з наконечника прикладене навантаження (за рахунок підвіски 6 і пружини 9 на зразок передається навантаження, що дорівнює відповідно 60 кгс і 10 кгс, навантаження 100 кгс або 150 кгс передається на зразок за рахунок змінних вантажів 3). Включення привода навантаження здійснюється педаллю 15, а включення електродвигуна – вмикачем, установленим на правому боці корпусу приладу 4. Фіксування глибини проникнення наконечника в зразок здійснюється індикатором 7, якому надає рух важіль 8. Точна установка індикатора на нуль досягається маховиком 14, що керує шкалою індикатора 7 через трос 17.

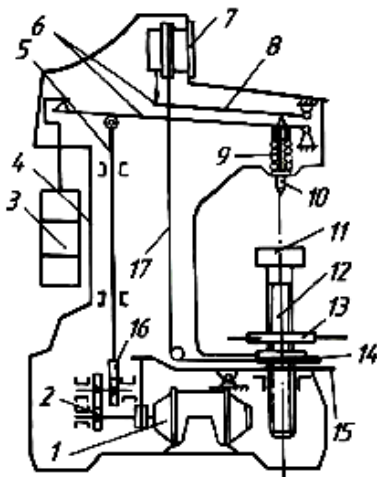


Рисунок 9 – Прилад для вимірювання твердості за Роквеллом типу ТК-2М: 1 – електродвигун; 2 – черв'ячний редуктор; 3 – вантажі; 4 – корпус приладу; 5 – шток; 6 – підвіска; 7 – індикатор; 8 – важіль; 9 – пружина; 10 – наконечник з індентором; 11 – підйомний столик; 12, 13 – пара гвинт – маховик; 14 – механізм підйомного столика; 15 – педаль; 16 - кулачковий блок; 17 – трос

Значення твердості визначають за глибиною залишкового втискування під час зворотного ходу довгого кінця великої стрілки на червоній шкалі В індикатора глибиноміра. Твердість, виміряну кулькою за методом Роквелла, позначають HRB (R – Роквелл, В – Ball – кулька). Твердість загартованих виробів вимірюють алмазним наконечником із кутом при вершині конуса 120°, за товщини деталі або дифузійного шару  $\geq 0,4$  мм. Вимірювання проводять за навантаження 60 кгс. Відлік значень твердості ведуть за чорною шкалою і твердість позначають HRA. Під час вимірювання твердості загартованих виробів значної товщини користуються алмазним наконечником за навантаження 150 кгс – чорна шкала. Твердість позначається HRC. Між значеннями HRA і HRC існує така залежність:

$$HRC = 2HRA - 104.$$

Найчастіше застосовують шкали вимірювання HRA, HRB і HRC, у деяких випадках – HRD, HRE, HRF, HRG, HRH, HRK (табл. 3).

Таблиця 3 – Значення зусиль навантаження під час вимірювання твердості за Роквеллом

Шкала	Сила, Н (кгс)	Індентор	Сфера застосування, матеріали
HRA	600 (60)	Алмазний конус	Інструментальні сталі, тверді сплави
HRB	1 000 (100)	Сталева кулька (1,588 мм)	Алюмінієві сплави, бронзи
HRC	1 500 (150)	Алмазний конус	Загартовані сталі
HRD	1 000 (100)	Алмазний конус	Загартовані сталі
HRE	1 000 (100)	Сталева кулька (3,16 мм)	Антифрикційні металеві сплави
HRF	600 (60)	Сталева кулька (1,58 мм)	Сплави кольорових металів
HRG	1 500 (150)	Сталева кулька (1,58 мм)	Фосфористі бронзи
HRH	600 (60)	Сталева кулька (1,58 мм)	М'які ливарні сплави
HRK	1 500 (150)	Сталева кулька (1,58 мм)	М'які ливарні сплави



### Визначення твердості за методом Віккерса (ТП)

Визначають твердість втискуванням у випробовуваний матеріал чотиригранної алмазної піраміди з кутом при вершині  $136^\circ$  (рис. 10).

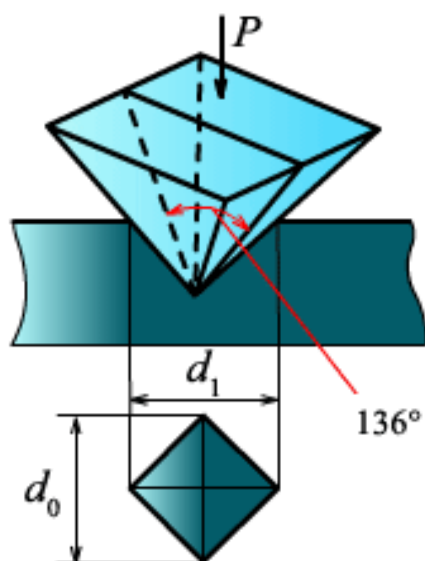


Рисунок 10 – Схема вимірювання твердості за Віккерсом, де  $P$  – навантаження на піраміду на момент випробувань;  $d$  – середнє арифметичне довжин обох діагоналей ( $d_0$  і  $d_1$ ) відбитку після зняття навантаження, мм;  $\alpha$  – кут при вершині піраміди  $136^\circ$

На практиці роблять відбиток на виробі й за допомогою мікроскопа, вмонтованого в прилад, визначають по черзі діагоналі відбитка піраміди, беруть їх числове середнє арифметичне значення і за таблицею, згідно з держстандартами з урахуванням використовуваного навантаження під час випробування, визначають значення твердості HV.

За Віккерсом (ТП) можна виміряти твердість деталей товщиною 1,5 діагоналі відбитка; дифузійні шари – 0,03 – 0,05 мм.

Математично твердість (кгс/мм<sup>2</sup>) можна розрахувати за формулою

$$HV = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} = 1,854 \frac{P}{d^2}.$$

Навантаження на індентор може змінюватися від 1 кгс до 120 кгс. Для вимірювання твердості зачищають лиску абразивом 40–60 мкм, тобто зразок полірують.

Число твердості записують без одиниці вимірювання, наприклад HV 550. Якщо число твердості виражається в МПа, то після нього зазначають одиницю вимірювання, наприклад, HV = 4 200 МПа.

Для вимірювання твердості за методом Віккерса використовують як стаціонарні (наприклад, прилад Віккерса типу ТВ або ТП-7Р-1), так і переносні (наприклад, ТПП-2) твердоміри. На рисунку 11 поданий прилад ТП-7Р-1 із можливістю навантаження силою від 49 Н до 981 Н (або 5, 10, 20, 30, 50 і 100 кгс).

Прилад має привод демпферного типу, що дозволяє регулювати швидкість підведення індентора до випробувального виробу та обладнаний проекційною оптичною системою, яка забезпечує вимірювання діагоналі відбитка на екрані відліково-мікрометричного пристрою. Конструкція приладу забезпечує автоматичну зміну положення об'єктива і наконечника перед і після нанесення відбитка. До конструкції приладу входять такі основні механізми, що змонтовані всередині литого корпусу: шпindel 16, мікрометрична головка 20, вантажний важіль 21, вантажна підвіска 29, демпфер 33, механізм підйому 5 столу і панель 27 з електроапаратурою. Шпindel і важільна система призначені для створення та передавання навантаження на випробуваний зразок. Шпindel виконаний у вигляді труби, вміщеній у шарикопідшипникових напрямних 17, на нижній частині його закріплена поворотна каретка 7, на якій розміщені випробувальний наконечник 11 та об'єктив 9. Положення каретки регулюється упорами 6 і 12. У вихідному положенні каретка встановлюється в положення «об'єктив».

У шпindelній трубі встановлена проєкційна частина оптичної системи, призначеної для передавання зображення відбитка на екран мікрометричної головки. Оптична система складається з ахроматичної лінзи 15, окуляра 23, дзеркала 22 і об'єктиву 9. Шпindel з'єднується з важелем 26 підшипниками 24. Для відтворення на шпindelі заданого навантаження на систему важеля навішують вантажі за допомогою вантажної підвіски 29 із набором вантажів 30.

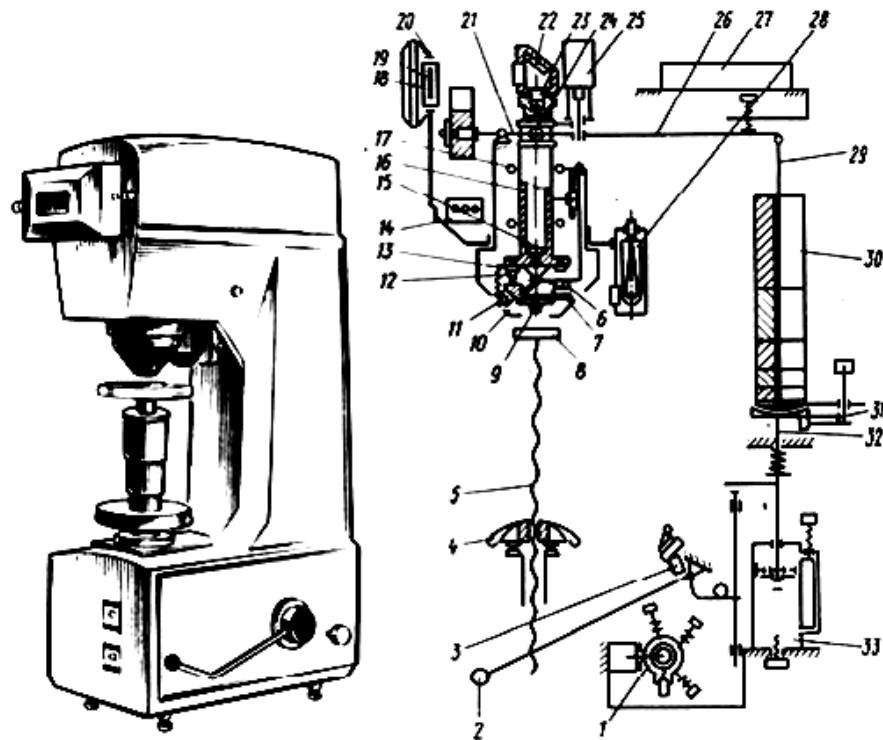


Рисунок 11 – Прилад для вимірювання твердості ТП-7Р-1

Деталь установлюють на предметний стіл 8 та обертанням маховика 4 підтискують її до чохла 10. На вантажну підвіску встановлюють необхідні вантажі. Поворотом рукоятки 2 звільняється шток 32 демпфера 33, напруга подається на магніт 25, за допомогою якого каретка 7 перекладається з положення «об'єктив» в положення «наконечник».

Шток демпфера і вантажна підвіска з вантажем опускаються вниз. Починається навантаження – проникнення наконечника у випробовуваний виріб. Під час повного навантаження замикаються контакти 31, і сигнал надходить на реле часу для відліку часу витримки. Після закінчення часу витримки, про що свідчить сигнальна лампочка 14, навантаження знімається. Потім вимикається освітлювач 28, мікроперемикач 3 розмикається, відключає магніт 25, і каретка під дією пружини 13 повертається в положення «об'єктив».

Відбиток проєктується через оптичну проєкційну систему на екран мікрометричної головки. Діагоналі відтиску вимірюють за шкалами 18 і 19 у двох взаємно перпендикулярних напрямках і за таблицями визначають твердість в одиницях HV. Межі вимірювання твердості – 8 HV – 2 000 HV.

Важливе значення методу Віккерса – це геометрична подібність відбитків за будь-яких навантажень і можливість визначення твердості на зразках малих перерізів і з тонкими шарами структур різної твердості. Навантаження під час випробування вибирають залежно від товщини виробу і його твердості (табл. 4), у цьому разі співвідношення товщини зразка або шару до діагоналі відбитка повинно бути не меншим ніж 1,5.



Таблиця 4 – Рекомендовані навантаження під час вимірювання твердості за Віккерсом

Товщина зразка або шар металу h, мм	Навантаження P (Н) за твердості HV			
	20–50	50–100	100–300	300–900 і більше
0,3–0,5	–	–	–	50–100
0,5–1,0	–	–	50–100	100–200
1,0–2,0	50–100	50–100	100–200	100–200
2,0–4,0	100–200	100–300	300–500	200–500
понад 4,0	≥ 200	≥ 300	≥ 500	≥ 500

Порівняння різних методів вимірювання твердості наведено на рисунку 12.

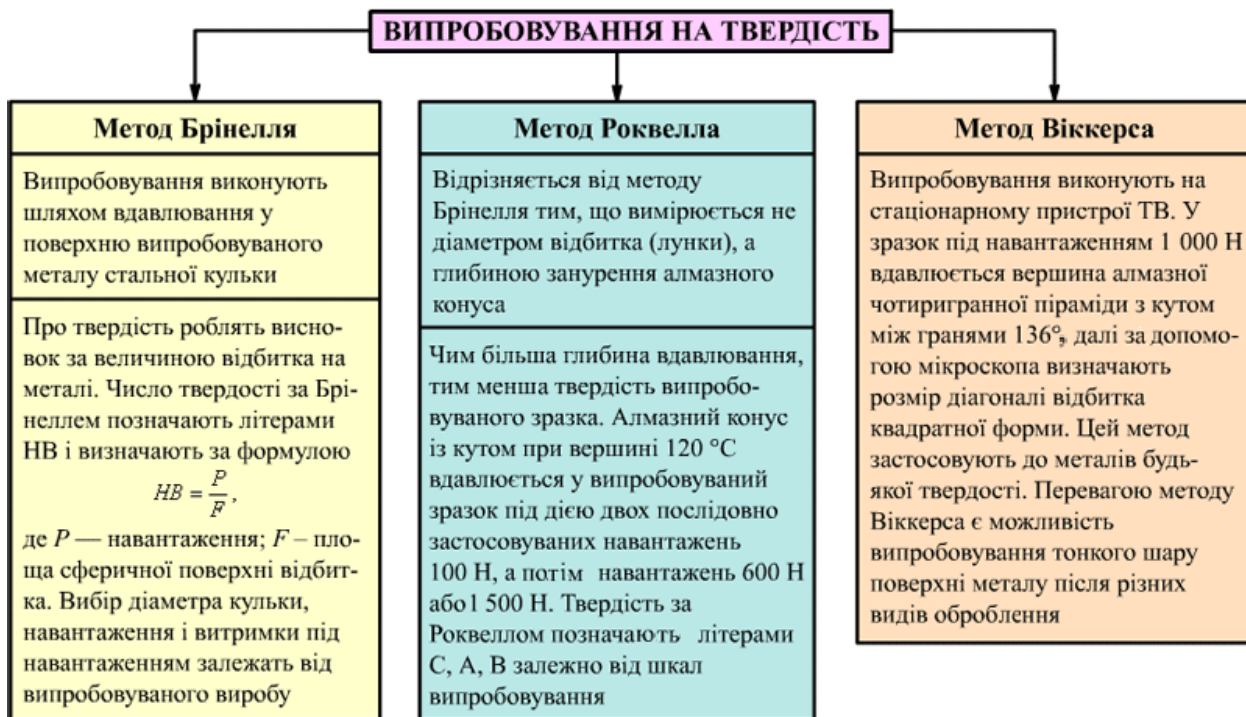


Рисунок 12 – Випробовування на твердість

### Метод вимірювання мікротвердості

**Мікротвердість** вимірюють на приладі ПМТ-3 алмазною пірамідою з кутом при вершині 136°. Навантаження може змінюватися від 1 г до 200 г. Застосування такого малого навантаження дозволяє виміряти твердість фаз і структурних складових. Діагональ відбитка вимірюють металографічним мікроскопом із збільшенням у 200–300 разів. Для вимірювання мікротвердості виготовляють мікрошліф. Мікротвердість визначають за таблицями згідно з держстандартами залежно від використаного навантаження й діагоналі відбитка.

Метод мікротвердості призначений для визначення твердості дуже малих (мікроскопічних) об'ємів матеріалів. Мікротвердість дозволяє оцінювати властивості окремих структурних складових, дуже тонких поверхневих шарів, покриттів, фольги, тонкого дроту, дрібних деталей механізмів і приладів, металевих ниток, штучних оксидних плівок, а також дуже крихких тіл (скла, емалей та ін.).

За індентор під час вимірювання мікротвердості, як і у разі визначення твердості за Віккерсом, використовують правильну чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині 136°. Ця піраміда плавно втискується в зразок за навантажень від 0,05–5 Н (5–500 г) і витри-

мується впродовж 3 – 5 секунд.

Значення твердості (кгс/мм<sup>2</sup>) визначають за таблицями або за формулою залежно від діагоналі відбитка та прикладеного навантаження:

$$H_p = 1,854 \frac{P}{d^2},$$

де P – навантаження, кг; d – середнє арифметичне довжин обох діагоналей відбитка після зняття навантаження.

Глибина вдавлення індентора невелика і становить декілька мікрометрів, тому дуже важливо виключити вплив процесу підготовки поверхні зразка на значення величини мікротвердості. Перед випробуванням зразок повинен бути відшліфований та відполірований. Число твердості позначають Н<sub>μ</sub> і записують без одиниці вимірювання (μ – це вага вантажів у грамах). Наприклад, Н<sub>50</sub>1200. Загальна схема мікротвердоміру ПМТ-3 наведена на рисунку 13.

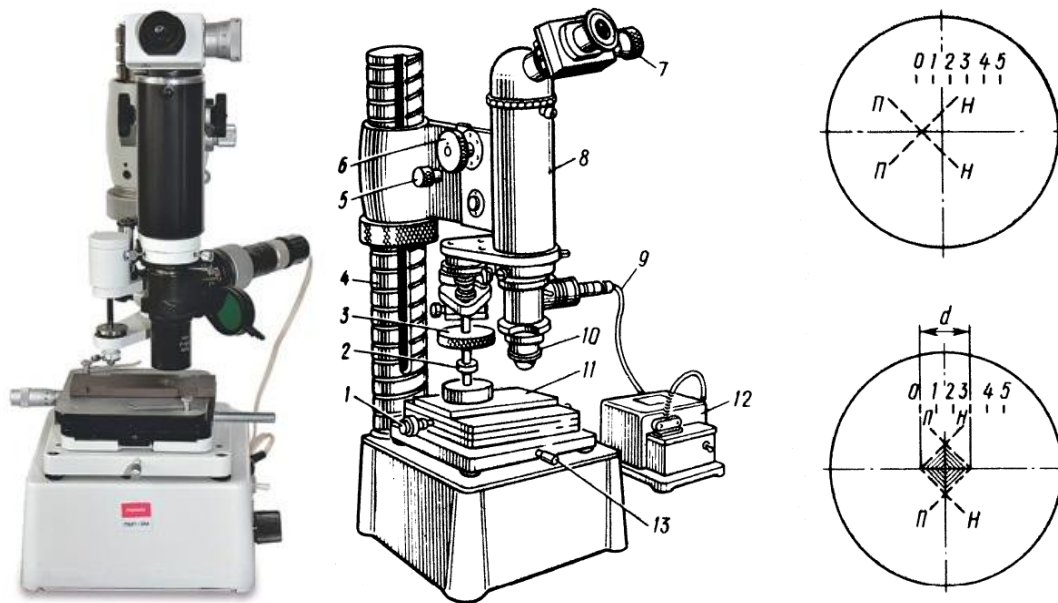


Рисунок 13 – Зовнішній вигляд мікротвердоміру ПМТ-3: 1 – мікрогвинт; 2 – індентор; 3 – механізм навантаження; 4 – стояк; 5 – механізм мікроподачі; 6 – механізм макроподачі; 7 – окулярний мікрометр; 8 – тубус; 9 – система освітлення; 10 – об’єктив; 11 – предметний столик; 12 – трансформатор; 13 – рукоятка повороту

#### 4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Роботу виконують групами студентів (3–4 особи) з індивідуальним вимірюванням твердості на пропонуваніх зразках. Тарування приладу і перевірку правильності показань приладів виконує викладач за еталонами твердості. Конструкцію твердомірів вивчають безпосередньо на приладах. Таблиці для визначення і переведення чисел твердості одних одиниць в інші розміщують на стаціонарних стендах лабораторії матеріалознавства і в таблиці 5.

Результати роботи студенти захищають індивідуально.

#### 5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Що таке твердість?
- 2 Які існують методи вимірювання твердості?
- 3 Що таке індентор і яким він може бути?

Таблиця 5 – Орієнтовне співвідношення чисел твердості, визначених різними методами

Діаметр відбитка, мм	Під час випробовування вдавлюванням				
	сталеві кульки 10/3 000 на приладі Брінелля, HB	алмазного конуса або сталеві кульки (на приладі Роквелла) за різних навантажень			алмазної піраміди (на приладі Віккерса), H <sub>V</sub>
		1 500 Н (конус) HRC	600 Н (конус) HRA	1 000 Н (кулька), HRB	
1	2	3	4	5	6
2,20	780	72	84	–	1124
2,25	745	70	83	–	1116
2,30	712	68	82	–	1022
2,35	682	66	81	–	941
2,40	653	64	80	–	868
2,45	627	62	79	–	804
2,50	601	60	78	–	746
2,55	578	58	78	–	694
2,60	555	56	77	–	650
2,65	534	54	76	–	606
2,70	514	52	75	–	587
2,75	495	50	74	–	551
2,80	477	49	74	–	534
2,85	461	48	73	–	502
2,90	444	46	73	–	474
2,95	429	45	72	–	460
3,00	415	43	72	–	435
3,05	401	42	71	–	423
3,10	388	41	71	–	401
3,15	375	40	70	–	390
3,20	363	39	70	–	380
3,25	352	38	69	–	361
3,30	341	36	68	–	344
3,35	331	35	67	–	334
3,40	321	33	67	–	320
3,45	311	32	66	–	311
3,50	302	31	66	–	303
3,55	293	30	65	–	292
3,60	285	29	65	–	285
3,65	277	28	64	–	278
3,70	269	27	64	–	270
3,75	262	26	63	–	261
3,80	255	25	63	–	255
3,85	248	24	62	–	240
3,90	241	23	62	102	240
3,95	235	21	61	101	235
4,00	229	20	61	100	228
4,05	223	19	60	99	222
4,10	217	17	60	98	217

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6
4,15	212	15	59	97	213
4,20	207	14	59	95	208
4,25	201	13	58	94	201
4,30	197	12	58	93	197
4,35	192	11	57	92	192
4,40	187	9	57	91	186
4,45	183	8	56	90	183
4,50	179	7	56	90	178
4,55	174	6	55	89	174
4,60	170	4	55	88	171
4,65	167	3	54	87	166
4,70	163	2	53	86	162
4,75	159	1	53	85	159
4,80	156	0	52	84	155
4,85	152	–	–	83	152
4,90	149	–	–	82	149
4,95	146	–	–	81	148
5,00	143	–	–	80	143
5,05	140	–	–	79	140
5,10	137	–	–	78	138
5,15	134	–	–	77	134
5,20	131	–	–	76	131
5,25	128	–	–	75	129
5,30	126	–	–	74	127
5,35	123	–	–	73	123
5,40	121	–	–	72	121
5,45	118	–	–	71	118
5,50	116	–	–	70	116
5,55	114	–	–	68	115
5,60	111	–	–	67	113
5,65	109	–	–	66	110

4 Назвіть основні вузли твердоміра Брінелля.

5 За якими умовами вибирають вантаж і діаметр кульки?

6 Як позначається твердість, визначена методом Брінелля?

7 При яких методах вимірювання твердості користуються індентором – кулькою?

8 Які навантаження застосовують під час вимірювання твердості за методом Брінелля?

9 Які навантаження застосовуються під час вимірювання твердості за методом Роквелла?

10 Назвіть індентори приладу ТК.

11 Як позначають числа твердості за Роквеллом і Брінеллем?

12 Назвіть основні вузли твердоміра Роквелла.

13 Як позначають твердість, визначену методом Роквелла?

14 Як встановлюють попереднє й основне навантаження?

15 При яких методах вимірювання твердості використовують алмазні пірамідки?

16 Який метод вимірювання твердості застосовують під час дослідження фазового і структурного складу сплавів?

17 Як перевести числа твердості HRC у HRA, HB, HV?

18 Які навантаження застосовують під час вимірювання мікротвердості?

19 Як підготувати зразок для вимірювання мікротвердості?

## 6.2 Практична робота 2

### «АНАЛІЗ ДІАГРАМ СТАНУ ПОДВІЙНИХ СИСТЕМ»

(тривалість роботи – 2 години)

#### 1 МЕТА РОБОТИ

- 1 Навчитися робити аналіз діаграм стану різних типів.
- 2 Навчатися визначати наявність фаз та структур у сплавах різного хімічного складу при різних температурах.
3. Навчитися визначати кількість фаз або структурних складових у сплавах.
4. Навчитися визначати перетворення у сплавах.

#### 2 МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Для виконання цієї лабораторної роботи студентам видають рисунки діаграм стану систем різних типів з описанням механізму формування структур типових сплавів у цих системах.

#### 3 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Більшість металевих матеріалів, використовуваних у 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 спеціально додають до основного компонента для зміни структури та властивостей сплаву в 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, що відрізняються від інших. Кількість структурних складових металевої системи часто переважає кількість фаз, оскільки містить усі фази цієї системи, а також їх суміші, що кристалізуються водночас і разом (*евтектика, евтектоїд*). Тому на діаграмах стану наводять не лише 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 лише за дуже малих швидкостей охолодження або тривалого нагрівання. Справжній рівноважний стан у практичних умовах досягається рідко. Здебільшого сплави перебувають у *метастабільному* стані, тобто такому, коли вони мають обмежену стійкість і під впливом зовнішніх факторів набувають інших більш стійких станів. У багатьох випадках метастабільні стани надають сплавам високих механічних чи інших властивостей. Завданням металознавства є встановлення природи метастабільних станів, які забезпечували б оптимальний комплекс властивостей і розроблення режимів термічного або іншого оброблення сплавів, що дозволяли б отримувати ці невірніважені стани. Вихідним положенням під час вирішування таких питань є знання діаграм стану. Саме діаграми стану дозволяють розробити раціональні режими різних видів оброблення матеріалів і реалізувати їх на практиці. З іншого боку, вони дають можливість наукового прогнозу створення матеріалів із потрібними властивостями.

Вивчення будь-якої діаграми стану подвійної системи складається з двох етапів:

- 1) її загального опису;
- 2) аналізу процесу кристалізації типових сплавів.

Доцільно поряд із діаграмою стану зображати аналізовані *криві охолодження* сплавів.

## Основні типи діаграм стану сплавів

### 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. 1 а). Верхня з яких є лінією початку кристалізації будь-якого сплаву цієї системи і називається лінією *ліквідусу* (*liquidus line*). Нижня лінія є лінією кінця кристалізації всіх сплавів і є лінією *солідусу* (*solidus*). Вище від лінії ліквідусу розміщена однофазна область рідкого розчину (P), нижче від лінії солідусу – також однофазна область  $\alpha$ - твердого розчину. Між цими лініями знаходиться двофазна область, де співіснують обидва розчини (P +  $\alpha$ ).

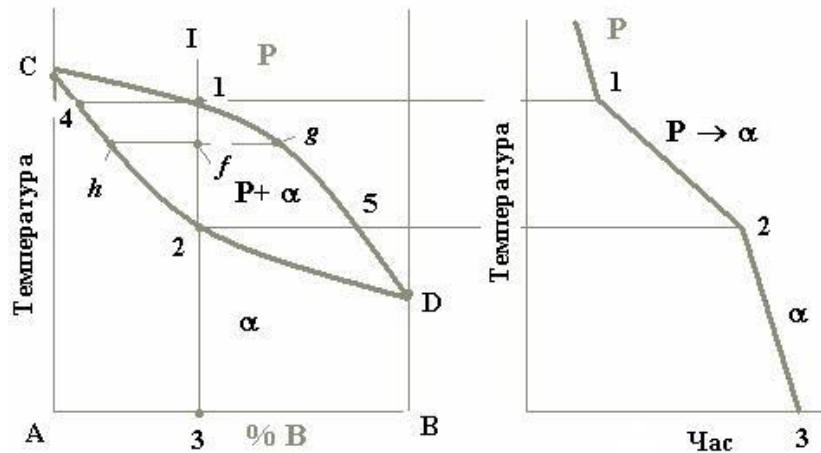


Рисунок 1 – Діаграма стану системи, компоненти якої утворюють неперервний ряд рідких і твердих розчинів (а) та крива охолодження типового сплаву (б)

На діаграмі стану точки C і D є температурами кристалізації відповідно компонентів A і B. Сплав будь-якої концентрації, наприклад сплав I, кристалізуватиметься в інтервалі температур між точками 1 та 2 і після повного охолодження (точка 3) буде мати остаточну структуру із зерен  $\alpha$ -твердого розчину (рис. 2).

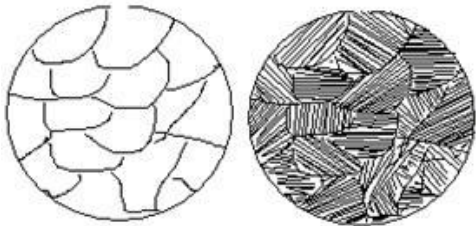


Рисунок 2 – Зображення мікроструктури твердого розчину (сплаву I)

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, що обмежують цю область; проєкції точок перетину на вісь концентрацій показують склад фаз. (Фігуративною точкою (*figurative point*) називається кожна точка в межах креслення діаграми стану. Вона зображає стан сплаву певного хімічного складу за певної температури).

У 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, й їх відносну та 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 перебувають рідина складу точки  $g$  і  $\alpha$ -фаза концентрації точки  $h$ . У цьому разі:

$$\%P = \frac{hf}{hg} \cdot 1, \quad \% \alpha = \frac{fg}{hg} \cdot 1.$$

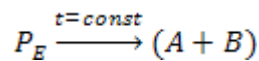
Якщо скористатися цим правилом під час аналізування процесу кристалізації сплаву I, то виявляється, що з рідини концентрації точки 1 виділяються кристали  $\alpha$ -фази концентрації точки 4, тобто зовсім іншого складу.

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

У нашому випадку таким компонентом є А, отже, за будь-якої температури  $\alpha$ -фаза щодо рідкого розчину збагачена саме ним. У разі зниження температури склад рідини змінюється вздовж лінії ліквідусу від точки 1 до точки 5, а склад  $\alpha$ -фази – по лінії солідусу від точки 4 до точки 2 (1).

## 2 Діаграми стану систем із відсутністю взаємної розчинності компонентів у твердому стані

У діаграмах стану такого типу додавання як компонента В до компонента А, так і навпаки компонента А до компонента В спричинює зниження температур кристалізації сплавів. Із цієї причини лінія ліквідусу такої системи (рис. 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 чи іншого компонента (CE – компонента А, DE – компонента В), так і лінією граничного насичення рідкого розчину відповідними компонентом: на лінії CE рідина гранично насичена компонентом А і в разі подальшого зниження температури відбувається його кристалізація; на лінії ED – компонентом В, який теж буде кристалізуватися під час подальшого охолодження. Точка E є спільною для обох кривих, отже, рідина такого складу гранично насичена обома компонентами, вони й будуть кристалізуватися одночасно і разом:



(читається так: рідина складу точки E перетворюється за постійної температури на суміш двох фаз, тобто компонентів А і В).

Суміш двох твердих фаз, що кристалізуються одночасно і разом із рідини певного складу, називається *евтектикою (eutectic)*.

У кристалізації евтектики беруть участь три фази і, згідно з правилом фаз, система є нонваріантною ( $c = k - f + 1$ ,  $c = 2 (A, B) + 3 (P, A, B) + 1 = 0$ ), тобто кристалізація евтектики відбувається за постійної температури, що й бачимо на кривих охолодження.

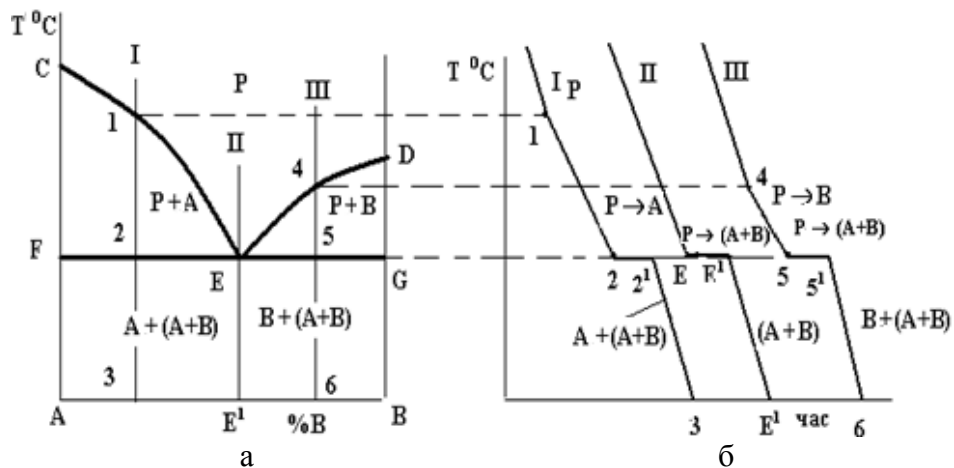


Рисунок 3 – Діаграма стану (а) і криві охолодження (б) системи з відсутністю взаємної розчинності компонентів у твердому стані



Під час кристалізації будь-якого сплаву цієї системи склад рідини буде змінюватися вздовж лінії ліквідусу до евтектичної точки Е, тобто кристалізація всіх сплавів закінчується утворенням евтектики. Оскільки це відбувається за постійної та однакової для всіх сплавів температури, то лінія солідусу цієї системи є горизонтальною прямою FEG, що називається **лінією евтектичного перетворення**.

Евтектична точка Е поділяє всі сплави на **доевтектичні** (ліворуч від точки Е) та **заевтектичні** (праворуч від точки Е). Як окрему групу виділяють **евтектичний** сплав (на рис. 3 а, сплав II).

Розглянемо процеси кристалізації типових сплавів цієї системи. Доевтектичний сплав I кристалізується двома етапами. На першому в інтервалі температур 1–2 з рідини кристалізуються первинні кристали компонента (фази) А; потім у точці 2 рідина, що залишилася, закристалізується у вигляді евтектики. Отже, нижче від 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 а). Кількісний склад цих складових може бути визначений за правилом важеля. Так, кількість евтектики дорівнює відношенню довжини відрізка А-3 до довжини коноди А-Е<sup>1</sup>, а кількість фази А (компонента А) - відношенню довжини відрізка 3-Е<sup>1</sup> до довжини А-Е<sup>1</sup>, тобто

$$\%A = \frac{3-E^1}{A-E^1} \cdot 1, \quad \%E = \frac{A-3}{A-E^1} \cdot 1.$$

Евтектичний сплав II має лише один етап кристалізації – утворення евтектики і, таким чином, одну структурну складову – евтектику (рис. 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 в).

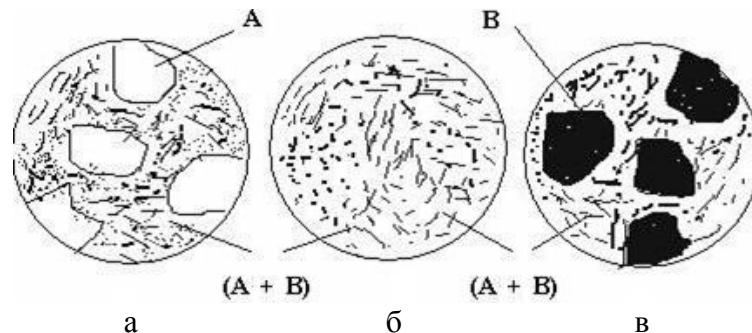


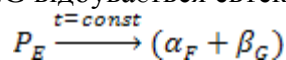
Рисунок 4 – Схеми мікроструктур доевтектичного (а), евтектичного (б) та заевтектичного (в) сплавів

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

Такі типи систем найчастіше мають місце в металевих сплавах. Під час утворення обмежених твердих розчинів трапляються два типи діаграм стану: з **евтектичним** і з **перитектичним** перетворенням.

#### 3.1 Діаграма стану систем з утворенням обмежених твердих розчинів і евтектичним перетворенням

Лінією ліквідусу на цій діаграмі (рис. 5) є лінія CED, а лінією солідусу – лінія CFEGD. На горизонтальній частині цієї лінії FEG відбувається евтектичне перетворення:



(читається так: рідина складу точки Е за сталої температури перетворюється на суміш двох фаз:  $\alpha$ -твердого розчину складу точки F і  $\beta$ -твердого розчину складу точки G), де  $\alpha$  і  $\beta$  – обмежені тверді розчини компонента В у компоненті А ( $\alpha$ ) і компонента А в компоненті В ( $\beta$ ).



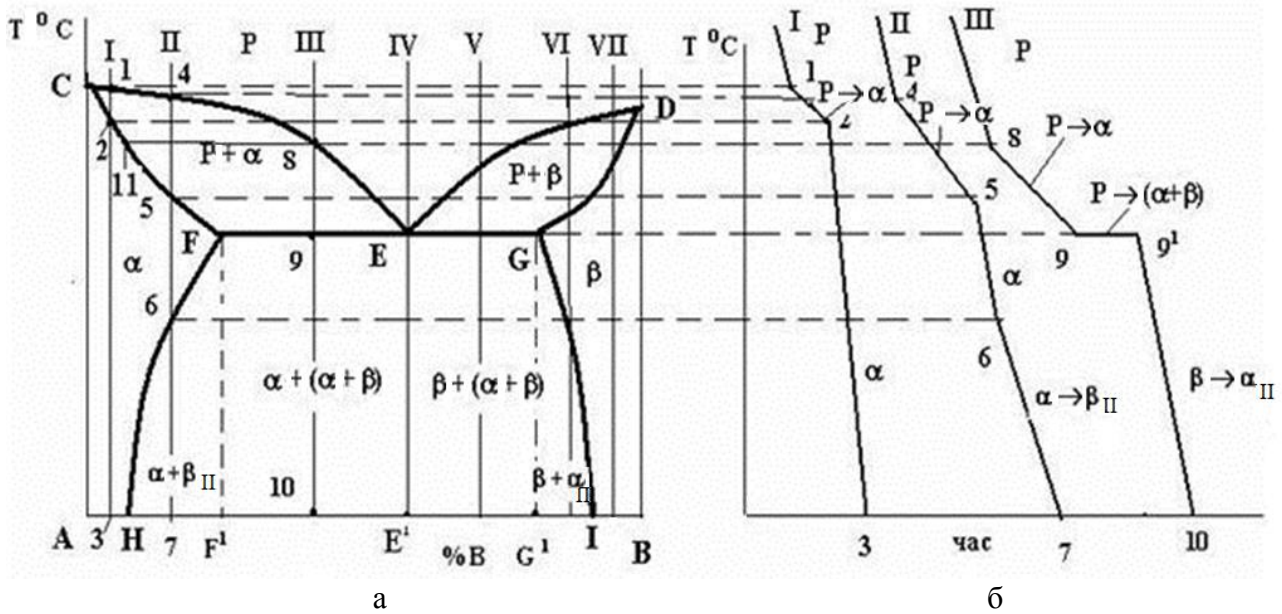


Рисунок 5 – Діаграма стану (а) і криві охолодження (б) системи з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані з евтектичним перетворенням

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  $\alpha$ -твердому розчині. Відповідно лінія  $GI$  є граничним умістом компонента  $A$  в  $\beta$ -твердому розчині. З положення цих ліній видно, що взаємна розчинність компонентів зі зниженням температури зменшується.

Зазначені лінії діаграми ділять її площу на 3 однофазні та 3 двофазні області. До однофазних належать область рідкого розчину (вище від лінії ліквідусу  $CED$ ), область  $CFHA$   $\alpha$ -фази і область  $DGIB$   $\beta$ -фази. Двофазними є області  $CEF$  і  $DEG$ , в яких відбувається кристалізація первинних кристалів відповідно  $\alpha$ - і  $\beta$ -твердих розчинів, а також область існування двох твердих розчинів  $\alpha$  і  $\beta$  –  $HFGI$ . У 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  $\alpha$ - чи  $\beta$ -тверді розчини, ці тверді розчини під час подальшого охолодження до температур ліній сольвусів  $FH$  чи  $GI$  стають насиченими, а нижче цих ліній – перенасиченими. 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 частинок або суцільних прошарків (рис. 6).

Як приклад розглянемо процеси кристалізації двох сплавів  $II$  і  $III$ . Первинна кристалізація сплаву  $II$  відбувається в інтервалі температур 4–5, де вся рідина закрystalізовується у вигляді  $\alpha$ -твердого розчину. До точки 6, розміщеної на лінії сольвусу  $FH$ , цей розчин є ненасиченим компонентом  $B$ , у точці 6 він стає гранично насиченим, а нижче від неї – перенасиченим і в разі подальшого його охолодження до точки 7 із нього виділяється надлишковий елемент – компонент  $B$  у вигляді  $\beta$ -твердого розчину (рис. 6).

Таку остаточну структуру мають усі сплави в області  $FHF_1$ -діаграми. Оскільки вторинна кристалізація відбувається у твердому стані за невисоких температур, дифузія проходить досить повільно, і вторинна кристалізація за описаним механізмом може відбутися досить повно лише в умовах дуже повільного охолодження.

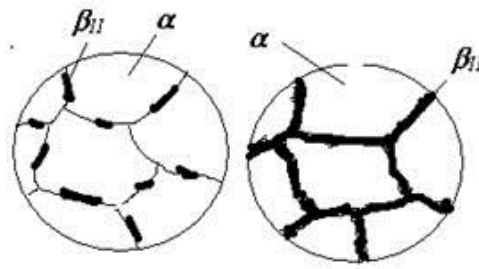
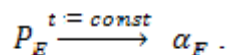


Рисунок 6 – Схеми мікроструктури сплаву II (рис. 5)

За реальних умов кристалізації зберігається певне перенасичення  $\alpha$ -фази компонентом В. Але перенасичений твердий розчин є нестійким і в подальшому доволіно розпадається, що супроводжується істотною зміною властивостей сплаву, насамперед механічних: підвищенням твердості та міцності, зниженням пластичності й в'язкості. Таке явище називають *старіння* або *дисперсійне тверднення*, яке широко використовується під час термічного оброблення кольорових металів, зокрема алюмінієвих сплавів.

Аналогічно відбувається кристалізація сплавів, що знаходяться між точками G та I (наприклад, сплаву VI). Лише в цих сплавах перенасиченим розчином є  $\beta$ -твердий розчин і з нього виділяється під час охолодження нижче від лінії GI надлишковий компонент А у вигляді  $\alpha$ -твердого розчину.

Кристалізація сплаву III відбувається трьома етапами. На першому з них, в інтервалі температур 8–9, із рідини виділяються первинні кристали  $\alpha$ -фази. Склад рідини водночас змінюється вздовж лінії ліквідусу від точки 8 до евтектичної точки E, а склад  $\alpha$ -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  $\alpha$ -твердого розчину з виділенням вторинних кристалів  $\beta_{II}$ . Водночас відбувається розпад  $\beta$ -твердого розчину, що входить до складу евтектики, з виділенням вторинних кристалів  $\alpha_{II}$ . Але вторинні кристали  $\alpha_{II}$  і  $\beta_{II}$  не утворюють нових окремих структурних складових, а виділяються на вже існуючих тих самих фазах евтектики. Тому остаточна структура цього сплаву III, як і будь-якого іншого доевтектичного сплаву, має всього дві складові: первинні кристали  $\alpha$ -фази та евтектику ( $\alpha + \beta$ ), як показано на рисунку 7.

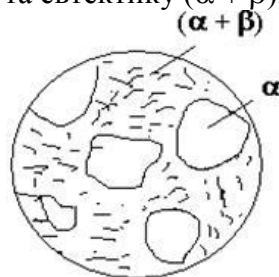


Рисунок 7 – Схема мікроструктури сплаву доевтектичного складу

Кристалізація будь-якого заевтектичного сплаву відбувається аналогічно, лише  $\alpha$ - і  $\beta$ -фази міняються місцями.

### 3.2 Діаграми стану з перитектичним перетворенням

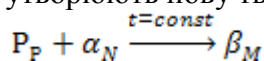
Цей варіант діаграми (рис. 8) реалізується тоді, коли температури кристалізації компонентів дуже відрізняються.

Лінія ліквідусу – CPD, солідусу – CNMD, сольвусу – NR I MQ.

Діаграма має три однофазні області: рідкого розчину (вище від лінії ліквідусу),  $\alpha$ -фази

(ACNRA),  $\beta$ -фази (QMDBQ) та три двофазні – рідини та кристалів  $\alpha$  (CNPC), рідини та кристалів  $\beta$  (MPDM), кристалів  $\alpha$ - і  $\beta$ -твердих розчинів (RNMQR). В останній області можна виділити окремо області  $RNN^1R$  з  $\alpha$ -фазою та вторинними кристалами  $\beta_{II} - (\alpha + \beta_{II})$  і  $MQM^1M$  із вторинними кристалами  $\alpha_{II} - (\beta + \alpha_{II})$ .

На лінії NMP відбувається *перитектичне перетворення*: рідина та кристали, що раніше виділилися з неї, у взаємодії між собою утворюють нову тверду фазу:



(читається так: рідина складу точки P і кристали  $\alpha$ -фази складу точки N перетворюються за сталої температури на кристали  $\beta$ -фази складу точки M). Остання реакція перитектичного перетворення відбувається з повним використанням двох вихідних фаз лише для одного сплаву – складу точки  $M^1$ . 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  $\alpha$ -фаза, а для сплавів між точками M і P (наприклад, сплавів IV і V) надлишковою фазою буде рідина.

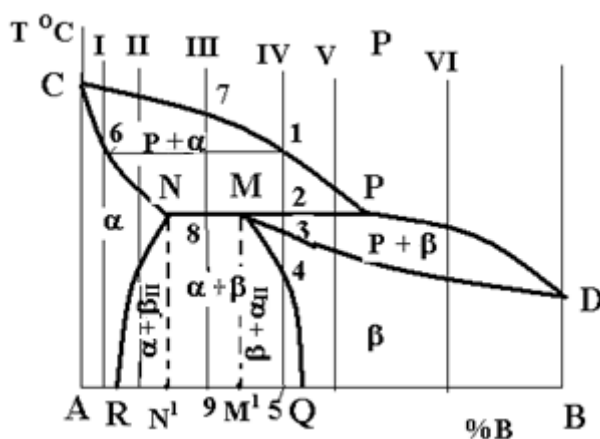


Рисунок 8 – Діаграма стану системи з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані і перитектичним перетворенням

Структура сплаву III після повного охолодження складатиметься з кристалів  $\beta$ -фази, що утворилися під час перитектичного перетворення, та кристалів  $\alpha$ -фази, що вціліли за перитектичного перетворення (рис. 9 а). Під час охолодження цього сплаву від точки 8 до точки 9 із 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.

У сплаві IV під час охолодження від точки 1 до точки 2 з рідини виділяються первинні кристали  $\alpha$ -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 NP фази такого складу взаємодіють між собою за перитектичною реакцією з утворенням  $\beta$ -фази. Після перитектичного перетворення в точці 2 залишиться в надлишку рідка фаза і під час охолодження від точки 2 до точки 3 з неї виділяються вже первинні кристали  $\beta$ -твердого розчину. Під час охолодження сплаву IV від точки 3 до точки 4 матимемо однофазовий  $\beta$ -твердий розчин, в якому ніяких змін не буде. У точці 4  $\beta$ -твердий розчин стає гранично насиченим компонентом A і за подальшого його охолодження в інтервалі температур 4–5 відбувається вторинна кристалізація з виділенням кристалів  $\beta_{II}$  (рис. 9 б).

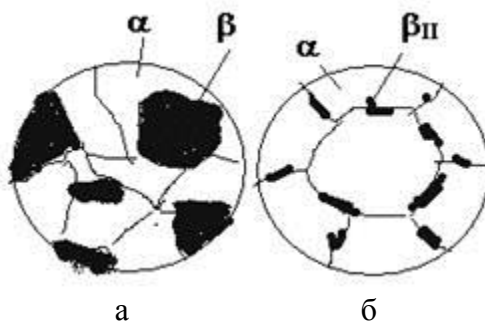


Рисунок 9 – Схеми мікроструктур сплавів III (а) і IV (б) (рис. 8)

#### 4 Діаграми стану систем із хімічними сполуками

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

Конкретний вигляд діаграми визначається взаємодією її компонентів, передусім розчинністю їх у твердому стані, а також наявністю певних перетворень. Водночас хімічна сполука розглядається як окремий компонент. На рисунку 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 –  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -фаз.

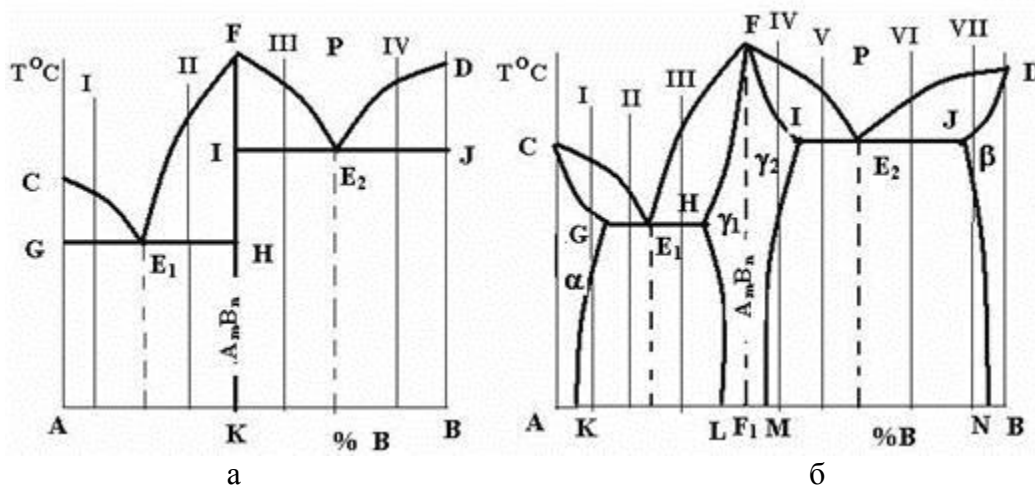


Рисунок 10 – Діаграми стану систем із хімічними сполуками

Систему, діаграма стану якої зображена на рисунку 10 а, можна розглядати як сукупність двох систем з компонентами А і  $A_mB_n$  та В і  $A_mB_n$ . Ці дві системи розділені вертикаллю FK. У кожній з підсистем утворюється власна евтектика –  $E_1$  як суміш двох фаз – (А +  $A_mB_n$ ) і  $E_2$  (В +  $A_mB_n$ ). Кристалізація і формування структур, наприклад, сплавів I, II, III, IV відбувається аналогічно тим, які розглянули на рисунку 3 цієї роботи.

Для систем, діаграма стану яких показана на рисунку 10 б, характерним є утворення обмежених твердих розчинів: твердого розчину хімічної сполуки  $A_mB_n$  у компоненті А –  $\alpha$ -фази; твердого розчину хімічної сполуки в компоненті В –  $\beta$ -фази та твердих розчинів компонентів А і В у хімічній сполуці – відповідно  $\gamma_1$ - і  $\gamma_2$ -фази. Зазвичай ці тверді розчини  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  розглядаються як один твердий розчин –  $\gamma$ -фаза. Тому на діаграмі (рис. 10 б) область FIMLHF розглядається як однофазова з твердим розчином  $\gamma$ . Пунктирна лінія  $FF^1$  ділить цю область на дві частини: ліворуч від неї  $\gamma$ -фазу можна вважати твердим розчином компонента А в хімічній сполуці  $A_mB_n$ , праворуч – твердим розчином компонента В у цій самій сполуці.

Евтектики в цій системі складаються із суміші кристалів твердих розчинів:  $E_1(\alpha + \gamma)$ ,  $E_2(\gamma + \beta)$ .

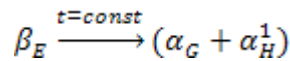
Кристалізація сплавів і формування остаточних структур у цій системі відбувається аналогічно розглянутих на рисунку 5 цієї роботи.

### 5 Діаграми стану систем з поліморфними компонентами

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

Конкретний вигляд діаграми стану визначається не лише взаємодією компонентів, а й 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 лише одну систему, в якій обидва компоненти є поліморфними і їх високотемпературні модифікації ( $A_\beta$  і  $B_\beta$ ) утворюють неперервний ряд  $\beta$ -твердих розчинів (рис. 11), а низькотемпературні  $A_\alpha$  і  $B_\alpha$  – обмежені  $\alpha$ - і  $\alpha^1$ -тверді розчини.

Лінії KE і EL, на яких починається перетворення  $\beta$ -твердого розчину, перетинаються в одній точці E, яку називають *евтектоїдною*, а лінію GEN – лінією *евтектоїдного перетворення*:



(читається так: твердий розчин  $\beta$  – складу точки E розкладається за сталої температури на суміш двох фаз – твердого розчину  $\alpha$  – складу точки G і твердого розчину  $\alpha^1$  – складу точки H).

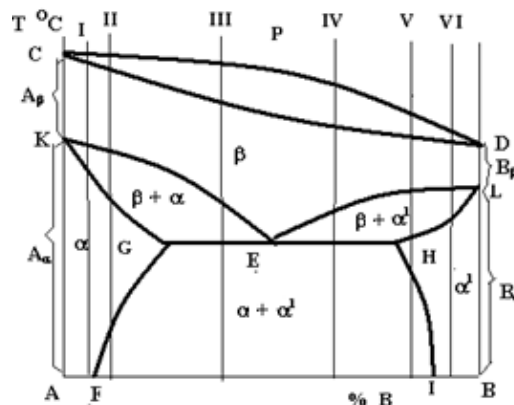


Рисунок 11 – Діаграма стану системи, компоненти якої мають поліморфні перетворення

Лінії GF і HI на діаграмі стану є лініями сольвусу. Сплави в інтервалі між точками G і E називають доевтектоїдними, а сплави в інтервалі між точками E і H – заевтектоїдними. Схеми структур цих сплавів зображаються аналогічно до тих, що зображені на рисунку 4.

### Зв'язок між властивостями сплаву і діаграмою стану

Між властивостями сплаву та діаграмами стану існує певний зв'язок (рис. 12). Під час утворення механічних сумішей властивості сплавів (твердість, міцність, електроопір) змінюються за лінійним законом. Діаграма стану сплавів із хімічною сполукою мають характерний злам на кривій властивостей. Під час утворення твердих розчинів властивості змінюються за криволінійним законом із максимумом і мінімумом.

Технологічні властивості сплаву залежать від виду діаграми стану: зі збільшенням відстані між лініями ликвідус і солідус збільшується тривалість кристалізації, схильність сплаву до ліквідації (неоднорідність за хімічним складом), утворення тріщин у виливках, також зростає пористість. Кращі ливарні сплави – евтектичні. Їх легше обробляти різанням. Сплави, що складаються з однофазового твердого розчину, легко деформуються в гарячому і холодному станах.

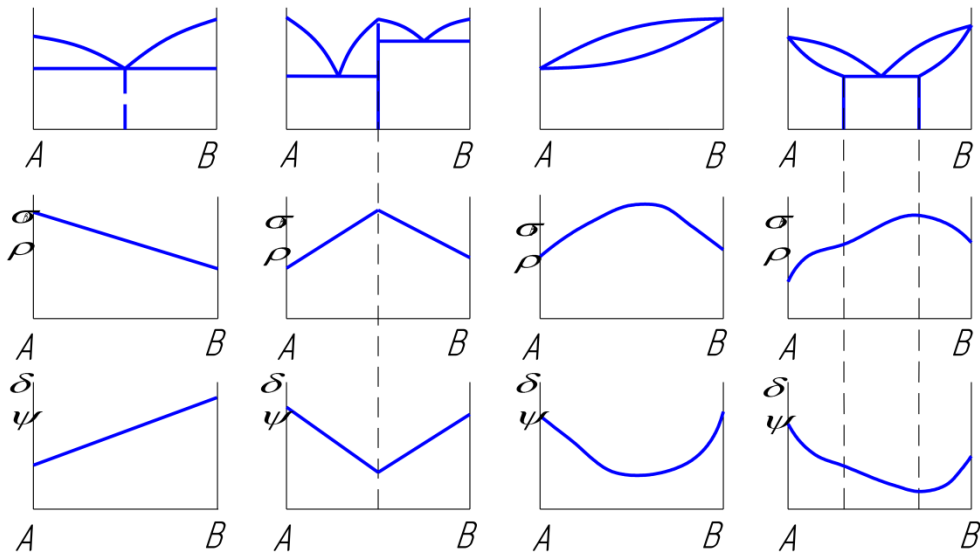


Рисунок 12 – Залежність між діаграмами стану і властивостями сплавів

Діаграми стану дозволяють вибрати сплав для конкретних деталей і призначити вид оброблення для отримання необхідної структури і властивостей сплаву.

#### 4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 1 Уважно вивчити теоретичний матеріал.
- 2 Зробити аналіз діаграми стану згідно з варіантом із таблиці 1.

Таблиця 1 – Варіанти індивідуальних завдань

Номер варіанта	Рисунок	Сплав	Точка	Номер варіанта	Рисунок	Сплав	Точка
1	6.2.13 а	20 % В	<i>a</i>	19	6.2.13 и	40 % А	<i>a</i>
2	6.2.13 а	60 % В	<i>b</i>	20	6.2.13 и	85 % А	<i>b</i>
3	6.2.13 б	30 % В	<i>a</i>	21	6.2.13 і	15 % А	<i>a</i>
4	6.2.13 б	80 % В	<i>b</i>	22	6.2.13 і	60 % А	<i>b</i>
5	6.2.13 в	30 % В	<i>a</i>	23	6.2.13 ї	70 % А	<i>a</i>
6	6.2.13 в	60 % В	<i>b</i>	24	6.2.13 ї	20 % А	<i>b</i>
7	6.2.13 г	30 % В	<i>a</i>	25	6.2.13 й	20 % А	<i>a</i>
8	6.2.13 г	80 % В	<i>b</i>	26	6.2.13 й	50 % А	<i>b</i>
9	6.2.13 д	40 % В	<i>a</i>	27	6.2.13 к	30 % А	<i>a</i>
10	6.2.13 д	70 % В	<i>b</i>	28	6.2.13 к	60 % А	<i>b</i>
11	6.2.13 е	40 % В	<i>a</i>	29	6.2.13 л	25 % А	<i>a</i>
12	6.2.13 е	70 % В	<i>b</i>	30	6.2.13 л	60 % А	<i>b</i>
13	6.2.13 є	20 % В	<i>a</i>	31	6.2.13 м	60 % А	<i>a</i>
14	6.2.13 є	80 % В	<i>b</i>	32	6.2.13 м	30 % А	<i>b</i>
15	6.2.13 ж	20 % В	<i>a</i>	33	6.2.13 н	100 % А	<i>a</i>
16	6.2.13 ж	70 % В	<i>b</i>	34	6.2.13 н	20 % А	<i>b</i>
17	6.2.13 з	10 % В	<i>a</i>	35	6.2.13 о	0 % А	<i>a</i>
18	6.2.13 з	40 % В	<i>b</i>	36	6.2.13 о	50 % А	<i>b</i>

3 Побудуйте діаграму стану;

а) дати загальне означення заданої системи, зображеної на рисунку 13;



- б) позначити лінії діаграми великими латинськими літерами;
- в) зазначити характерні лінії діаграми (ліквідус, солідус, сольвус, евтектичного перетворення тощо);
- г) зазначити фазовий склад у кожній області діаграми;
- д) дати визначення кожної фази діаграми;
- е) для заданого сплаву (див. табл. 1) побудувати криву охолодження, підтвердити правильність побудови за допомогою правила фаз Гіббса;
- є) схематично побудуйте структуру заданого сплаву за кімнатної температури;
- ж) визначити відсоткове співвідношення фаз у заданому сплаві за заданої температури (див. табл. 1, точка *a* чи *b*);
- з) визначити концентрацію компонентів у кожній фазі заданого сплаву за заданої температури (див. табл. 1, точка *a* чи *b*);
- и) застосувати до діаграми правило Курнакова.

4. Скласти звіт про роботу, в якому повинні бути: рисунок діаграми стану заданої системи (згідно варіанта); лінія сплаву на діаграмі стану; крива охолодження сплаву з рідкого стану до кімнатної температури (поруч із діаграмою стану); опис процесу кристалізації сплаву і перетворень, що відбуваються в сплаві після його кристалізації, тобто у твердому стані, включно до кімнатної температури; розрахунки кількості фаз і структурних складових у сплаві за кімнатної температури; рисунок структури заданого сплаву за кімнатної температури; графічна залежність між діаграмою стану і властивостями сплавів; висновки.

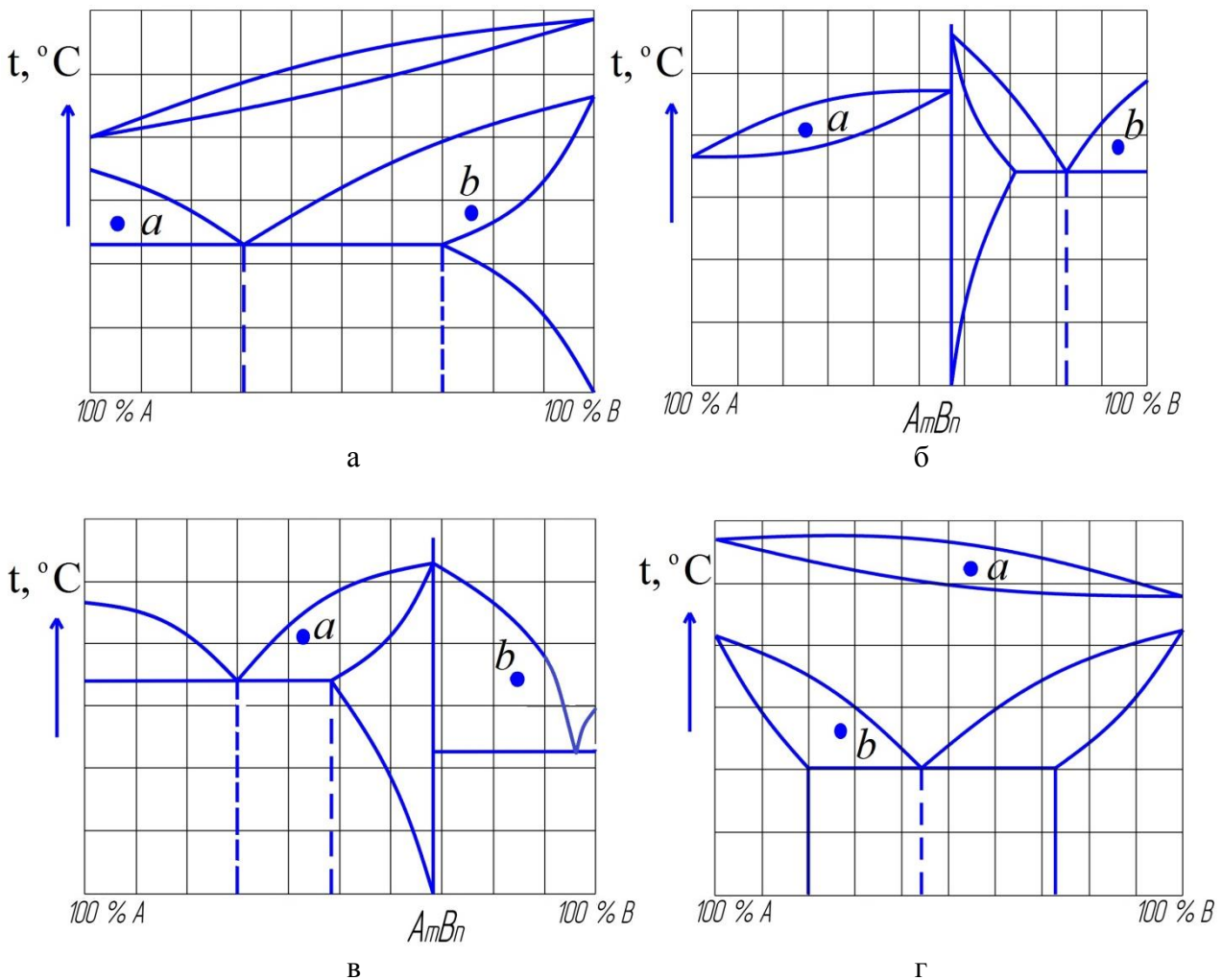
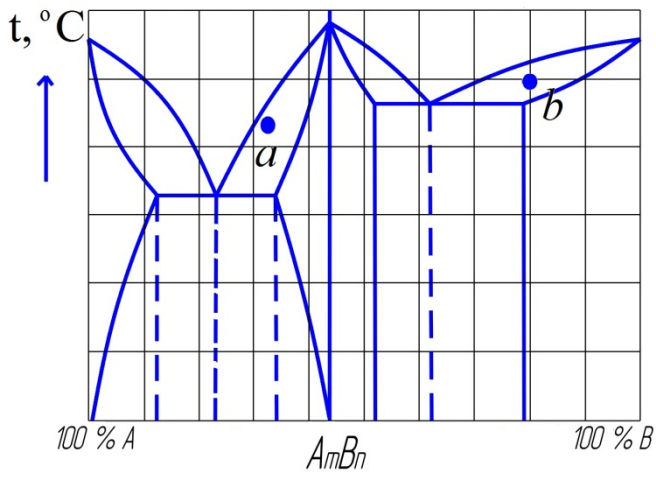
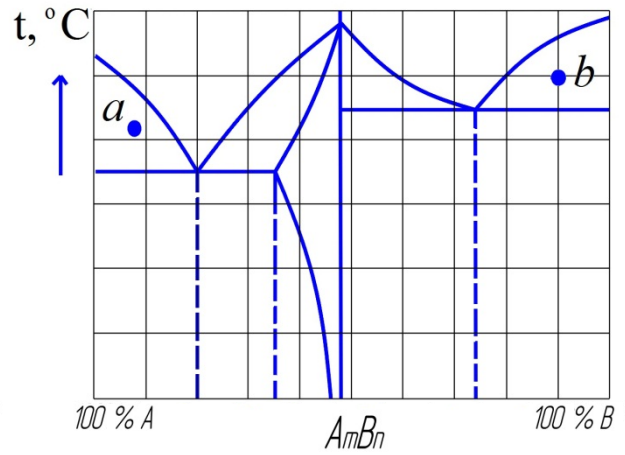


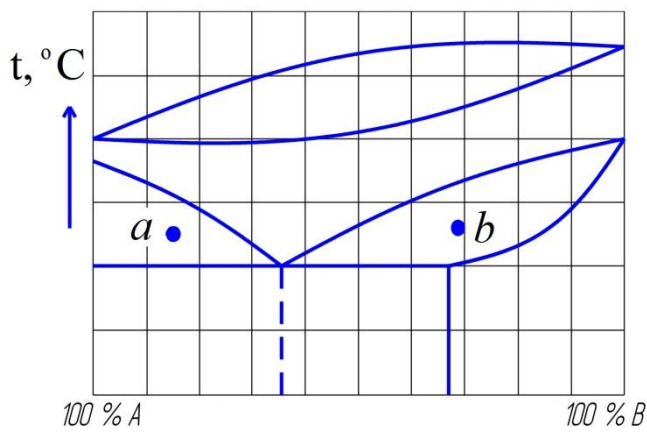
Рисунок 13 – Схеми до виконання індивідуальної роботи



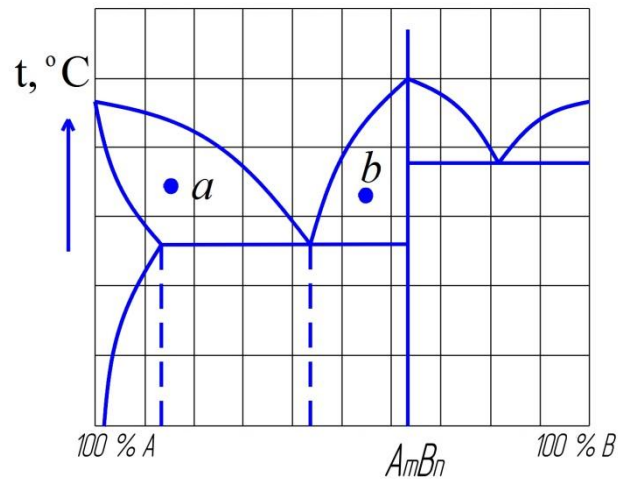
д



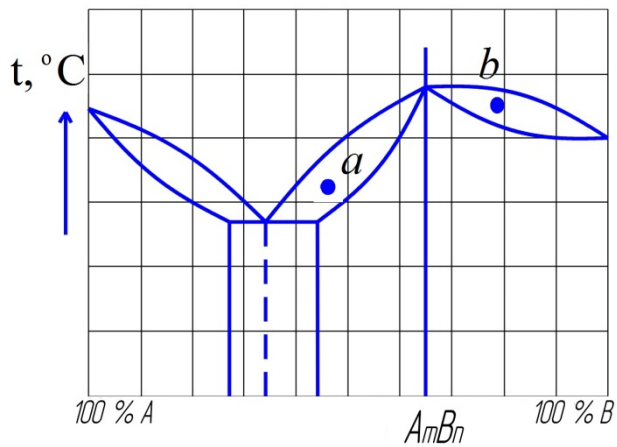
е



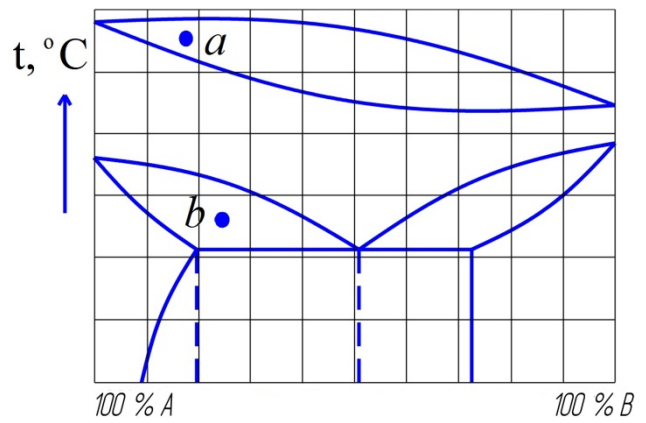
з



ж



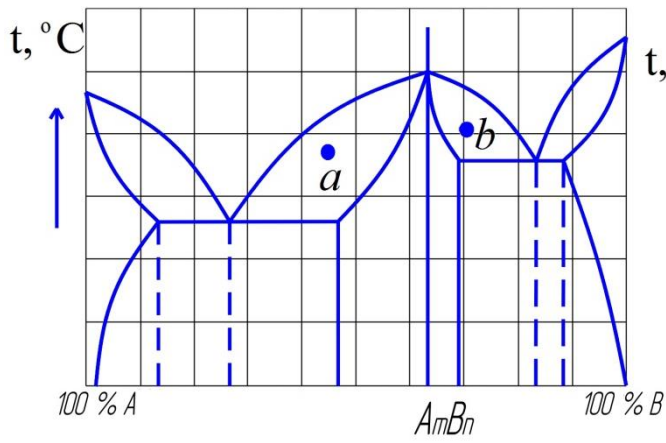
и



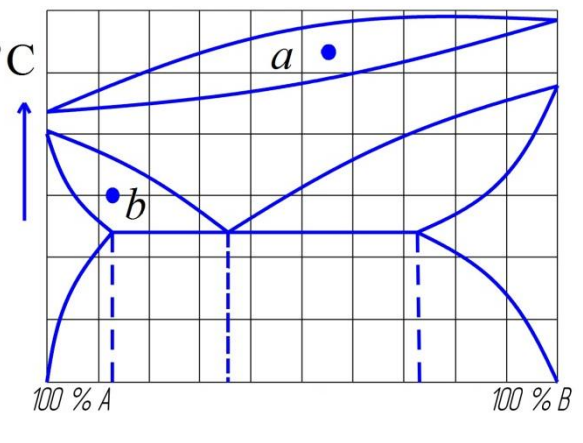
е

Рисунок 13, аркуш 2

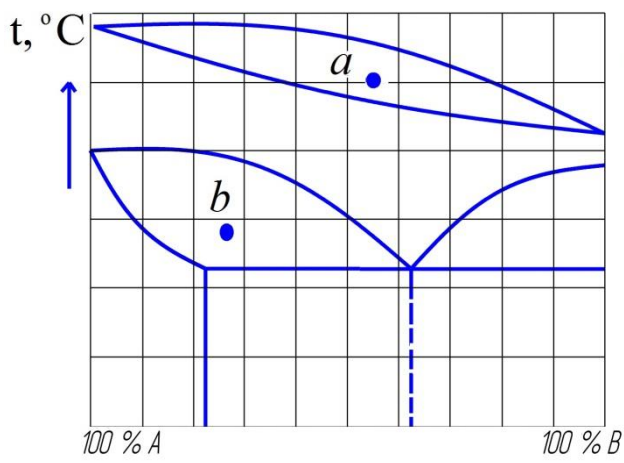




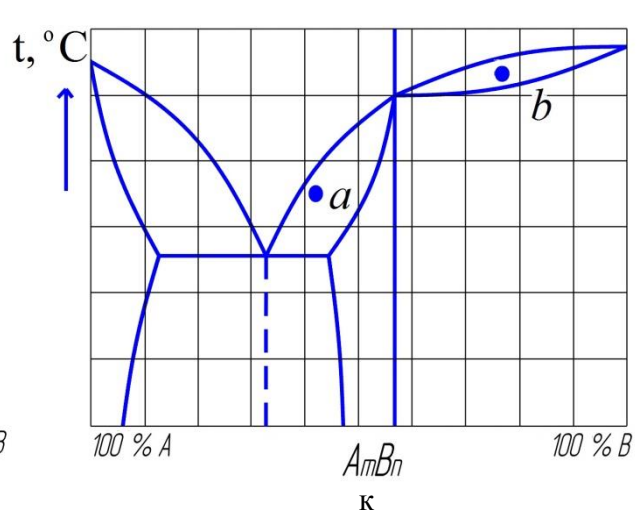
i



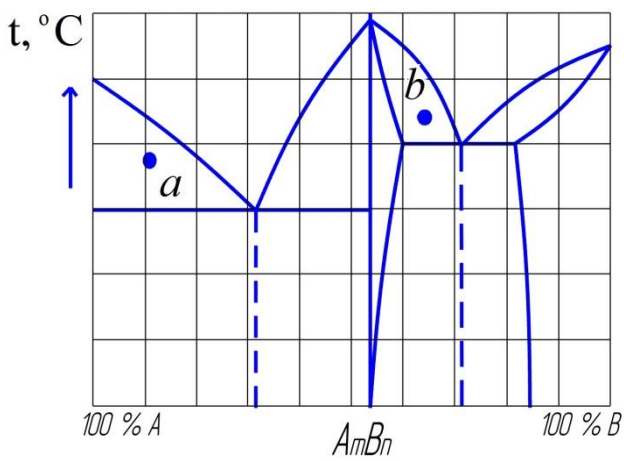
ii



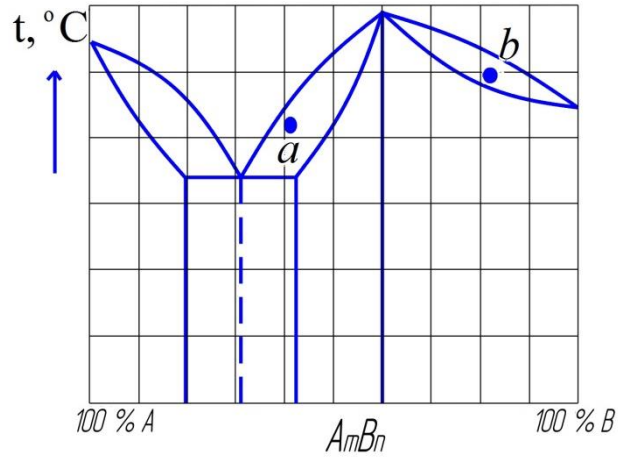
iii



iv



v



vi

Рисунок 13, аркуш 3

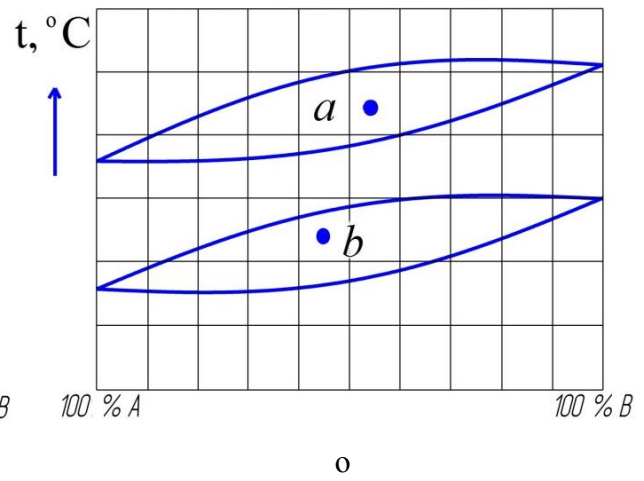
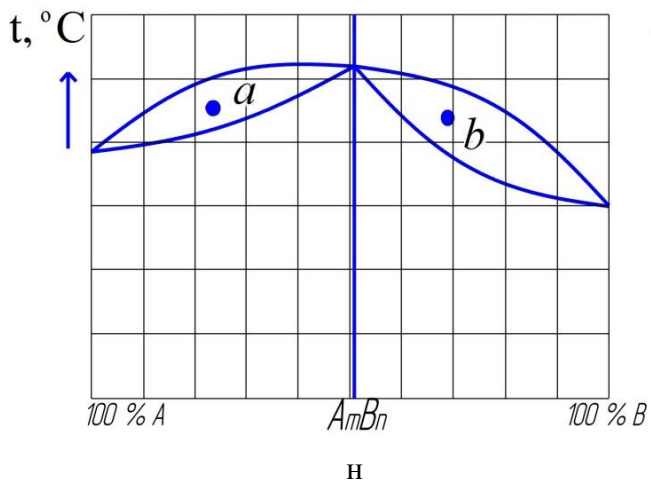


Рисунок 13, аркуш 4

## 7 ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота складається з двох частин: технології конструкційних матеріалів і матеріалознавство. У першій частині студенти зобов'язані відповідно до одержаних завдань описати умови роботи деталі та визначитися з технологією отримання заготовки з неметалевих матеріалів, призначених у завданні. Друга частина завдання на курсову роботу з «Матеріалознавства» має теоретичну і практичну складові. Теоретична складова пов'язана з аналізом діаграми стану «залізо – карбід заліза», практична частина – це вибір найбільш оптимального, відповідно до поставленого завдання, матеріалу для деталі, обґрунтування вибору марки сплаву, призначення й обґрунтування режиму термічного оброблення (при необхідності хіміко-термічного) оброблення.

### 7.1 Завдання до курсової роботи з технології конструкційних матеріалів «Вибір та пояснення технологічного процесу отримання заготовки»

#### Вимоги до виконання

А Відповідно до варіанту (додаток А) для 11-го і 12-го матеріалу в таблиці із завданням:

1 Стисло описати деталь, охарактеризувати умови її роботи.

2 Розшифрувати матеріали. Дати їх характеристику.

3 Призначити та описати спрощений технологічний процес отримання заготовки (моделі заготовки) для кожного з цих матеріалів, беручи до уваги: матеріал, тип виробництва, габаритні розміри. Навести ескіз основної операції.

Б Відповідно до варіанту (додаток А) та умов роботи (пункт 1) обрати з-поміж 1-10-го сплавів найоптимальніший для виготовлення деталі. Вибір повинен бути також економічно обґрунтований:

1 Розшифрувати сплави 1–10.

2 Для вибраного сплаву скласти технологічний процес отримання матеріалу, заготовки. Технологічний процес подати у вигляді таблиці із зазначенням назви етапу, застосованих матеріалів, обладнання. Етапів технології повинно бути не менше ніж 10.

### 7.2 Завдання до курсової роботи з матеріалознавства «Вибір і пояснення матеріалу для виготовлення виробу та термічного (хіміко-термічного) оброблення для нього»

1 Згідно з описаними умовами роботи деталі (пункт 6.1) обґрунтувати вибір марки сплаву. Описати вплив легувальних елементів на властивості сплаву.

2 Призначити й обґрунтувати режим попереднього та остаточного термічного оброблення (при необхідності застосувати хіміко-термічне оброблення). Побудувати графіки термічного оброблення із зазначенням температури нагрівання, тривалості витримки за температури нагрівання, середовища охолодження тощо для кожної операції термічного оброблення (і/або хіміко-термічного оброблення). Представити мікроструктури сплаву із зазначенням структурних складових. Проаналізувати зміну твердості за термічного оброблення (і/або хіміко-термічного оброблення).

3 Зробити висновки.

### 7.3 Завдання «Аналіз діаграми стану залізо – карбід заліза»

Відповідно до варіанта (додаток Б):

- 1 Побудувати діаграму стану «залізо – цементит» на аркуші формату А3 (А4).
- 2 Визначити фазовий склад у кожній області діаграми.
- 3 У пояснювальній записці описати компоненти діаграми (залізо, цементит або/і вуглець), зазначивши основні властивості.
- 4 Позначити на діаграмі й описати основні лінії діаграми – ліквідус, солідус, сольвус, перитектичного, евтектичного та евтектоїдного поретворень.
- 5 Дати визначення кожної фази.
- 6 Нанести на діаграму лінію заданого сплаву (згідно з варіантом).
- 7 Побудувати криву охолодження/нагрівання (згідно з варіантом) заданого сплаву, підтвердити правильність побудови за допомогою правила фаз Гіббса.
- 8 Схематично зарисувати структуру заданого сплаву за кімнатної температури.
- 9 Визначити кількісне співвідношення фаз у заданому сплаві за певної температури (температуру призначає викладач кожному студенту окремо).
- 10 Визначити концентрацію компонентів у кожній фазі заданого сплаву за певної температури.
- 11 Зробити висновки.

### 7.4 Приклад виконання курсової роботи

#### Завдання для виконання курсової роботи

#### Варіант 0

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок 1	1	4Х5МФС	7	12ХН3А
	2	ВК8	8	08Х19Н10Т
	3	Р18Ф2	9	40ХФ
	4	ХВГ	10	БрО8С12
	5	60С2А	11	Нейлон
	6	ШХ15	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** твердість поверхонь 1 та 2 – HRC 45–47.

**Габаритні розміри:** Ø 30 мм × 200 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне.

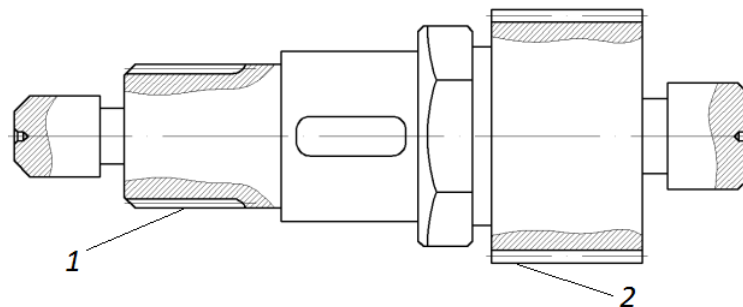


Рисунок 1 – Вал шліцьовий циліндричного редуктора

## Приклад розв'язування частини завдання з технології конструкційних матеріалів «Вибір та пояснення технологічного процесу отримання заготовки»

Вхідні дані

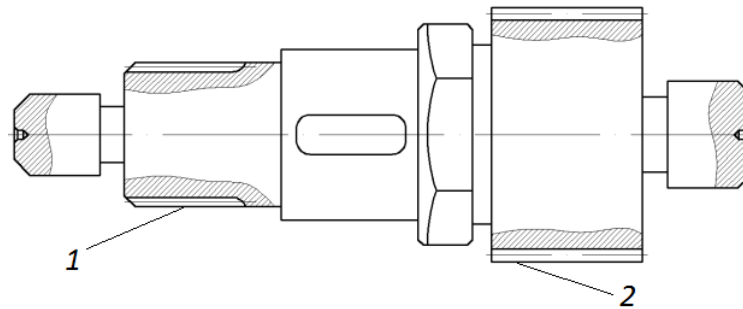


Рисунок 2 – Вал циліндричного редуктора, шліцьовий. Тип виробництва – одиничне, габаритні розміри  $\varnothing 30 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$ . Матеріали – нейлон, текстоліт

**А Вал** – одна з найголовніших деталей машин і механізмів, є тілом обертання, призначений для передавання руху зв'язаним із ним частинам. Вали застосовуються в машинобудівній, металургійній та інших галузях виробництва. Основне призначення вала – передавання моменту обертання. У будь-якому механізмі або агрегаті можна знайти вал. Розташування валів в обладнанні може бути різноманітним, у цьому і полягає особливість цієї деталі, що передавання моменту можливе навіть під кутом  $90^\circ$ .

Залежно від призначення вали можна виготовляти різних розмірів і форм.

Вали відповідно до класифікації розрізняються за формою геометричної осі: ексцентрикові (колінчасті), гнучкі; за формою поділяють на: гладкі, шліцьові, вали з уступами (ступінчасті), порожнисті.

Шліцьове (зубчасте) з'єднання (рис. 3) – з'єднання вала (охоплювальної поверхні) й отвору (охоплювальної поверхні) за допомогою шлиців (пазів) і зубів (виступів), радіально розміщених на поверхні. Воно має велику міцність, забезпечує співвісність вала й отвору, з можливістю осьового переміщення деталі уздовж осі. Такі з'єднання забезпечують точну центральну посадку деталей на вал, що не завжди буває при шпонкових з'єднаннях, і менше послаблюють вал, ніж врізні шпонки. Шліцьове з'єднання може бути рухомим, якщо деталі, насажені на вал, вільно переміщуються вздовж осі вала, і нерухомим, якщо деталі жорстко закріплені на валу.

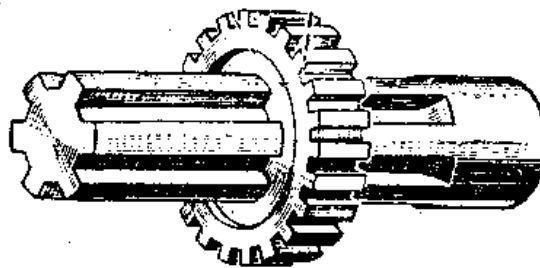


Рисунок 3 – Шліцьове з'єднання

Для передавання обертового моменту вал має шліци, що входять у зачеплення з деталлю, яка знаходиться на валу (наприклад, зубчасте колесо). Шліцьове з'єднання забезпечує можливість осьового зміщення суміжної деталі за безперервності передавання обертового моменту та краще, порівняно зі шпонковим з'єднанням, напрямлення деталей при переміщенні їх уздовж вала.

Умови складання шліцьових з'єднань деталей, особливо щодо досягнення точності відносного кутового положення, дуже жорсткі. Технологічно шліцьові з'єднання складніші від шпонкових, але забезпечують хороше центрування втулки на валу і дозволяють передавати значні обертові моменти, оскільки велика кількість шліць забезпечує меншу концентрацію напружень.

### Вал шліцьовий, нейлон

Нейлон належить до групи пластмас, які називають поліамідами. У їх складі молекул є амідна (-NH-CO-) і метиленова (-CH<sub>2</sub>-) групи. Добре ллються, достатньо міцні, зносостійкі, поглинають вібрацію.

У промисловості нейлон застосовують для виготовлення втулок, вкладишів, плівок і тонких покриттів. Нейлон має низький коефіцієнт тертя і низьку температуру на поверхнях, що труться. Хороші антифрикційні властивості дозволяють застосовувати нейлон у парах тертя без змащення або за недостатнього мастила. Кращим змащувальним матеріалом для композитів на основі нейлону є мінеральні масла, емульсії і вода. За температур до 150 °С на нейлон не впливають мінеральні масла, консистентні мастила. Він не розчиняється в більшості органічних розчинників, не піддається впливу слабких розчинів кислот, лугів і солоної води.

Технологія перероблення термопластів передбачає перероблення у твердому, в'язкотекучому, високоеластичному і рідкому станах.

Для деталі вал в одиничному виробництві раціонально застосувати механічне оброблення напівфабриката з нейлону. Як напівфабрикат обираємо пруток (круг) відповідного діаметра.

Технологія отримання напівфабриката із термопласту – нейлону – це екструзія.

Екструзія – це спосіб перероблення полімерних матеріалів безперервним продавлюванням їх розплаву через формоутворювальну головку, геометрична форма вихідного каналу якої визначає профіль одержуваного виробу або напівфабриката.

Основним обладнанням екструзійного процесу є черв'ячний екструдер (рис. 4), оснащений формувальною головкою.

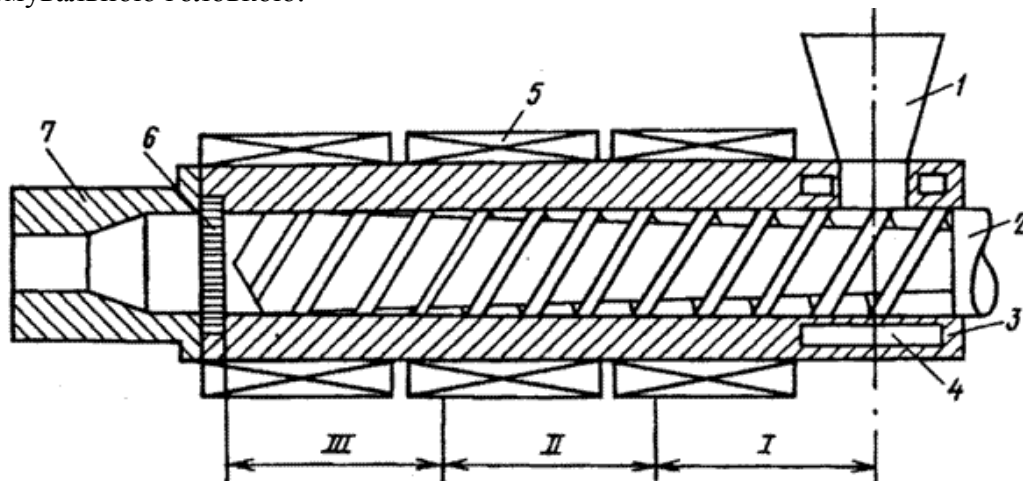


Рисунок 4 – Схема одношнекового екструдера: 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – циліндр; 4 – порожнина для циркуляції води; 5 – нагрівник; 6 – решітка із сітками; 7 – формувальна головка

Технологічний процес екструзії складається з послідовного переміщення матеріалу обертовим шнеком у його зонах: входу (I), пластикації (II), дозування розплаву (III), а потім просування розплаву в каналах формувальної головки.

Найчастіше використовують різні модифікації одно- і двочерв'ячних екструдерів.

### Вал шліцьовий. Текстоліт

**Текстоліт** – це шаровий пластик, одержуваний методом гарячого пресування бавовняної тканини з додаванням полімерної сполучувальної речовини.

Для деталі вал в одиничному виробництві раціонально застосувати механічне оброблення напівфабриката з текстоліту. Як напівфабрикат вибираємо готові стрижні з текстоліту відповідного діаметра.

Стрижні текстолітові електротехнічні круглі являють собою шаруватий пресований матеріал, виготовлений методом намотування і складається з декількох шарів бавовняної тканини, просоченої термореактивним сполучним. Стрижні застосовують як електроізоляційного і конструкційного матеріалу для тривалої роботи в трансформаторному маслі і на повітрі в умовах нормальної відносної вологості за температури від  $-65^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ . Стрижні прекрасно піддаються механічному обробленню і можуть бути використані як втулки, прокладки та інші деталі тертя.

Технологія отримання напівфабриката з текстоліту – це намотування (рис. 5).

Суть методу полягає в такому: тканина з натуральної бавовни (часто використовують також нещільні скляні тканини) просочується термореактивною смолою. Потім її «змотують», поміщають у спеціальну форму і відправляють під гарячий прес.

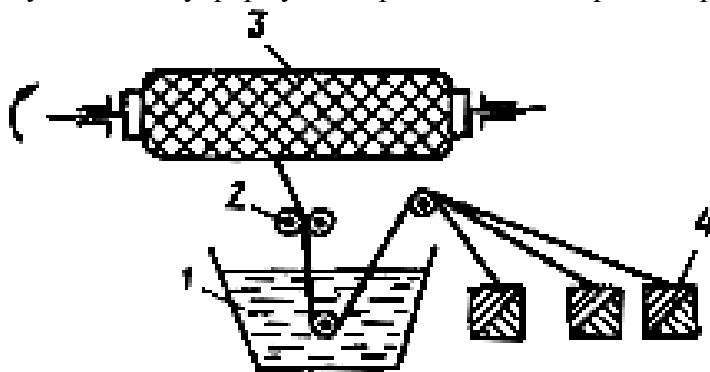


Рисунок 5 – Схема намотування стрижня на машині токарного типу: 1 – ванна зі з'єднувачем; 2 – віджимні валики; 3 – заготовка; 4 – бавовняна тканина, нитки

Смола в даному випадку виконує роль єднальної речовини, що склеює шари тканини, які зі свого боку є армувальним наповнювачем.

Замість термоактивної смоли можуть бути використані й інші сполучники на основі полієфіру, органічного кремнію або фенолформальдегіду.

У результаті намотування виходять шарові вироби колового перерізу. Надалі їх застосовують як конструкційний матеріал.

Стрижні з текстоліту, виготовлені описаним методом, міцні і мають високу ударну в'язкість. Водночас вони чудово піддаються механічному обробленню і, як наслідок, можуть бути використані для виготовлення деталей навіть найскладніших конфігурацій. Найчастіше з цього пластика виготовляють деталі тертя (наприклад, прокладки або втулки).

### Б Вал шліцьовий. Сталь 40ХФ

Матеріал, з якого виготовляють вали, буває різним: вони можуть бути зроблені з алюмінієвих сплавів, спеціальних жароміцних сталей або титанових сплавів, найбільш часто вали виготовляють з якісної легованої сталі.

Вали сталеві – це вид поковок циліндричної форми, що мають переріз квадратної, прямокутної або круглої форми.

Сталеві вали випускають зі сталі різних марок залежно від того, в якому середовищі буде використовуватися деталь. Найбільш затребуване виробництво валів з низьколегованої вуглецевої сталі, проте для роботи в агресивних середовищах вали можуть виготовляти з корозійно-стійких марок сталі.

Зазвичай, для виробництва валів використовують сталь марки: 45, 40Х, 40ХН, 40ХФ залежно від умов експлуатації. Сталі найбільш поширені в машинобудуванні, оскільки їх властивості задовольняють вимогам, що висуваються.

Вартість виготовлення деталей, вузлів розраховують індивідуально і залежить від конкретного технічного завдання, кількості деталей замовлення, наявності заготовок на складі.

Згідно з вимогами до деталі та умов роботи із сплавів 1–10 оптимальним є сталь 40ХФ.

За завданням проводимо розшифрування сплавів 1–10.

4Х5МФС – сталь інструментальна, штампова, 0,40 % вуглецю, 5 % хрому, по 1 % ванадію і кремнію, середньолегована, середньовуглецева, інше – залізо і домішки.

ВК8 – однокарбідний сплав, кобальту – 8 %, інше – карбід вольфраму.

Р18Ф2 – сталь інструментальна, швидкорізальна, 1 % вуглецю, 18 % вольфраму і 2 % ванадію, високолегована, високовуглецева, інше – залізо і домішки.

ХВГ – сталь інструментальна, по 1 % вуглецю, хрому, вольфраму і марганцю; низьколегована, високовуглецева, інше – залізо і домішки.

60С2А – сталь конструкційна, ресорно-пружинна, 0,60 % вуглецю, 2 % кремнію, високоякісна, низьколегована, середньовуглецева, інше – залізо і домішки.

ШХ15 – сталь шарикопідшипникова, 1 % вуглецю, 1,5 % хрому, низьколегована, інше – залізо і домішки.

12ХН3А – конструкційна легована сталь, 0,12 % вуглецю, 1 % хрому, 3 % нікелю, належить до цементованої низьколегованої сталі високої якості, низьковуглецева, інше – залізо і домішки.

08Х19Н10Т – конструкційна легована сталь, 0,08 % вуглецю, 19 % хрому, 10 % нікелю, 1 % титану, належить до низьковуглецевої високолегованої сталі, нержавіюча та корозійностійка, інше – залізо і домішки.

40ХФ – конструкційна, низьколегована, якісна, хромованадієва сталь, 0,40 % вуглецю, по 1 % хрому і ванадію, середньовуглецева, інше – залізо і домішки.

БрО8С12 – бронзовий сплав, 8 % олова, 12 % свинцю, інше – мідь.

Технологічний процес отримання вала зі сталі 40ХФ за одиничного виробництва передбачає металургійний етап отримання матеріалу – сталі у вигляді напівфабриката – прокату, та формоутворення з матеріалу заготовки потрібної форми шляхом пластичного деформування (табл. 2). Для одиничного виробництва обираємо кування у вирізних бойках.

Таблиця 2 – Схема маршрутної технології отримання заготовки і виготовлення деталі вала шліцьового

№ пор.	Найменування переходу (операції)	Устаткування, матеріали	Призначення операції
1	2	3	4
1	Видобувна	Кар'єри, шахти. Видобувне обладнання	Видобування корисних копалин, вугілля
2	Металургійна	Доменна піч. Руда, агломерат, кокс, флюс тощо	Отримання в доменній печі з руди переробного білого чавуну
3	Сталеплавильна	Конверторна піч. Переробний чавун. Руда, агломерат, кокс, флюс тощо	Перероблення чавуну на сталь у конвертерній печі



Продовження таблиці 2

1	2	3	4
4	Сталеплавильна	Електродугова піч. Сталь. Руда, агломерат, кокс, флюс, феросплави тощо	Доведення хімічного складу сталі в електродуговій печі
5	Розливання сталі	Установка безперервного розливання	Розливання сталі на блюм безперервним способом з одночасним обтисканням
6	Роздільна	Установка флюсового різання	Розрізання блюму на мірні заготовки
7	Прокатна	Прокатний стан, калібровані валки	Гаряче прокатування блюму на сортовому стані з каліброваними валками – за декілька пропусків. Отримання профілю круг
8	Термічна. Нагрівання	Камерна піч	Нагрівання прокату для кування
9	Ковальська	Гідравлічний прес із фігурними бойками	Вільне кування на круг на пресі – отримання заготовки (поковки)
10	Попереднє термооброблення – нормалізація	Шахтна піч	Для зняття внутрішніх напружень, підготовки структури для подальшого механічного оброблення
11	Механічне оброблення (МО)	Верстати та інструменти	Процес оброблення поверхні матеріалу за допомогою інструментів та верстатів для створення виробу із заданими розмірами
12	Об'ємне термічне оброблення – термопідсилення (гартування + високий відпуск)	Шахтна піч	Для отримання певної твердості і пластичності матеріалу, застосовують для деталей, що сприймають значні ударні та знакозмінні навантаження
13	Зміцнювальне термічне оброблення – термооброблення поверхонь 1 і 2 струмами високої частоти (СВЧ) + низьке відпускання (НВ)	Установка СВЧ + шахтна піч	Для отримання необхідної твердості поверхонь 1 і 2 – HRC 45–47
14	Контроль властивостей: твердості і структури	Твердомір Роквелла (ТК), мікроскоп МИМ-7	З метою контролю необхідної структури та твердості поверхонь 1 і 2 – HRC 45–47

**Приклад розв'язування завдання з частини матеріалознавства  
«Вибір марки сталі (сплаву) для деталі та призначення зміцнювального оброблення»**

***Умови роботи деталі***

Основними технічними параметрами валів є:

- загальна довжина;
- кількість ступенів;
- нерівномірність їх перепаду за діаметрами;
- діаметр найбільшої ступені;

- точність діаметральні і лінійних розмірів;
- правильність форми поперечного перерізу;
- співвісність окремих ділянок.

Невиконання цих вимог може призвести до порушень норм умов роботи виробу: недостатньо точний напрям, заїдання під час обертання, передчасне зношення. Вали і вали-шестерні відносять до найбільш відповідальних деталей машин, оскільки порушення форми вала або його руйнування може спричинити вихід із ладу всього технічного пристрою. Виходячи з цього, до них ставляться високі вимоги щодо працездатності, надійності, технологічності, економічності.

У процесі роботи матеріал вала шліцьового зазнає складних деформацій – кручення, розтягування, вигинання і стискання. У перерізах, де є місцева зміна форми і розмірів перерізів, виникає концентрація напружень, величина якої залежить від форми та виду концентраторів напруженості. До основних видів відмов (вихід з ладу) шліцьових з'єднань відносять зношення і змінання робочих поверхонь можливі втомні руйнування валів, розриви втулок – маточини з внутрішніми зубами, а також зріз зубів.

Шліці вала в процесі експлуатації машин піддаються:

- 1 Вигинанню при додаванні максимального крутного моменту або за різкого гальмування, внаслідок чого може відбуватися руйнування в ніжці зуба по галтелі;
- 2 Вигинанню за багаторазових циклічних навантажень, що викликають втомне руйнування зуба в небезпечному перерізі в ніжці зуба.
- 3 Контактним напруженням на робочій поверхні в зоні зачеплення зубів, у результаті чого розвивається пітинг на поверхні.
- 4 Зношення торцевих поверхонь під час перемикування передач.

Під час роботи шліцьових з'єднань відбувається зношення і змінання поверхонь, що сполучаються. Збільшення зношення неминуче призводить до підвищених зазорів у шліцьовому зачепленні і, як наслідок, до ударних навантажень у реверсивних механізмах. Тому зношення шліцьових з'єднань допускається в обмежених межах. Причиною виходу з ладу шліцьових з'єднань верстатів зазвичай є зношення бічних поверхонь шліців, що виникає внаслідок взаємного ковзання робочих поверхонь у результаті незбігу осей вала і маточини під навантаженням.

Таким чином, основними причинами, що впливають на зниження надійності і довговічності шліцьових валів є різні види зношення і пошкодження їх робочих поверхонь, а також втомні руйнування.

### ***Обґрунтування вибору марки сплаву. Опис впливу легувальних елементів на властивості сплаву***

Для високонапружених валів відповідальних машин застосовують леговані сталі: 40ХН, 40ХФ, 40ХН2МА, 30ХГТ, 30ХГСА та ін. Вали з цих сталей зазвичай піддають термopolіпшенню, гартуванню з високим відпусканням або поверхневому гартуванню із нагріванням СВЧ і низьким відпусканням (шліцьові вали) чи обробленні висококонцентрованим джерелом енергії (ВДЕ).

До матеріалів, що використовуються під час виробництва валів, необхідно висунути такі вимоги:

- висока міцність і в'язкість сталі;
- вміст вуглецю не більше ніж 0,5 %.

Найкраще в такій ситуації проявить себе поліпшувана сталь. Це група сталей із вмістом деяких легувальних елементів (Cr, Ni, Mo, V) і вуглецю близько 0,3–0,4 %. Оскільки ця група призначена для деталей даного типу, вона буде відповідати всім вимогам. Тому за таких умов одне з найважливіших значень при виборі сталі набуває прогартування. Однак зближення міцнісних властивостей шару і серцевини призводить до зниження межі витривалості деталей.

Вибір матеріалу для виготовлення валів редуктора необхідно проводити виходячи з умов експлуатації та технічних вимог. Тому вибираємо сталь 40ХФ.

Обрана сталь 40ХФ – конструкційна, низьколегована, якісна, хромованадієва, термополішувана, спадково-дрібнозерниста, не схильна до перегрівання (зростання зерна). Замінники: 40Х, 65Г, 50ХФА, 30ХЗМФ. Використання в промисловості: у покращеному стані – шліцьові вали, штоки, регулювальні гвинти, траверси, вали екскаваторів та інші деталі, що працюють за температур до 400 °С; після гартування і низького відпускання – черв'ячні вали та інші деталі підвищеної зносостійкості. Характеристика сталі наведена в таблицях 3–5.

Таблиця 3 – Хімічний склад сталі 40ХФ, %

Марка сталі	С	Si	Mn	Cr	Ni	V	P	S	Cu
							Не більше		
40ХФ	0,37–0,44	0,17–0,37	0,50–0,80	0,80–1,10	До 0,30	0,10–0,18	0,025	0,025	0,30

Таблиця 4 – Температури критичних точок сталі 40ХФ, °С

Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	Mn
760	800	725	680	218

Таблиця 5 – Механічні властивості сталі 40ХФ

Марка сталі	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCU, Дж/см <sup>2</sup>	НВ (HRC)
40ХФ	540	685	13	40	49	Осердя 223–262, поверхні (45–49 під час оброблення СВЧ)

Сталь 40ХФ – флокеночутлива. Флокеночутливість – це здатність сталі утворювати флокени (дефект виливки, що являє собою в зламі – плями (пластівці), а в поперечному мікрошліфі – тріщини). Природно, що наявність тріщин призводить до зниження механічних властивостей. Чим більш високу міцність має сталь, тим більш небезпечні тріщини-флокени. Причина утворення флокенів – розчинений у сталі водень, який не встигає виділитися під час температур нижче ніж 200 °С, що й відбувається в сталі 40ХФ. Також сталь 40ХФ схильна до відпускнуї крихкості II роду. Окрихчування сталі за деяких умов відпускання називають відпускнуою крихкістю. Зниження в'язкості водночас спричинено підвищенням температури переходу в холодноламкий стан.

Відпускна крихкість II роду виявляється після відпускання за 500 °С. Характерна особливість крихкості цього виду полягає в тому, що вона проявляється в результаті повільного охолодження після відпускання: за швидкого охолодження в'язкість не зменшується, а поступово зростає з підвищенням температури відпускання. Проте відпускна крихкість II роду може бути спричинена знову новим високим відпусканням із подальшим уповільненим охолодженням. Тому відпускну крихкість II роду іноді називають поверненою відпускнуою крихкістю.

Опишемо вплив легувальних елементів на властивості сталі.

Вуглець – основний елемент, який обов'язково повинен бути наявним у кожній сталі. У нашій обраній марці сталі 40ХФ вміст вуглецю – 0,40 %.

*Вплив вуглецю.* Структура сталі після повільного охолодження складається з двох фаз: фериту і цементиту. Тверді і крихкі частки цементиту підвищують опір руху дислокацій, тобто підвищують опір деформації і, крім того, зменшують пластичність і в'язкість. Унаслідок цього зі збільшенням у сталі вуглецю зростають твердість, межі міцності і текучості і зменшуються відносне подовження, відносне звуження й ударна в'язкість. Вуглець підвищує поріг холодноламкості сталей і зменшує ударну в'язкість за температур вищих ніж критична

температура.

Зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі збільшуються її твердість, міцність, зменшуються в'язкість і пластичність.

Збільшення міцності відбувається лише до того часу, поки вміст вуглецю не досягне 0,8–1 %. Добре обробляються різанням середньовуглецевої сталі (вміст вуглецю 0,3–0,4 %).

Властивості всіх легованих сталей, залежать від кількості введених легувальних елементів у сталь, а також термічного оброблення і структури сталі. Основними легувальними елементами в сталях є хром, ванадій, а також марганець.

Хром підвищує жаростійкість і корозійну стійкість сталі, збільшує її електричний опір і зменшує коефіцієнт лінійного розширення. Легування сталі хромом призводить до зменшення схильності аустенітного зерна до зростання під час нагрівання, істотного збільшення її прогартовування, а також до уповільнення процесу розпаду мартенситу. На відміну від інших сплавів на основі заліза аустенітні і феритні сплави не мають перетворень під час нагрівання і охолодження. Зміни у сталі проходять не лише на структурному рівні, а також є зміни механічних властивостей сталей.

Хром підвищує температуру точки  $A_3$  і знижує – точки  $A_4$  (замикає область  $\gamma$ -заліза) (табл. 4). Температура евтектоїдних перетворень сталі (точка  $A_1$ ) за наявності хрому підвищується, а вміст вуглецю в евтектоїді (перліті) знижується. За вмісту хрому 3–5 % у сталі одночасно наявні легований цементит і карбід хрому  $Cr_7C_3$ , а якщо більше ніж 5 % хрому, то в сталі міститься лише карбід хрому. З вуглецем хром утворює карбіди ( $Cr_7C_3$ ,  $Cr_4C$ ) більш міцні і стійкі, ніж цементит. Розчиняючись у фериті, хром підвищує його твердість і міцність, незначно знижуючи в'язкість. Хром значно збільшує стійкість переохолодженого аустеніту.

Найбільш сильно зміцнюють ферит кремній, марганець і нікель, інші елементи порівняно мало змінюють міцність фериту в сталях. Зміцнюючи ферит, названі елементи мало впливають на пластичність, більшість легувальних елементів знижують його ударну в'язкість. Виняток становить нікель, який не знижує ударної в'язкості. Марганець і хром за кількості до 1 % підвищують ударну в'язкість, за більшої концентрації вона знижується.

Хром – порівняно дешевий елемент і широко використовується для легування сталі. Він розчиняється у фериті та цементиті, впливає на механічні властивості. Хром підвищує прогартовування, твердість, межу міцності, корозійну стійкість; незначно зменшує характеристики пластичності сталі.

Другий основний легувальний елемент – це ванадій. Цей елемент підсилює вплив інших наявних легувальних елементів і сам впливає на леговані сталі:

1 Його наявність сприяє формуванню твердих карбідів.

2 Він стабілізує мартенсит у загартованих сталях і таким чином покращує прогартовування і збільшує граничний критичний переріз сталі.

3 Він зменшує зростання зернистості під час термооброблення і процесах гарячого оброблення.

4 Він збільшує «твердість за високих температур» інструментальних і штампових сталей.

5 Він покращує втомну міцність сталей.

Сталь, що містить усього 0,1–0,3 % ванадію, відрізняється великою міцністю, пружністю і нечутливістю до поштовхів і ударів, що особливо важливо, наприклад, для валів та автомобільних осей, які весь час піддаються струсу. Зазвичай, ванадій вводять у сталь у комбінації з іншими легуючими елементами хромом, нікелем, вольфрамом, молібденом. Ванадій підвищує твердість і міцність, подрібнює зерно, збільшує густину сталі, бо є добрим розкиснювачем.

Нікель – дорогий метал, його вводять спільно з хромом та іншими елементами, водночас в гранично мінімальній кількості. Нікель (вміст у сталі 40ХФ – до 0,30 %) забезпечує високу межу міцності, підвищує опір удару і впливає на зміну коефіцієнта теплового розширення. Основна мета легування нікелем конструкційної сталі – підвищення

її прогартовування.

Карбідоутворювальними елементами є хром і марганець. Під час розчинення карбідоутворювальних елементів у цементиті утворюються карбіди, що називаються легованим цементитом. При підвищенні вмісту карбідоутворювального елемента утворюються самостійні карбіди даного елемента з вуглецем, так звані прості карбіди, наприклад,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_4\text{C}$ . Усі карбіди дуже тверді (HRC 70–75) і плавляться за високої температури.

Корисні домішки – кремній і марганець – кількість їх у сталі 40ХФ до 0,37 % і 0,80 % відповідно, вони завжди наявні в сталі, розчиняються у фериті, зміцнюючи його. Марганець збільшує прогартовуваність сталі, зменшує вплив сірки. Кремній і марганець застосовують для розкиснення сталі. Кремній і марганець переходять у сталь у процесі її розкиснення під час виплавлення. Вони розкиснюють сталь, тобто з'єднуючись із киснем до закису заліза  $\text{FeO}$ , у вигляді оксидів переходять у шлак. Ці процеси розкиснення покращують властивості сталі. Кремній, дегазуючи метал, підвищує густину зливка. Кремній, що залишається після розкиснення у твердому розчині (у фериті), сильно підвищує межу текучості. Це знижує здатність сталі до витягнення, і особливо холодної висадки. Марганець помітно підвищує міцність, практично не знижуючи пластичності і різко зменшуючи червоноламкість сталі, тобто крихкість за високих температур, спричинену впливом сірки.

Постійні домішки, від яких залежить якість сталі, – сірка і фосфор. Джерелом цих хімічних елементів у сталі є, насамперед, чавун, з якого виробляють сталь у металургійних печах.

Сірка є шкідливою домішкою в сталі. Із залізом вона утворює хімічну сполуку  $\text{FeS}$ , яка практично нерозчинна у ньому в твердому стані, але розчинна в рідкому металі. Наявність у сталі марганцю, що має більшу спорідненість до сірки, ніж залізо, і утворює із сіркою тугоплавке з'єднання  $\text{MnS}$ , практично виключає явище червоноламкості. Вміст сірки в сталі суворо обмежується, він не повинен перевищувати 0,035–0,06 %. Сірка знижує пластичність, в'язкість, надає сталі червоноламкості під час прокатування і кування. З'єднання  $\text{FeS}$  утворює із залізом легкоплавку евтектику з температурою плавлення 988 °С. Ця евтектика утворюється навіть за дуже малого вмісту сірки. Кристалізуючись із рідини після закінчення затвердіння, евтектика переважно розташовується по межах зерна. Під час нагрівання сталі до температури прокатування або кування (1 000–1 200 °С) евтектика розплавляється, порушується зв'язок між зернами металу, внаслідок чого під час деформування сталі в місцях розташування евтектики виникають надриви і тріщини. Це явище і має назву червоноламкості (гарячоламкості). Робота зародження тріщини не залежить від вмісту сірки, а робота розвитку в'язкої тріщини і в'язкість руйнування зі збільшенням вмісту сірки знижуються. Сірка погіршує зварюваність і корозійну стійкість. В обраній сталі 40ХФ її вміст не вищий ніж 0,05 %.

Фосфор є шкідливою домішкою, і вміст його залежно від якості сталі допускається не більше ніж 0,025–0,035 %. Розчиняючись у фериті, фосфор сильно спотворює кристалічну ґратку і збільшує межі міцності і текучості, але зменшує пластичність і в'язкість. Зниження в'язкості тим значніше, чим більше в сталі вуглецю. Фосфор підвищує поріг холодноламкості сталі і зменшує роботу розвитку тріщини. Здатність фосфору до сегрегації по межах зерен також сприяє окрихчуванню сталі. Кожна 0,01 % Р підвищує поріг холодноламкості сталі на 20–25 °С. Фосфор має велику схильність до ліквіації (неоднорідність розподілу). Фосфор накопичується в серединних шарах зливка, по межах зерен, сильно знижуючи ударну в'язкість.

Вибираючи матеріал для вала, особливо в разі масового виробництва, необхідно вибрати не лише сталь, яка б забезпечила високі вимоги, які висувають до механічних властивостей на поверхні і в осерді, але необхідно оцінювати вартість і самого матеріалу, виготовлення деталі, термічне оброблення, а також дефіцитність цього матеріалу.

Сталь 40ХФ, яку ми вибрали, належить до термополіпшуваних легованих сталей, які містять 0,3–0,5 % С і до 5 % різних легувальних елементів. Сталі цієї групи піддають зазвичай гартуванню в маслі і високому відпуску (до 600 °С) – термополіпшенню. Прогартовуваність сталі при збільшенні кількості легувальних елементів у ній зростає. Як попереднє тер-

мооброблення ми вибираємо нормалізацію і подальше термopolіпшення, оскільки наш вал є середньонавантаженим, має максимальний діаметр – 30 мм (входить до інтервалу до 100 мм).

Для сталі 40ХФ нормалізація відбувається за температури 850–870 °С із подальшим охолодженням на повітрі. Час витримки за нормалізації – 0,5 години. Нормалізація – термооброблення, за якої сталь охолоджується не в печі, як під час відпалювання, а на повітрі в цеху. Нагрівання відбувається до повної перекристалізації (на 30–50 °С вище від точок  $A_{с3}$  і  $A_{сm}$ ), в результаті сталь набуває дрібнозернистої, однорідної структури. Твердість, міцність сталі після нормалізації незначно вищі, ніж після відпалювання, і має значення НВ 237.

Під час нагрівання до температури нормалізації низьковуглецевих сталей відбуваються ті самі процеси, що і під час відпалювання, тобто подрібнення зерен. Але, крім того, внаслідок охолодження, більш швидкого, ніж під час відпалювання, і водночас переохолодження, що проходить, будова перліту виходить більш тонкою (дисперсною), а його кількість – більшою. Нормалізація порівняно з відпалюванням – більш економічна операція, тому що не вимагає охолодження разом із піччю. У зв'язку із зазначеними перевагами нормалізація набула значного поширення замість відпалювання низьковуглецевих сталей. Нормалізація сталі застосовується для: усунення грубозернистої структури, отриманого в результаті попереднього оброблення (прокатування, кування, штампування): деякого підвищення міцності середньовуглецевої сталі порівняно з відпаленою; полегшення оброблюваності різанням низьковуглецевої сталі; виправлення структури зварного з'єднання і зменшення внутрішнього напруження. Залежно від вмісту вуглецю в сталі за нормалізації її нагрівають трохи вище (на 50–60 °С) від лінії GSE. Під час такого оброблення виходить однорідна дрібнозерниста структура, яка містить пластинчастий перліт або сорбіт. У разі тонких деталей із середньовуглецевої сталі нормалізація сприяє отриманню сорбітової структури і, якщо не потрібна висока в'язкість, може замінити процес гартування з наступним високим відпусканням. Нормалізація широко застосовується для поліпшення властивостей сталевих виливків. Структура після нормалізації – сорбітоподібний перліт і ферит. Охолодження виробів на повітрі, а не в печі, підвищує продуктивність печей і здешевлює продукцію.

Далі сталь 40ХФ піддають термopolіпшенню, тобто гартуванню за температури 840–870 °С з охолодженням у маслі (час витримки 1,5–2,0 години), і високому відпусканню за температури 550–600 °С з охолодженням у маслі. Наш вал працює на вигинання і крутіння, тому необхідна в'язка, пластична серцевина. Нагрівання сталі під гартування здійснюють у горнах або нагрівальних печах. Деталі укладають так, щоб холодне дуття повітря не потрапляло безпосередньо на сталь. Потрібно стежити, щоб нагрівання відбувалося рівномірно. Чим більше вуглецю і легувальних елементів містить сталь, чим масивніша деталь і складніша її форма, тим повільнішою повинна бути швидкість нагрівання під гартування.

Гартування – не остаточна операція термічного оброблення, тому що після цього сталь стає не лише міцною і твердою, але й дуже крихкою, а в поковці виникають великі гартівні напруження. Ці напруження досягають таких значень, за яких у поковках з'являються тріщини або деталі з цих поковок руйнуються на самому початку їх експлуатації. Тому для зменшення крихкості, внутрішніх гартівних напружень і отримання необхідних міцнісних властивостей сталі після гартування піддають відпусканню. Відпускання полягає в нагріванні загартованої сталі до температури нижче за  $A_{с1}$ , витримці за цієї температури деякий час і швидкого або повільного охолодження, зазвичай, на повітрі. У процесі відпускання в металі структурних змін не відбувається, проте зменшуються гартівні напруження, твердість і міцність, а пластичність і в'язкість збільшуються.

Залежно від марки сталі і від пропонованих до деталі вимог щодо твердості, міцності і пластичності застосовують різні види відпускання. Високе відпускання полягає в нагріванні загартованої деталі до температури 450–650 °С, витримці за цієї температури й охо-

лоджування. Вуглецеві сталі охолоджуються на повітрі, а хромисті, марганцеві, хромокремнієві – у воді, оскільки повільне охолодження їх призводить до відпускнуї крихкості. За такого відпускання майже повністю ліквідуються гартівні напруження, збільшується пластичність і в'язкість, хоча помітно зменшується твердість і міцність сталі. Гартування з високим відпусканням порівняно з відпалюванням, створює найкраще співвідношення між міцністю сталі та її в'язкістю. Таке поєднання термооброблення і називають термополіпшенням. Структура після такого оброблення – сорбіт відпускання.

Зобразимо графік режиму термічного оброблення сталі 40ХФ (рис. 6).

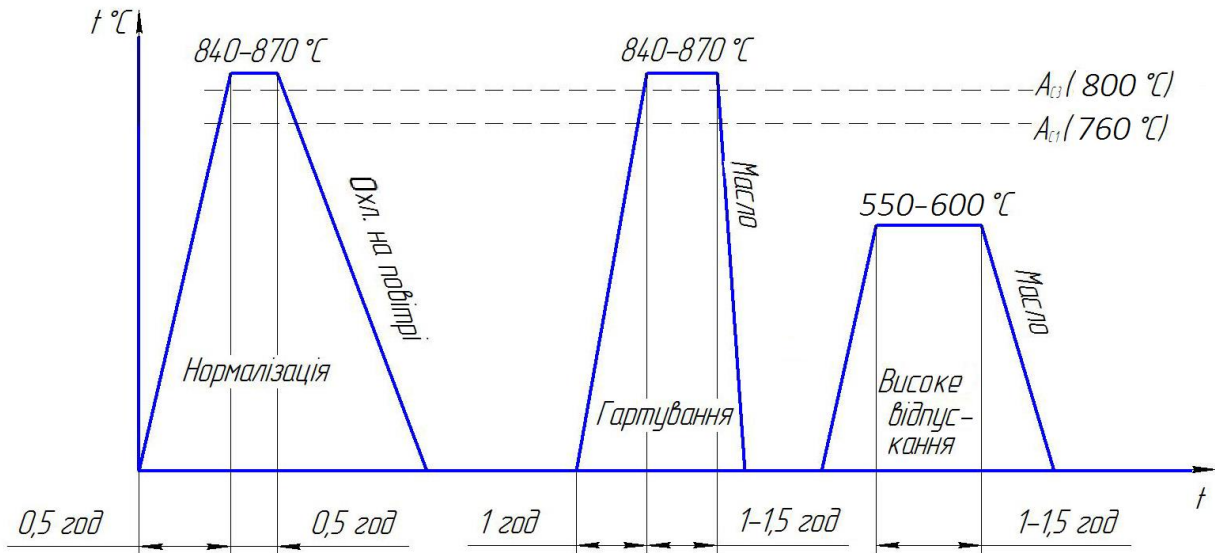


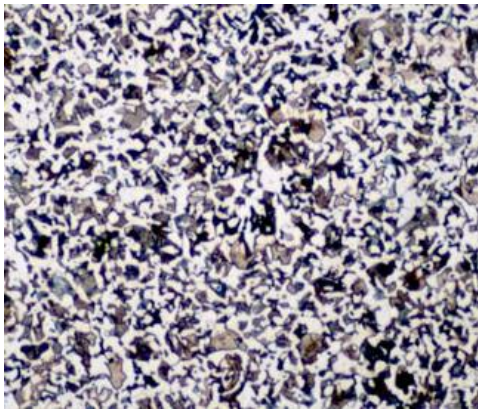
Рисунок 6 – Графік термічного оброблення сталі 40ХФ

Вибір охолодного середовища залежить від марки сталі, величини перерізу деталі і необхідних властивостей, які повинна отримати сталь після гартування. Сталі з умістом вуглецю від 0,3 % до 0,6 % зазвичай охолоджують у воді, а з великим умістом вуглецю – в маслі. Водночас необхідно враховувати конфігурацію деталей і їх переріз. Деталі зі складною конфігурацією, з різкими переходами від малого до великого перерізу і масивні деталі охолоджувати у воді небезпечно, оскільки на них можуть з'явитися тріщини. Вуглецеві сталі, наприклад сталі 40 і 45, гартуються на глибину 4–5 мм, а глибше будуть частково загартована зона і незагартована серцевина. Легувальні елементи – марганець, хром, нікель, ванадій та інші сприяють більш глибокому гартуванню.

Після нормалізації (в рівноважному стані) сталь має структуру, що складається з фериту та перліту (рис. 7 а). Після гартування сталь має структуру мартенситу гартування (рис. 7 б). У поліпшуваній термічно обробленій сталі структура складається з продукту розпаду мартенситу – сорбіту (рис. 7 в).

Твердість після термополіпшення становить 300–330 НВ.

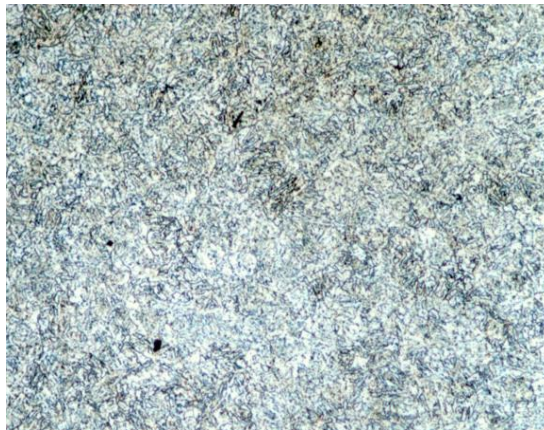




а



б



в

Рисунок 7 – Мікроструктура сталі 40ХФ після нормалізації (а), гартування (б) і термополіпшення (в); x250

Для того щоб вали мали високу твердість і зносостійкість поверхневого шару, підвищену контактну витривалість, а також в'язке, м'яке осердя, щоб сприймати (гасити) знакозмінні напруження, які діють на деталі, на виробництві проводиться поверхневе гартування струмами високої частоти на ділянках, де необхідне зміцнення. Для нашого шліцевого вала – це поверхні 1 і 2.

СВЧ-гартування відбувається так: деталь, яку необхідно загартувати, поміщають в електромагнітне поле (рис. 8) всередині мідної трубки, яка зігнута за формою необхідної деталі, водночас індуються змінні струми високої частоти, вони (струми) відтісняються до поверхні деталі зсередини виниклим змінним магнітним струмом.

Гартування індукційним СВЧ характеризується двома параметрами: глибиною і твердістю загартованого шару деталі. Для отримання тонкого шару в деталі використовуються індукційні нагрівники (СВЧ-установки) потужністю від 40 кВА до 160 кВА і частотою 20–40 кГц або 40–70 кГц. Якщо здійснюється гартування більш глибоких шарів, то використовується діапазон частот 6–20 кГц.

У поверхневому гартуванні струмами високої частоти є ряд переваг: високі твердість і продуктивність, будь-який рівень глибини загартованого шару деталі, відсутність окалини, можливість гартування деталей будь-яких форм, можливість упровадження повної автоматизації гартування.





Рисунок 8 – Поверхнєве гартування валів струмами високої частоти

Глибина загартованого шару залежить насамперед від глибини проникнення в метал індукованого струму, який через так званий поверхневий ефект концентрується біля поверхні, швидко спадаючи всередину виробу. Регулюючи частоту струму, температуру і швидкість нагрівання, можна отримати прогрів на будь-яку товщину від часток міліметра до десятків міліметрів. За індуктором йде водяний душ, що охолоджує нагрітий метал. Схема індукційного нагрівання для гартування струмами високої частоти наведена на рисунку 9. Індуктори СВЧ-нагрівання повинні відповідати таким вимогам:

- електричне узгодження з СВЧ-установкою індукційного нагрівання (індукційною піччю);
- наявність електричної ізоляції між витками;
- наявність теплової ізоляції від нагріваної заготовки;
- організація течії рідини для охолодження стінок індуктора.

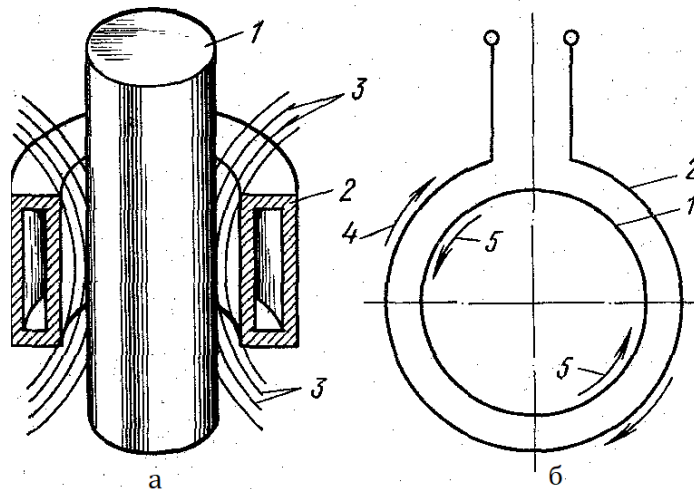


Рисунок 9 – Схема індукційного нагрівання: а – розподіл магнітного потоку в індукторі; б – напрям струмів в індукторі і деталі; 1 – нагрівана деталь; 2 – виток індуктора; 3 – магнітні силові лінії; 4 – напрямок струму в індукторі; 5 – напрямок струму в деталі

Час перебування металу в області температур фазових перетворень насамперед залежить від швидкості нагрівання. Швидкість нагрівання сталюго виробу при використанні індукційного методу не є сталою в усьому інтервалі температур. Вона змінюється внаслідок зміни його опору і магнітної проникності сталі.

Крім зміни фізичних властивостей, на процес нагрівання сталі впливають фазові перетворення, що супроводжуються поглинанням тепла, і теплове випромінювання, яке різко збільшується за високих температур поверхні виробу. Особливості, що вносяться швидким індукційним нагріванням до кінетики фазових перетворень, визначають рівень температур, необхідних для завершення процесу аустенізації. Режими нагрівання встановлюються залежно

від складу сталі та необхідних властивостей у загартованому стані.

Для підвищення міцнісних властивостей поверхонь 1 і 2 проводимо зміцнення струмами високої частоти (нагрівання СВЧ) і низьке відпускання (рис. 10). Для отримання зносостійкого шару глибиною  $h = 1-3$  мм встановлюємо температуру нагрівання в  $900-950$  °С. Зразок загартовуємо впродовж 5 секунд. Операція поверхневого гартування СВЧ розвиває в поверхневому шарі залишкові напруження. Відпускання істотно змінює розподіл напружень і доводить залишкові напруження стиску в поверхні до нульових значень або до напружень розтягнення. Низьке відпускання також підвищує міцність і поліпшує в'язкість без зміни твердості. Тому відпускання ( $180-200$  °С) необхідне як завершальна операція термічного оброблення. Час витримки становить 2–3 години. Далі проводять охолодження на повітрі. Після поверхневого гартування СВЧ поверхневий шар сталі має структуру дуже дрібно-голчастого мартенситу (рис. 11). Твердість поверхні 48–49 HRC. В осерді зміна структури та зміцнення не відбуваються, тому що нагрів був нижчим від  $A_{c1}$ .

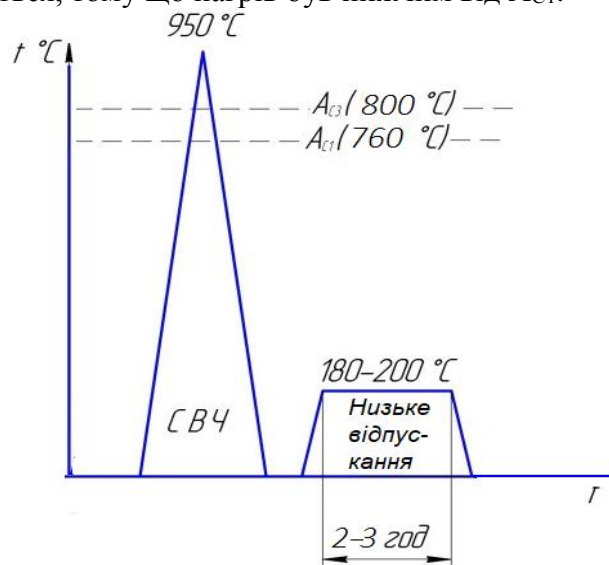


Рисунок 10 – Графік режиму зміцнювального термічного оброблення шліцьового вала редуктора зі сталі 40ХФ

Низьке відпускання незначно знижує твердість поверхнево-загартованого шару виробу до 45–47 HRC та істотно (часто в 1,5–2 рази) підвищує опір сталі крихкому руйнуванню, збільшує втомну міцність, зменшує чутливість до концентраторів напруг.

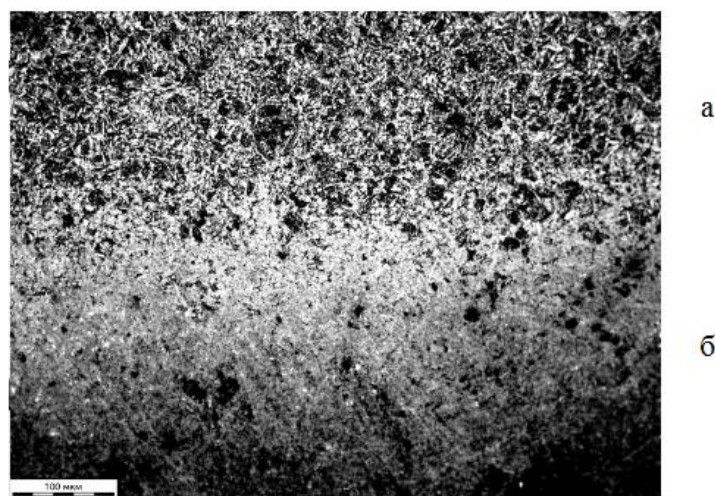


Рисунок 11 – Мікροструктура сталі 40ХФ після поверхневого СВЧ-гартування – дрібноголчастий мартенсит (а), сорбіт (б)

Таким чином, гартуванням СВЧ ми отримали поверхневий шар загартованого металу товщиною 1,5–2,0 мм. Структура загартованого шару – дрібногочастий мартенсит. Поверхнєве гартування призводить до підвищення міцності зразків – меж пропорційності, текучості і міцності на розтягнення, вигинання і кручення та меж витривалості порівняно з цими самими параметрами для сталі в незагартованому стані. Властивості, що характеризують пластичність і в'язкість, – подовження, звуження, стріла прогину, кут закручування, ударна в'язкість – під час поверхневого загартування знижуються. Таким чином, деталь вал редуктора матиме в осерді сорбіт, а на поверхні – дрібногочастий мартенсит.

Після ТО роблять контроль властивостей на зразках-свідках. Контроль: зовнішній огляд, перевірка розмірів виробу, вимірювання твердості на приладі Роквелла.

### ***Висновки***

У даній курсовій роботі було проведено аналіз умов експлуатації деталі, вибрано матеріал для виготовлення вала шліцьового, а саме сталь 40ХФ: обґрунтовано вибір цієї сталі, наведено її хімічний склад, механічні властивості та температури критичних точок. Також згідно з технологічними умовами використання та вибраною маркою сталі для деталі «Шліцьовий вал» було запропоновано режими термічного за зміцнювального оброблення зі струмами високої частоти з наведенням структур.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія конструкційних матеріалів / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін. – Київ : Вища школа, 2002. – 374 с.
2. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / С. В. Марченко, О. П. Гапонова, Т. П. Говорун, Н. А. Харченко. – Суми : СумДУ, 2016. – 146 с.
3. Технология конструкционных материалов / под ред. А. М. Дальского. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1990. – 352 с.
4. Технология конструкционных материалов : учебник / под ред. Г. А. Прейса. – 2-е изд., перераб. и доп. – Київ : Вища школа, 1991. – 391 с.
5. Линчевский В. Б. Металлургия черных металлов : учебник для техникумов / Б. В. Линчевский, А. Л. Соболевский, А. А. Кальменев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Metallurgia, 1986. – 360 с.
6. Пчелинцев В. О. Горяче об'ємне штампування / В. О. Пчелинцев, С. В. Марченко. – Суми : СумДУ, 2007. – 24 с.
7. Уткин Н. И. Металлургия цветных металлов : учебник для техникумов / Н. И. Уткин. – Москва : Metallurgia, 1985. – 440 с.
8. Болтон У. Конструкционные материалы: металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты. Карманный справочник : пер. с англ. / У. Болтон. – Москва : Изд. дом «Додэка-XXI», 2004. – 320 с.
9. Дунаев П. Ф. Детали машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Лёликов. – Москва : Машиностроение, 2004. – 560 с.
10. Палей М. М. Технология производства режущего инструмента : учебное пособие / М. М. Палей. – Москва : Машиностроение, 1982. – 483 с.
11. Бушуев М. Н. Технология производства турбин / М. Н. Бушуев. – Москва : Машиностроение, 1986. – 410 с.
12. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – Москва : Metallurgia, 1986. – 544 с.
13. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / В. Попович, В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
14. Матеріалознавство / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков. Харків : ХНАДУ, 2007. – 440 с.
15. Лабораторний практикум з курсу «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство». Частина 2 «Матеріалознавство» / укладачі: Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, В. М. Раб, Н. А. Харченко. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 86 с.
16. Кузін О. А. Металознавство та термічна обробка металів : підручник для студ. вищ. навч. закладів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк ; Національний ун-т «Львівська політехніка». – Львів : Афіша, 2002. – 304 с.
17. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов : учебник / Ю. М. Лахтин. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Metallurgia, 1984. – 360 с.
18. Молчанов В. Ф. Термічна обробка деталей машин : навчальний посібник / В. Ф. Молчанов. – Дніпродзержинськ : Видавництво ДДТУ, 2008. – 216 с.
19. Мохорт А. В. Термічна обробка металів : навч. посіб. / А. В. Мохорт, М. Г. Чумак. – Київ : Либідь, 2002. – 512 с.
20. Методические указания к выполнению индивидуальной работы «Практика маркировки и расфировки отечественных и зарубежных машиностроительных металлов и сплавов» по курсу «Технология конструкционных материалов» / В. А. Пчелинцев, В. И. Сигова, В. Н. Раб, Н. И. Овруцкий. – Суми : СумГУ, 2009. – 37 с.
21. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. – Чинний від 2016.07.01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2009. – 19 с.

**ДОДАТОК А**  
(обов'язковий)  
**ВАРІАНТИ ЗАВДАННЯ**

**Варіант 1**

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.1 – Пружина клапана поршневого компресора	1	Ст5пс	7	А40Г
	2	65Г	8	ШХ15
	3	ВТ1-0	9	Р18К5Ф2
	4	Х12ВМ	10	АЛ2
	5	60С2	11	Склопластик
	6	СЧ35	12	Капрон

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: **одиничне.**

Габаритні розміри:  $\varnothing 20$  мм, h = 100 мм

**Варіант 2**

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.1 – Пружина годинникового пристрою	1	ШХ15	7	ЛС59-1
	2	ТТ14К18	8	Сталь 20
	3	СЧ25	9	40ХН2МА
	4	ЧН19Х3Ш	10	Б16
	5	БрБ2	11	Склопластик
	6	У10	12	Капрон

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: **серійне.**

Габаритні розміри:  $\varnothing 3$  мм, h = 15 мм

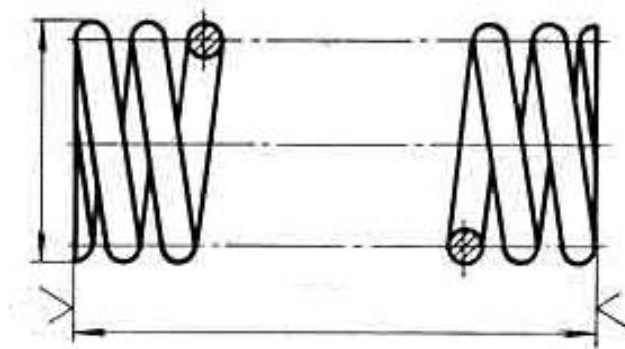


Рисунок А.1 – Пружина

### Варіант 3

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.2	1	У7А	7	ВК6
	2	БрКМц3-1	8	120Х2С
	3	45ХН2МФА	9	АЛ2
	4	ЛС59-1	10	ВЧ45
	5	25Г2С	11	СВАМ
	6	30Х13	12	ПВХ

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: одиничне.

Габаритні розміри:  $\varnothing$  20 мм, h = 100 мм.

Вимоги: підвищена теплостійкість до 600 °С

### Варіант 4

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.2	1	Сталь 70	7	95Х18
	2	ЛЦ16К4	8	12Х19Н10Т
	3	ХВ5	9	ВТ5-1
	4	МЛ2	10	Е7Х3
	5	12Х17	11	СВАМ
	6	40ХА	12	ПВХ

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: серійне.

Габаритні розміри:  $\varnothing$  = 15 мм, h = 80 мм.

Вимоги: підвищена теплостійкість до 700 °С

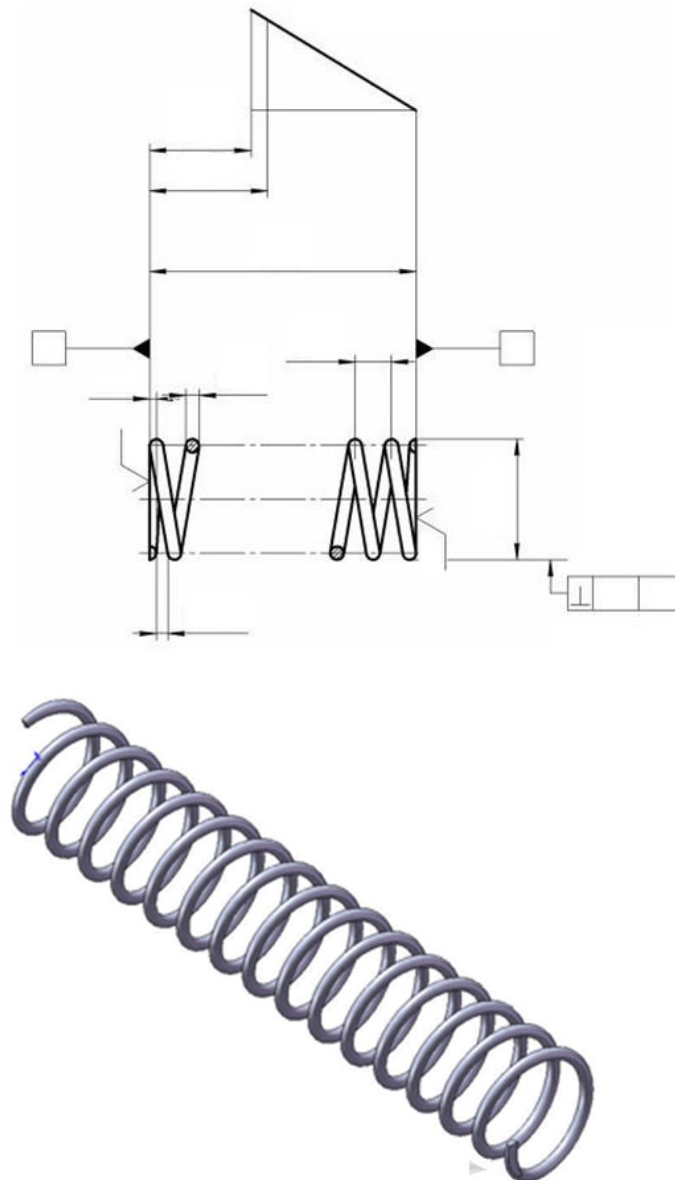


Рисунок А.2 – Пружина клапана двигуна внутрішнього згорання

### Варіант 5

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.3	1	50ХФА	7	08Х17Т
	2	ШХ9	8	ВТ6
	3	9ХС	9	ВЧ60-2
	4	3Х2В8	10	Х12Ф1
	5	5ХНВС	11	Поліуретан
	6	Р18Ф2	12	Гума

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне.

**Вимоги:** підвищена теплостійкість

**Габаритні розміри:**

300 мм × 200 мм × 40 мм

### Варіант 6

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.3	1	6ХВ2С	7	Б16
	2	Сталь 45	8	У11
	3	38Х2Н3МА	9	ХВГ
	4	5ХНМ	10	ВК6
	5	18ХГТ	11	Поліуретан
	6	БрБ2	12	Гума

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне.

**Габаритні розміри:**

80 мм × 120 мм × 20 мм

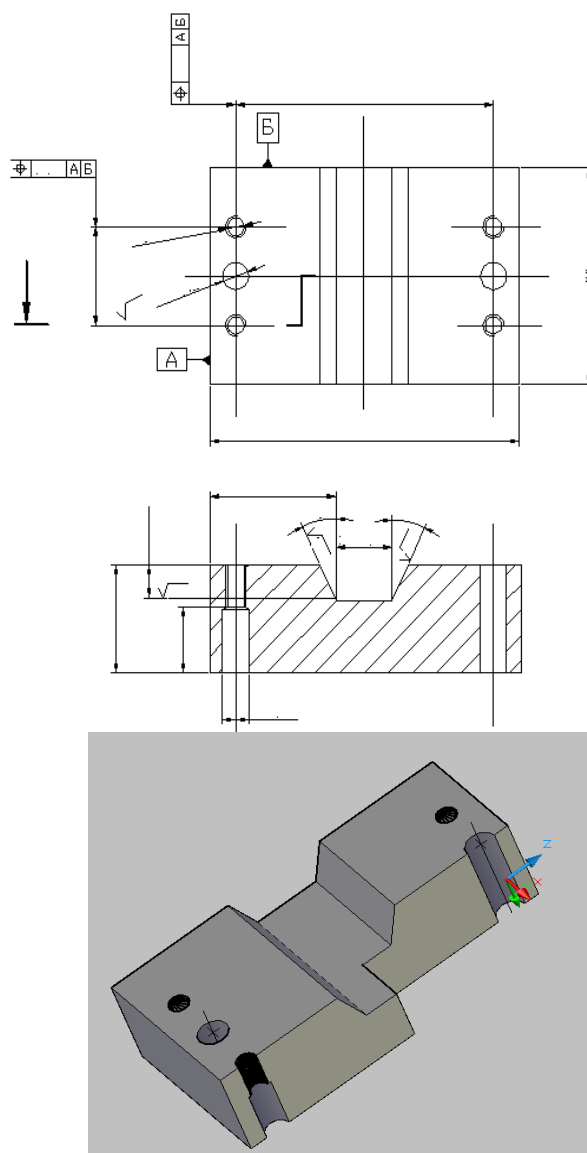


Рисунок А.3 – Штамп згинальний



### Варіант 7

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.4	1	ВЧ40-10	7	Р9М4К8
	2	Сталь 20	8	ХВСТ
	3	ЛС59-1	9	60С2
	4	12ХН4ВА	10	У10А
	5	38ХМЮА	11	Вугло-пластик
	6	55ХГР	12	Полі-карбонат

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: одиничне.

Габаритні розміри: 500 мм × 80 мм × 8 мм

### Варіант 8

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.4	1	50ХГФА	7	95Х18
	2	СЧ35	8	08Х22Н6Т
	3	БрС30	9	40Х9С2
	4	40ХНМВТЮ	10	АЛ2
	5	Сталь 30	11	Вугло-пластик
	6	Х23Ю5	12	Полі-карбонат

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: серійне.

Габаритні розміри: 500 мм × 80 мм × 8 мм

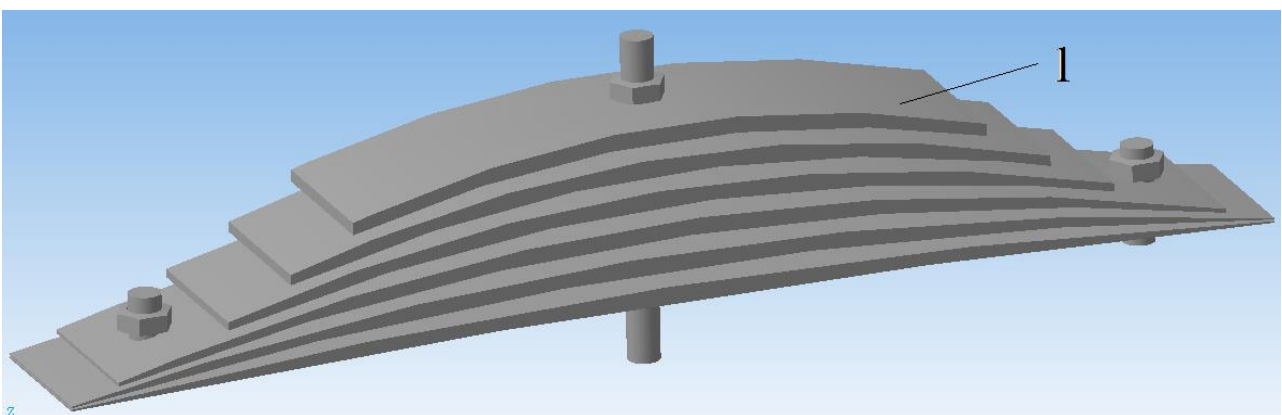
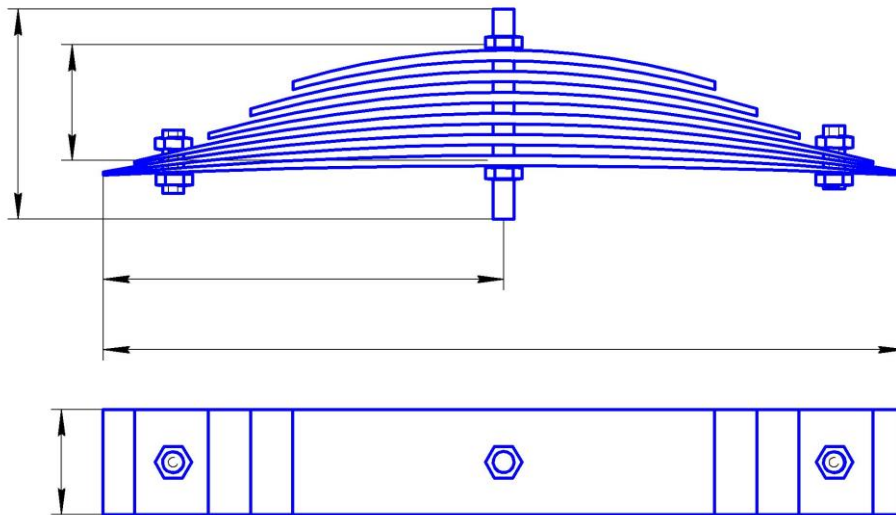


Рисунок А.4 – Креслення ресорного листа для ресори



### Варіант 9

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.5	1	40Х	7	У7
	2	12Х18Н10Т	8	ХВТ
	3	Сталь 20	9	ВТ15
	4	АЛ2	10	5ХНВС
	5	Х23Ю5	11	Нейлон
	6	40ХГНР	12	Фторопласт-3

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HRC 48–57.

**Габаритні розміри:** 60 мм × 30 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 10

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.5	1	ВЧ40-6	7	18ХГТ
	2	ВТ15	8	60С2А
	3	Р18К5Ф2	9	09Х16Н15М3Б
	4	5ХНВС	10	30ХГСН2А
	5	40ХГНР	11	Нейлон
	6	У8А	12	Фторопласт-3

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HRC 56–60.

**Габаритні розміри:** 160 мм × 100 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

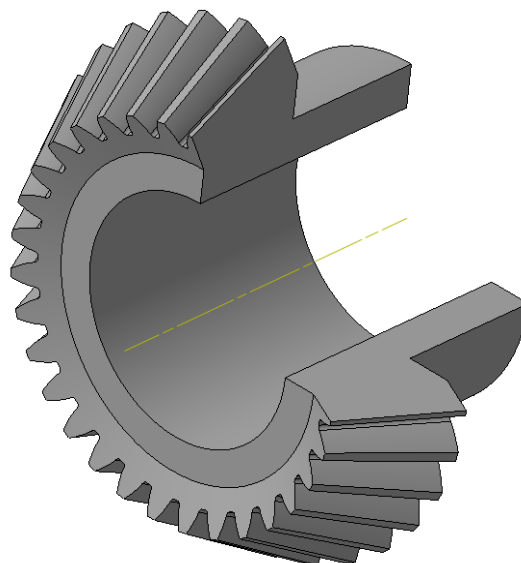
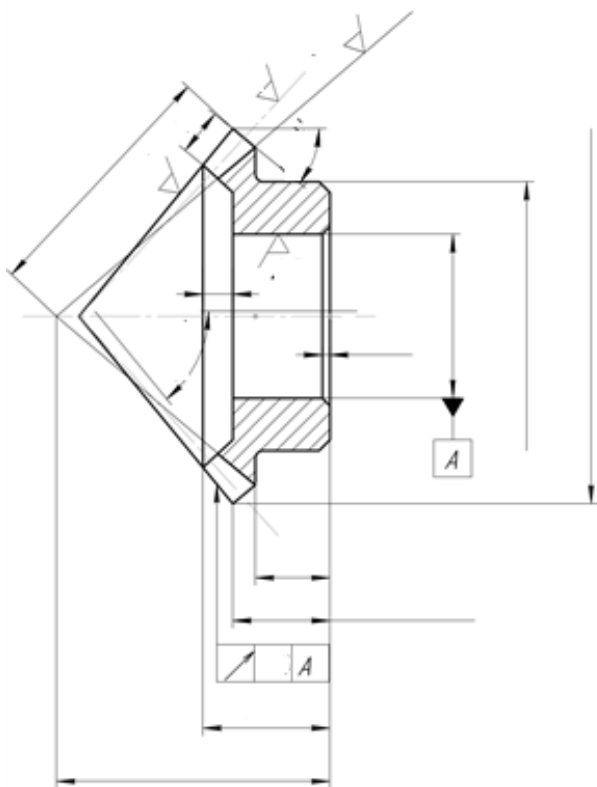


Рисунок А.5 – Шестірня конічного редуктора

### Варіант 11

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.6	1	ЛА85-0,5	7	65С2ВА
	2	ТТ7К10	8	5ХНВС
	3	КЧ35-10	9	40ХН
	4	38ХМЮА	10	У12А
	5	38ХНМФА	11	Капрон
	6	Р9М4К8	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HRC 58–60.

**Габаритні розміри:** 300 мм × 25 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 12

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.6	1	35ХЮА	7	ШХ15
	2	МА4	8	БрА10ЖЗМц2
	3	У8	9	4ХМФС
	4	СЧ36	10	40ХГНР
	5	Сталь 50	11	Капрон
	6	03Х16Н15М	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HV 1000.

**Габаритні розміри:** 100 мм × 10 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

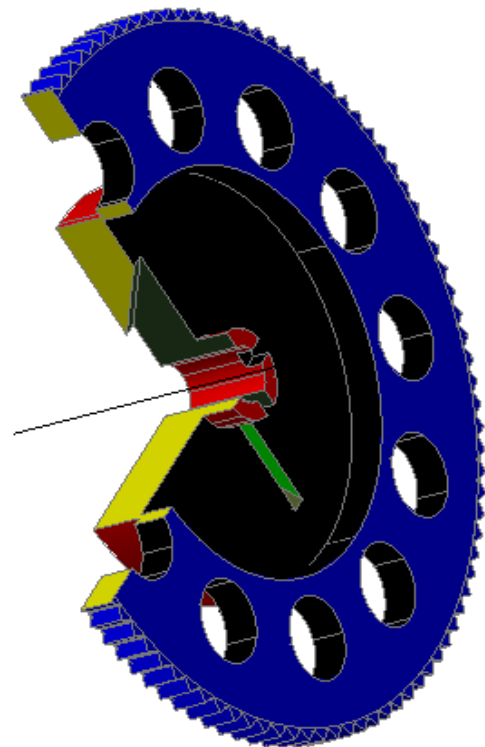
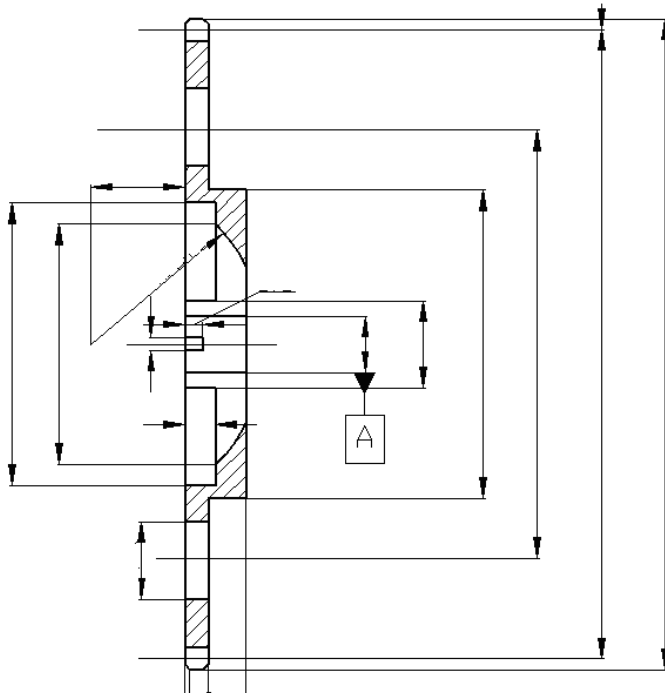


Рисунок А.6 – Шестірня рольганга

### Варіант 13

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.7	1	08Г2ДНФЛ	7	X12M
	2	У8А	8	СЧ36
	3	Сталь 45	9	5ХНМ
	4	МА4	10	38Х2Н2МА
	5	Ст6пс	11	Фторопласт-4
	6	Сталь 60	12	Пінополістирол

**Вимоги до деталі:** підвищена в'язкість, об'ємна твердість становить HRC 28–32.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне.

**Габаритні розміри:** 300 мм × 200 мм

### Варіант 14

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.7	1	12ХН3А	7	60С2
	2	А40Г	8	ОТ4-1
	3	ЛАЖН65-5-3-1	9	40ХС
	4	03Х16Н15М	10	ХВГ
	5	16ГНМА	11	Фторопласт-4
	6	X18MФ	12	Пінополістирол

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HV 600–800.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне.

**Габаритні розміри:** 100 мм × 50 мм

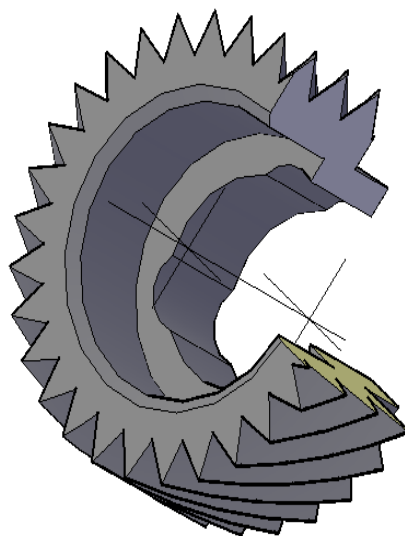
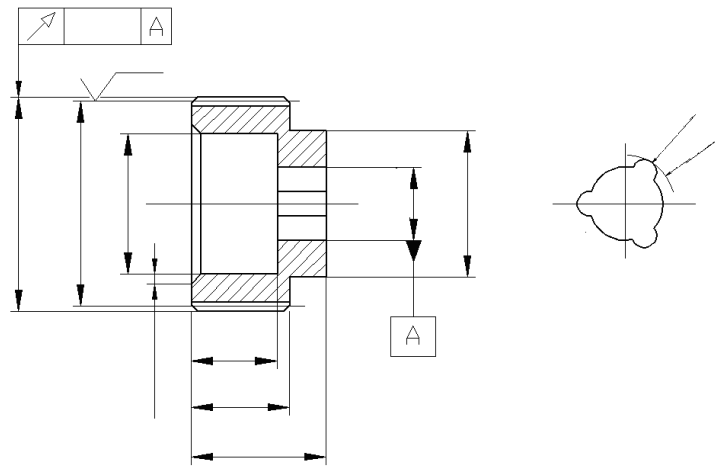


Рисунок А.7 – Шестірня з похилим зубом мультиплікатора

### Варіант 15

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.8	1	Ст5пс	7	ХВГ
	2	ШХ9	8	СЧ36
	3	40ХН	9	У8А
	4	Сталь 70	10	М2
	5	ЛО60-1	11	Поліуретан
	6	03Х16Н15М	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить HRC 56–62.

**Габаритні розміри:** 80 мм × 120 мм × 20 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 16

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.8	1	А40Г	7	ОТ4-0
	2	30ХГСА	8	4ХМФС
	3	Х12Ф4М	9	40Х
	4	09Х16Н15МЗБ	10	МЛ5
	5	60Г	11	Поліуретан
	6	ВЧ 40-6	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить HRC 60–63.

**Вимоги:** підвищена теплостійкість.

**Габаритні розміри:** 300 мм × 200 мм × 40 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

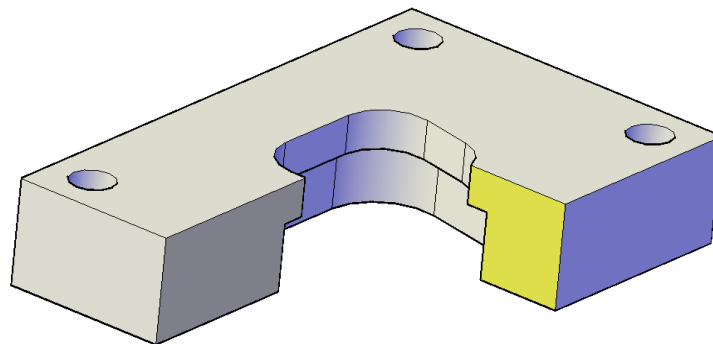
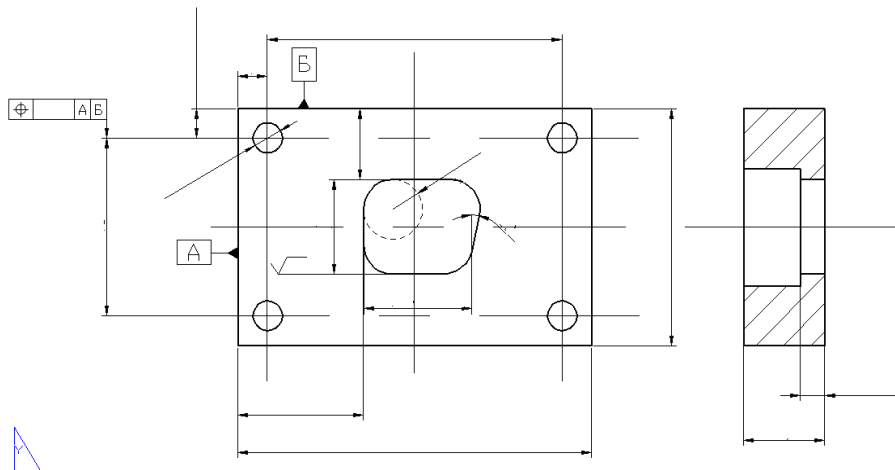


Рисунок А.8 – Матриця вирубна

### Варіант 17

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.9	1	20Л	7	КЧ60-3
	2	40Х9С2	8	ЕХ5К5
	3	12Х2Н4А	9	10Х12НД
	4	МЛ5	10	Р12
	5	БрБНТ1,9	11	Капрон
	6	БСт4КП	12	Скло-пластик

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HRC 58–63.

**Габаритні розміри:** 60 мм × 30 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 18

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.9	1	Р18	7	ХВГ
	2	10ХГ2В1М	8	40ХН
	3	08Х14МФ	9	В95
	4	БрА9Ж3Л	10	40Х13
	5	38ХМЮА	11	Капрон
	6	40Л	12	Скло-пластик

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HV 1000–1200.

**Габаритні розміри:** 160 мм × 100 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

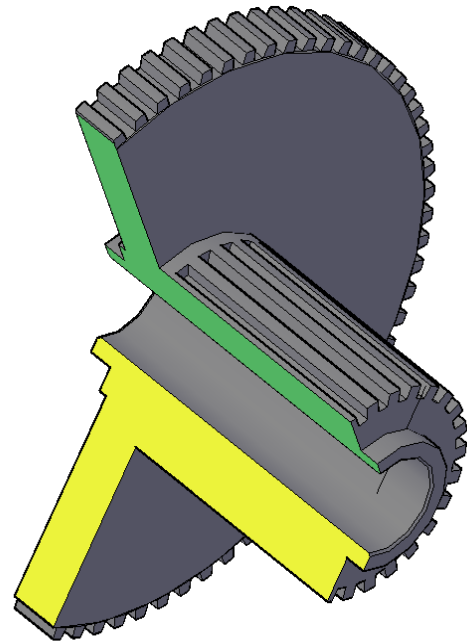
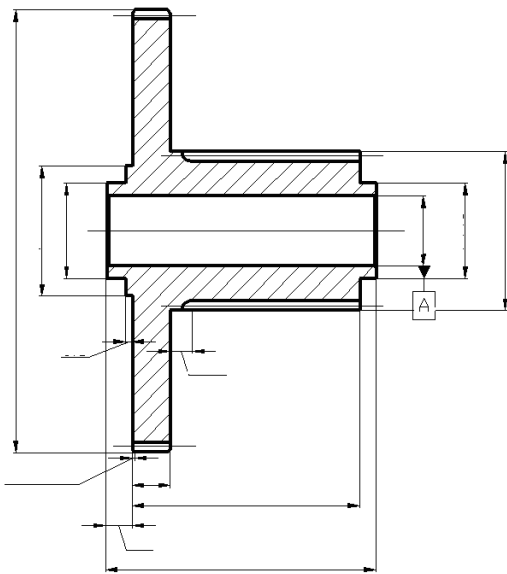


Рисунок А.9 – Блок шестерень редуктора

### Варіант 19

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.10	1	30ХГС-Ш	7	45Л
	2	55Г9Н9Х3	8	40ХЛ
	3	ЛА77-2	9	Ст7
	4	38Х2МЮА	10	СЧ 20
	5	12Х18Н12М2Т	11	Силікон
	6	Р6М5К5	12	Капрон

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить НВ 180–220.

**Габаритні розміри:** 300 мм × 100 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 20

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.10	1	08Х18Н10	7	АМц2
	2	5Х3В3МФС	8	55С2
	3	14ХМНДФР	9	А20
	4	КЧ33-8	10	35ХГСЛ
	5	38ХМЮА	11	Силікон
	6	9ХС	12	Капрон

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить НСН 28–32.

**Габаритні розміри:** 300 мм × 100 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

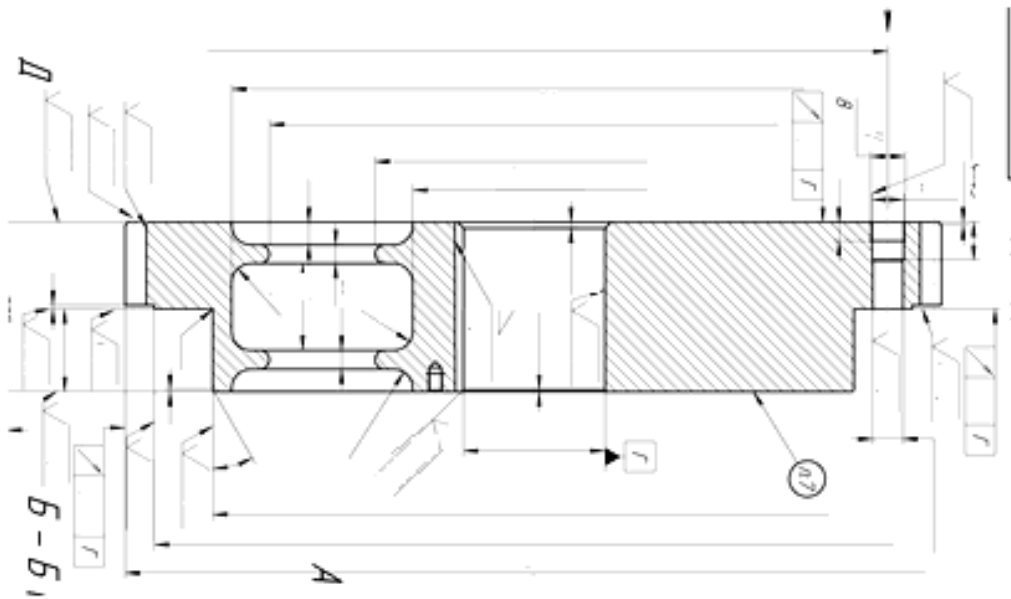


Рисунок А.10 – Зубчасте колесо лебідки

### Варіант 21

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.11	1	5ХНМ	7	Д1
	2	38Х2МЮА	8	ШХ15
	3	ЛКС65-1,5-3	9	Х12М
	4	34ХН1МА	10	12Х13
	5	Сталь 20	11	Вуглепластик
	6	12Х18Н9	12	Капрон

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HV 1000–1100.

**Габаритні розміри:** Ø 15 мм × 100 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 22

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.11	1	03Х8СЮЦ	7	Р12
	2	40Х13	8	ХВГ
	3	ТТ7К10	9	50ХФА
	4	38Х2Н2МА	10	60С2
	5	Сталь 45	11	Вуглепластик
	6	БрАЖН 5-3-2	12	Капрон

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить HB 230–260.

**Габаритні розміри:** Ø 15 мм × 100 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

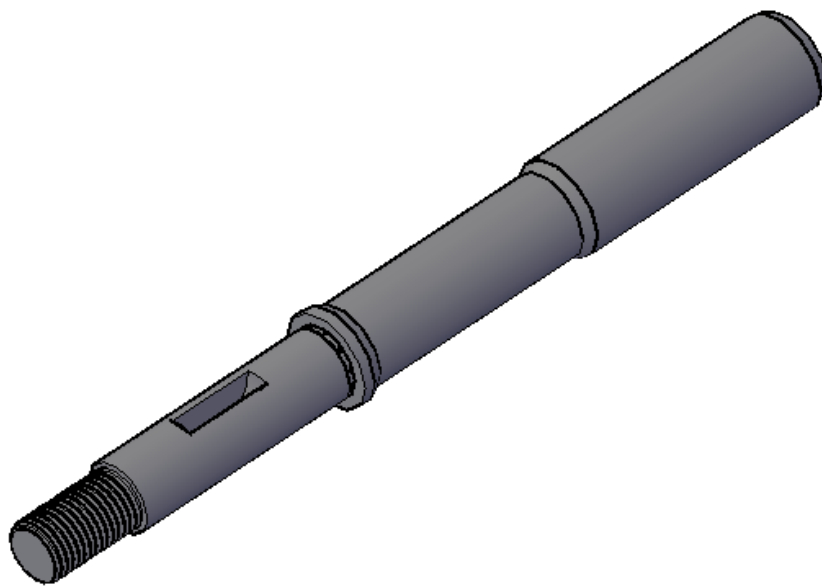
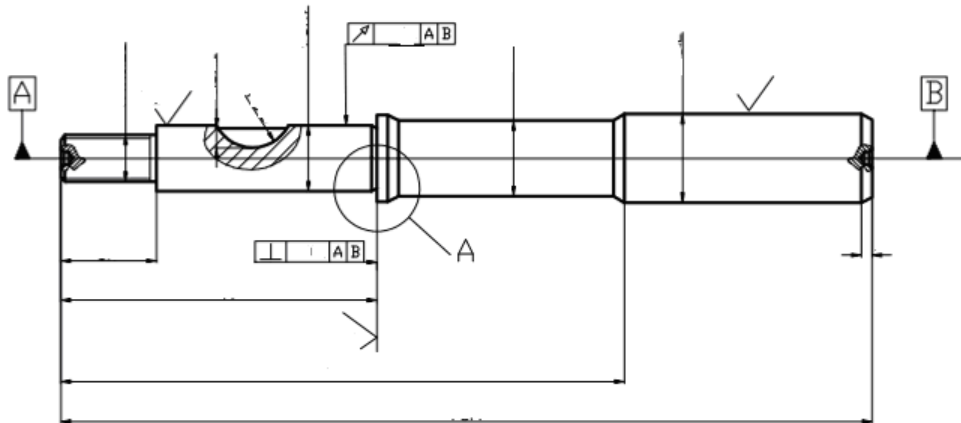


Рисунок А.11 – Вал редуктора

### Варіант 23

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.12	1	12Х13Г12АС2Н2	7	40ХН
	2	БрАЖН 5-3-2	8	МА5
	3	КЧ60-3	9	ХВГ
	4	Р6М5К5	10	40ХЛ
	5	Сталь 20Л	11	Нейлон
	6	18ХГТ	12	Фторопласт-3

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить НВ 230–260.

**Габаритні розміри:** 30 мм × 150 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 24

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.12	1	18Х2Н4МА	7	20ХНМ
	2	КЧ36-3	8	70Г2
	3	ЕХ9К15М	9	Сталь 10
	4	ШХ15СГ	10	5Х5МФС
	5	ЛЖМц59-1-1	11	Нейлон
	6	40ХН2МА	12	Фторопласт-3

**Вимоги до деталі:** ударні навантаження, поверхнева твердість становить HRC 56–62.

**Габаритні розміри:** 30 мм × 150 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

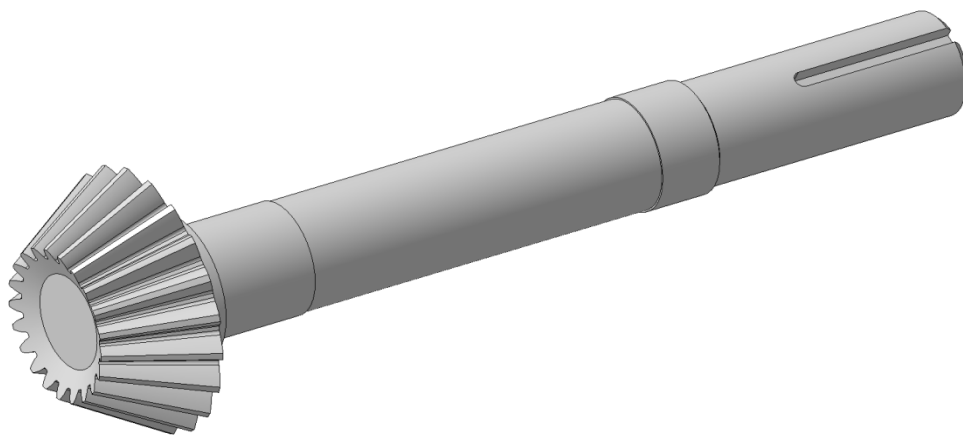
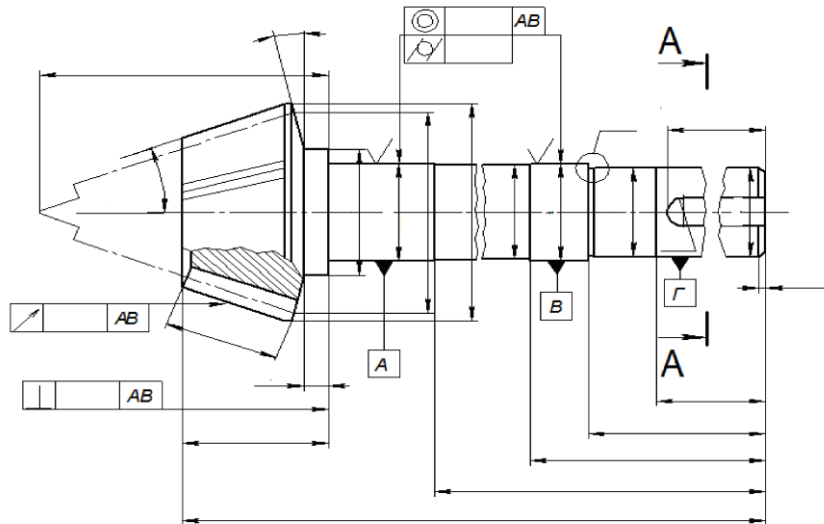


Рисунок А.12 – Вал-шестірня конічна



### Варіант 25

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.13	1	40Х	7	25Г2С
	2	МА5	8	38ХН3МФА
	3	112Х2С	9	ВЧ45
	4	20Х13	10	8Х4В2МФС2
	5	ЛС59-1	11	Фторопласт-4
	6	Р9Ф5	12	Поліуретан

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість посадкових місць становить HRC 57–63, об'ємна – HRC 26–30.

**Габаритні розміри:** Ø 30 мм × 150 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 26

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.13	1	20ХНР	7	ХВСТ
	2	Д16	8	45ХН2МФА
	3	3Х2В8	9	12Х2МФБ
	4	СЧ 28	10	40ХН
	5	А40Г	11	Фторопласт-4
	6	12ХН3А	12	Поліуретан

**Вимоги до деталі:** ударні навантаження в умовах Півночі, об'ємна твердість – HB 269–302.

**Габаритні розміри:** Ø 60 мм × 300 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

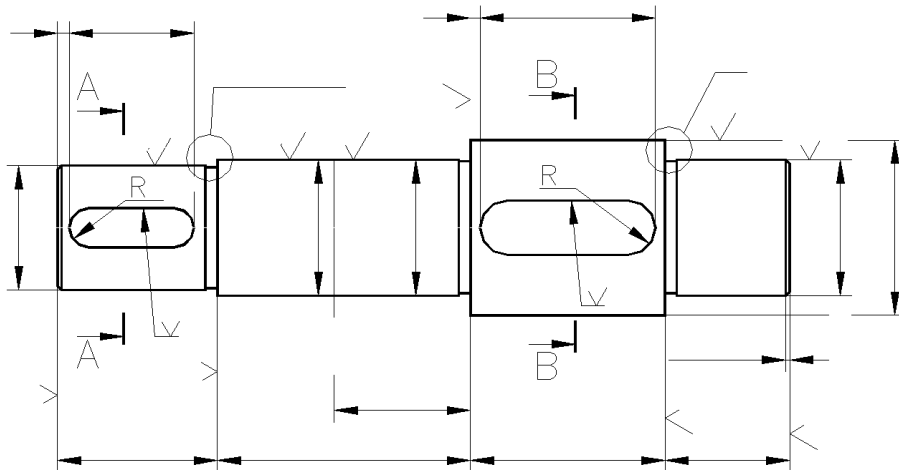


Рисунок А.13 – Вал циліндричного редуктора

### Варіант 27

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.14	1	40ХН	7	12Х2Н4А
	2	4Х5МФС	8	08Х19Н10Т
	3	08ГДНФ	9	ПЖВ-1
	4	ХВГ	10	ЛМцА 57-3-1
	5	50ХФА	11	Сталь, покрита поліуретаном
	6	ШХ15	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** періодичні ударні навантаження, поверхнева твердість становить HRC 57–64.

**Габаритні розміри:** Ø 30 мм × 150 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 28

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.14	1	20ХНР	7	60С2ХФА
	2	У10	8	Сталь 08кп
	3	СЧ15	9	Р10К5М3
	4	10Х2М	10	40ХГТР
	5	ВТ5	11	Сталь, покрита поліуретаном
	6	Т14К18	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** важконавантажена, відповідального призначення, об'ємна твердість становить HRC 50–55.

**Габаритні розміри:** Ø 30 мм × 150 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

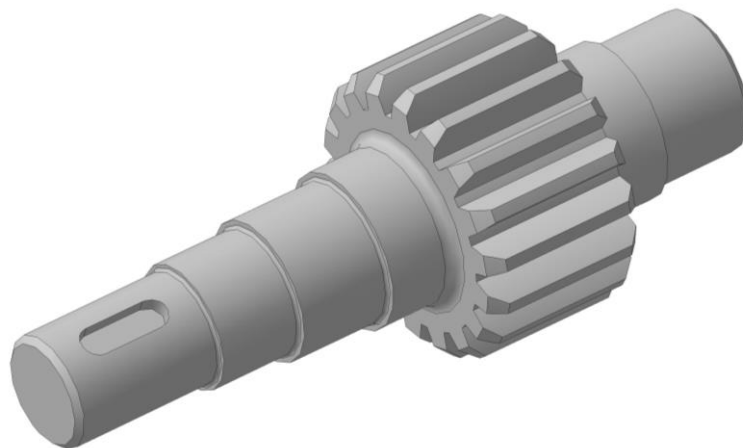
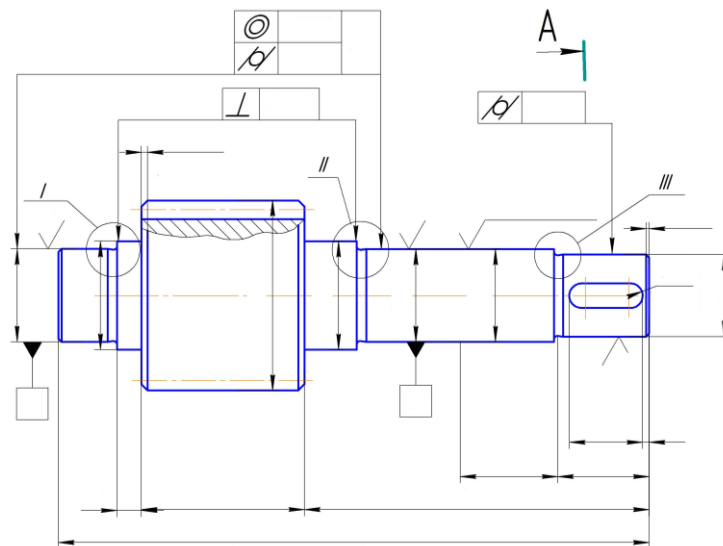


Рисунок А.14 – Вал-шестірня

### Варіант 29

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.15	1	30ХГТ	7	20Х12ВНМФ
	2	СЧ35	8	БрОЦ4-3
	3	БрМЦ5	9	40Х
	4	ШХ15	10	Х12М
	5	ВТ1-0	11	Наповнений фторопласт-4
	6	20Х13	12	Поліетилен

**Вимоги до деталі:** антифрикційність.

**Габаритні розміри:** Ø 40 мм × 30 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 30

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.15	1	Ст3кп	7	У9А
	2	ВЧ50-3	8	65Г
	3	40ХГТР	9	Х6ВФ
	4	БрАЖН10-4-4	10	Сталь 20
	5	08Х14МФ	11	Наповнений фторопласт-4
	6	ЛЦ38Мц2Ц2	12	Поліетилен

**Вимоги до деталі:** антифрикційність.

**Габаритні розміри:** Ø 40 мм × 30 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

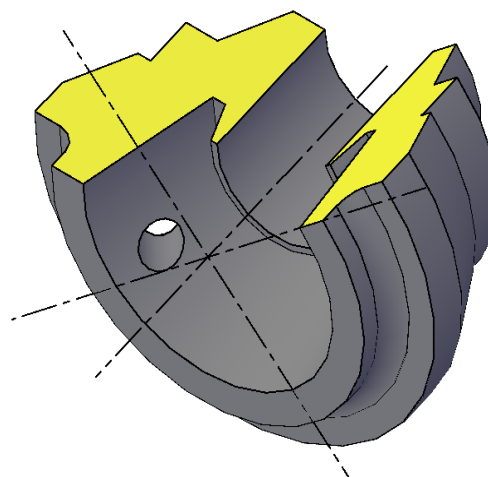
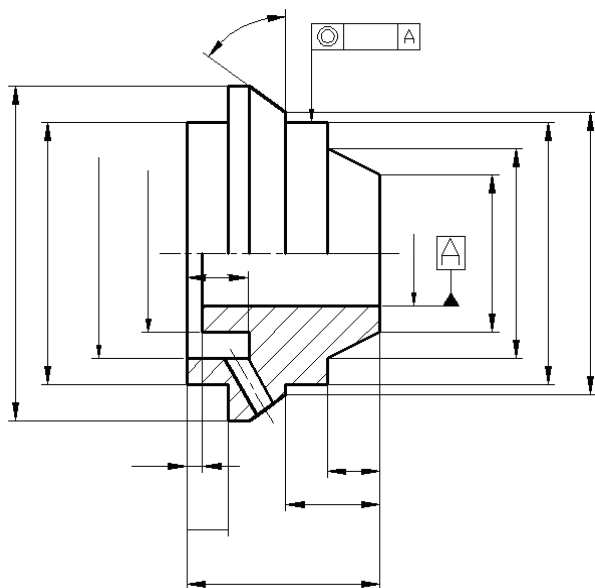


Рисунок А.15 – Втулка амортизатора

### Варіант 31

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.16	1	В95	7	38Х2МЮА
	2	А20Г	8	Сталь 20
	3	У7А	9	Р12Ф4К5
	4	ВЧ 45	10	Х12Ф4М
	5	35Г2	11	Т6К5
	6	9ХС	12	Ебоніт

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: одиничне.  
Габаритні розміри:  $\varnothing 10 \text{ мм} \times 80 \text{ мм}$

### Варіант 32

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.16	1	ХВГ	7	Х12Ф4М
	2	20ХН	8	4Х5МФС
	3	Р18	9	Ст4пс
	4	30ХГТ	10	БрАЖМц 10-3-1,5
	5	15Х28	11	Т6К5
	6	ЧХ1	12	Ебоніт

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: серійне.  
Габаритні розміри:  $\varnothing 30 \text{ мм} \times 150 \text{ мм}$

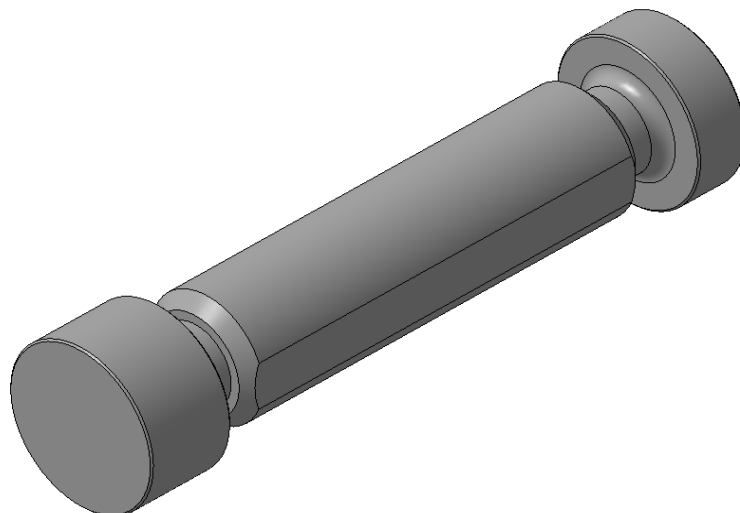
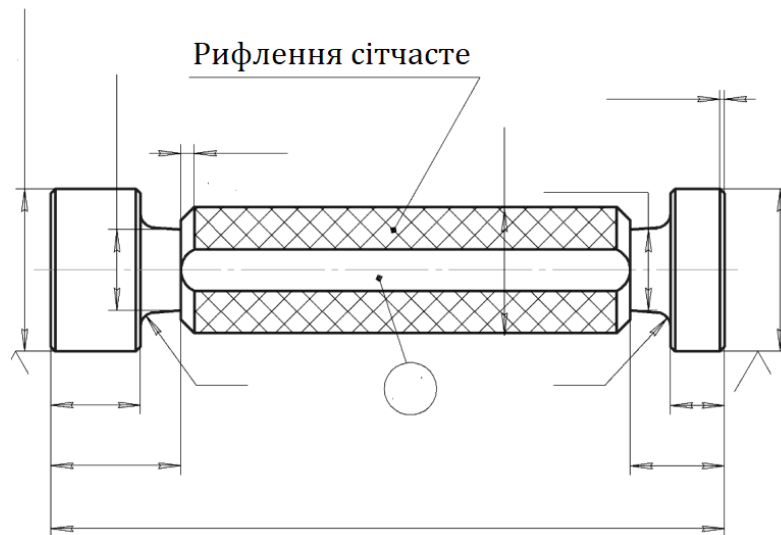


Рисунок А.16 – Інструмент – пробка

### Варіант 33

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.17	1	ВЧ40	7	5Х3ВЗМФС
	2	БрА9Ж3	8	10Х13Н7
	3	У10А	9	5ХНМ
	4	Х12Ф1	10	Сталь 20
	5	40ХФА	11	Гети-накс
	6	ШХ9	12	Полі-карбонат

Вимоги: стабільність розмірів.

Габаритні розміри: 100 мм × 8 мм.

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: серійне

### Варіант 34

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.17	1	БрБНТ1,9Мг	7	Р6М5
	2	14ХМНДФР	8	5ХНМ
	3	7ХГ2ВМФ	9	СЧ35
	4	ШХ15СГ	10	38ХГН
	5	60С2ХФА	11	Гети-накс
	6	Сталь 50Г	12	Полі-карбонат

Габаритні розміри: 300 мм × 10 мм.

Серійність виробництва під час

оброблення заготовки: одиничне

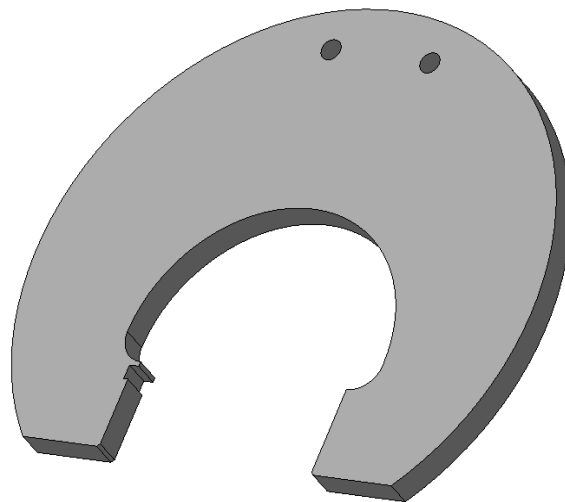
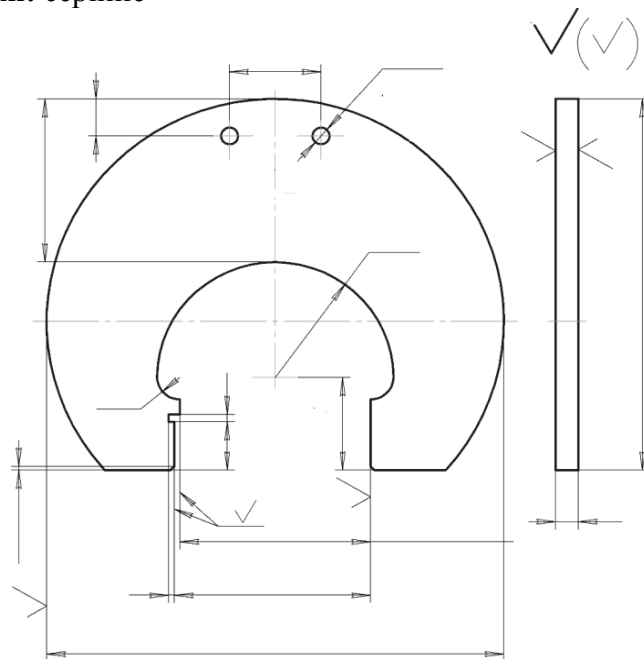


Рисунок А.17 – Інструмент – скоба

### Варіант 35

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.18	1	У12А	7	БрКМц3-1
	2	ХВГ	8	Р5М5К5
	3	60С2	9	Сталь 45
	4	110Г13Л	10	12Х18Н10Т
	5	Б16	11	ТТ5К6
	6	ХН60Ю	12	Акрил

**Вимоги:** застосовується для оброблення кольорових сплавів.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 100 \text{ мм} \times 20 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 36

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.18	1	АК7	7	Р18К5Ф2
	2	9ХС	8	38Х2МЮА
	3	АМг5	9	3Х3М3А
	4	Х12М	10	14ХМНДФР
	5	35ГЛ	11	ТТ5К6
	6	МЛ19	12	Акрил

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 50 \text{ мм} \times 15 \text{ мм}$

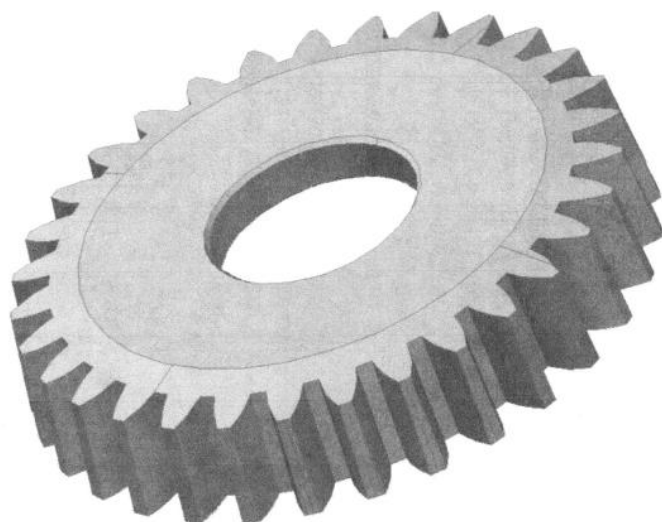
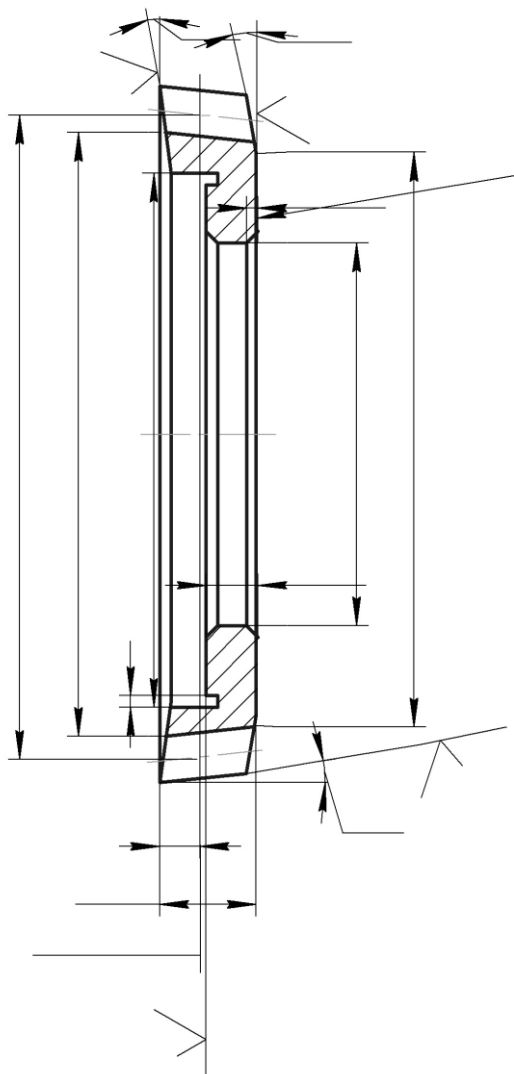


Рисунок А.18 – Довб'як дисковий

### Варіант 37

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.19	1	АК4	7	4Х5МФС
	2	Р6М5	8	Х27Ю5Т
	3	ШХ9	9	БрА10Ж3Мц2
	4	У8	10	03Х16Н15М
	5	ХВГ	11	Фторопласт-4
	6	Х12М	12	Капрон

**Вимоги:** для лиття під тиском алюмінієвих сплавів, висока розжаростійкість.

**Габаритні розміри:** Ø 40 мм × 150 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 38

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.19	1	5ХНМ	7	15Х13Л
	2	Х18МФ	8	СЧ36
	3	ХВГ	9	12Х17
	4	А40Г	10	55Х
	5	Сталь 50	11	Фторопласт-4
	6	3Х3М3Ф	12	Капрон

**Вимоги:** для лиття під тиском термопластів.

**Габаритні розміри:** Ø 30 мм × 100 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

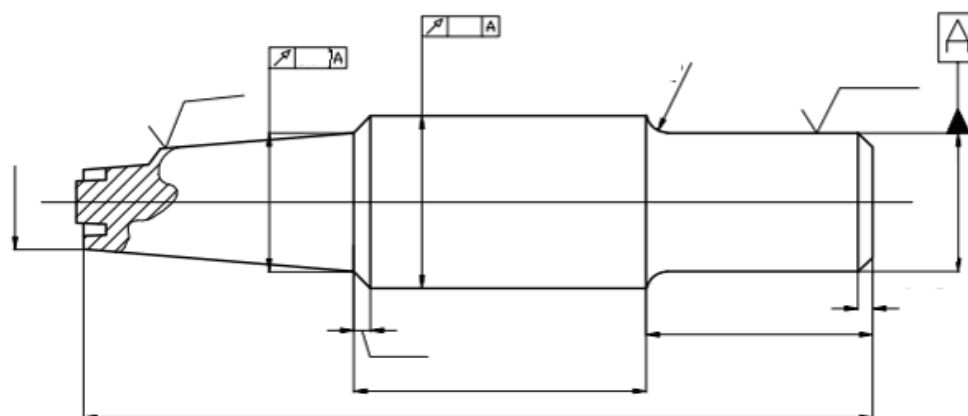


Рисунок А.19 – Стрижень ливарний

### Варіант 39

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.20	1	ВЧ50	7	Х12Ф4М
	2	МА4	8	Сталь 40
	3	9ХС	9	Сталь 50Г
	4	У8А	10	7ХГ2ВМФ
	5	20Х	11	Поліетилен
	6	БрБ2	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить НВ 200–240.

**Габаритні розміри:** Ø 200 мм × 300 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 40

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.20	1	АК6	7	12Х18Н10Т
	2	110Г13Л	8	55ХГР
	3	Х6ВФ	9	БрКд1
	4	Х12	10	БрА9Ж3Л
	5	20Х13	11	Поліетилен
	6	ЕХ5К5	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** стійкість до атмосферної корозії.

**Габаритні розміри:** Ø 200 мм × 300 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

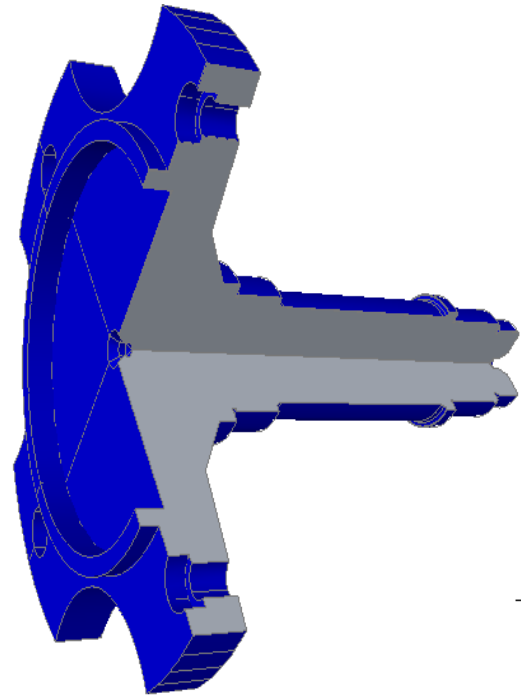
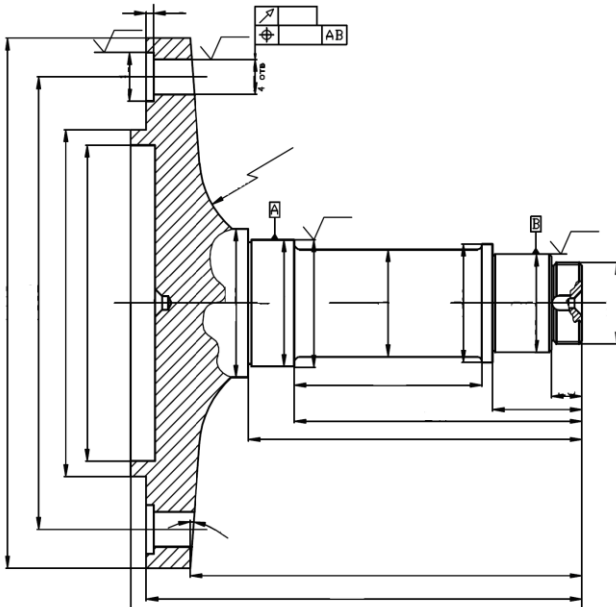


Рисунок А.20 – Водило планетарного редуктора



### Варіант 41

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.21	1	X12	7	БрАЖ9-4Л
	2	X6ВФ	8	Сталь 45
	3	XВГ	9	40Х9С2
	4	P6M5	10	ВЧ 40-6
	5	ВК6	11	ВК8
	6	65Г	12	Поліуретан

**Вимоги до деталі:** призначити марку сплаву для виготовлення різальної пластини (позиція 1) розвертки.

**Габаритні розміри:** Ø 20 мм × 200 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

### Варіант 42

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.21	1	ВК6	7	ЧЮ7Х2
	2	ЕХ5К5	8	БрА9Ж3Л
	3	У7А	9	10ХГ2В1М
	4	40Х9С2	10	Сталь 70
	5	9ХС	11	ВК8
	6	40Х	12	Поліуретан

**Вимоги до деталі:** призначити марку сплаву для виготовлення державки (позиція 2) розвертки.

**Габаритні розміри:** Ø 20 мм × 200 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** масове

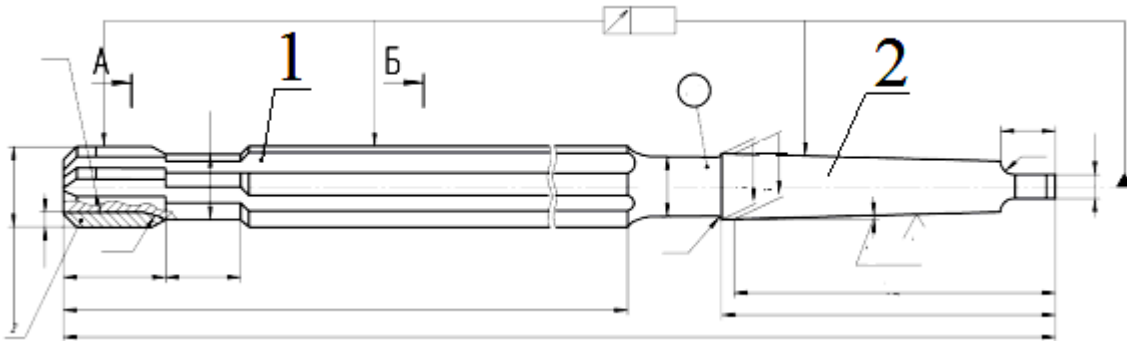


Рисунок А.21 – Інструмент – розвертка

### Варіант 43

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.22	1	ЧВГ30	7	ВК6-М
	2	Д1	8	38ХМЮА
	3	40Х	9	70С2ХА
	4	Х12М	10	Р6М5К5
	5	65Г	11	Полістирол
	6	9ХС	12	Наповнений фторопласт-4

**Вимоги:** для оброблення низьковуглецевих конструкційних сталей.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 20 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 44

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.22	1	Д16	7	4Х5МФС
	2	ВК6-М	8	ХВГ
	3	ХВГ	9	16ГНМА
	4	40Х	10	ШХ15
	5	СЧ 20	11	Полістирол
	6	Р18	12	Наповнений фторопласт-4

**Вимоги:** для оброблення кольорових сплавів.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 20 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

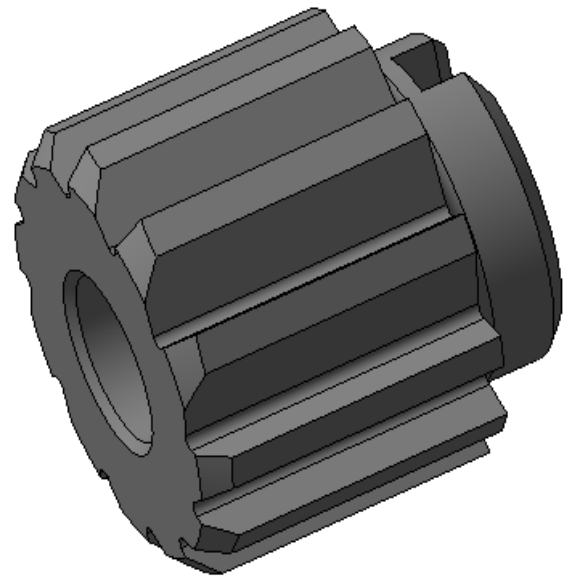
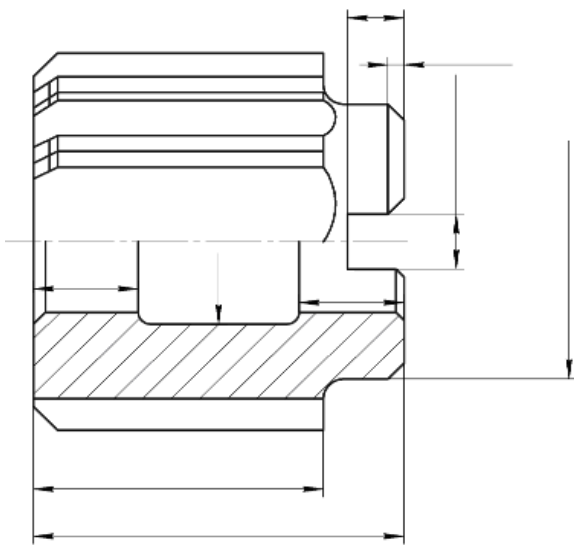


Рисунок А.22 – Головка розвертки

### Варіант 45

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.23	1	ВЧ70	7	Сталь 50
	2	95Х18	8	Р18К5Ф2
	3	У10	9	30Г2
	4	ШХ15	10	ЛС59-1
	5	20ХНР	11	ВК9
	6	ХВГ	12	Ебоніт

**Вимоги:** для оброблення корозійностійких сталей.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне.

**Габаритні розміри:** Ø 10 мм × 80 мм

### Варіант 46

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.23	1	СЧ 20	7	БрОЦ4-3
	2	У8А	8	ТТ14К18
	3	35ХМ	9	Х12Ф1
	4	ЛС59-1	10	Сталь 20
	5	ВЧ80	11	ВК9
	6	Д16	12	Ебоніт

**Вимоги:** для оброблення пластмас.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне.

**Габаритні розміри:** Ø 15 мм × 120 мм

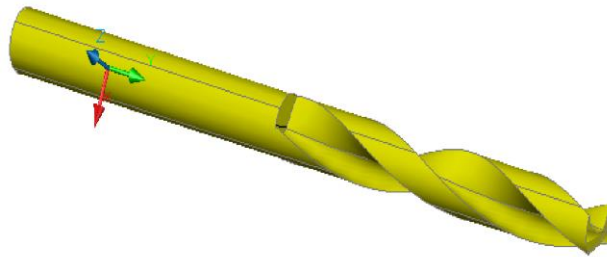
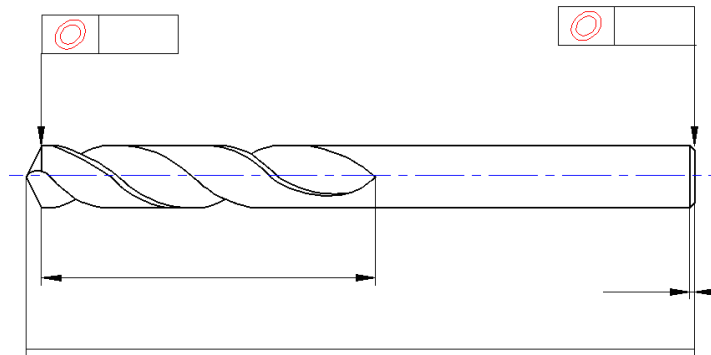


Рисунок А.23 – Спиральне свердло

### Варіант 47

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.24	1	9ХС	7	БрОФ6,5-0,4
	2	Х12М	8	Х6Ф4М
	3	У12А	9	75ХМ
	4	5ХНМ	10	20Х
	5	ВК6	11	ВК8
	6	Б16	12	Поліметил-метакрилат

**Вимоги:** для оброблення деревини.

**Габаритні розміри:** Ø 10 мм × 80 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 48

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.24	1	ВЧ100	7	5Х2МНФ
	2	У7	8	120Х2С
	3	55ХГР	9	12ХН3А
	4	ЛС59-1	10	4Х5МФС
	5	ХВГ	11	ВК8
	6	Т15К6	12	Поліметил-метакрилат

**Вимоги:** для оброблення термопластів.

**Габаритні розміри:** Ø 15 мм × 120 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

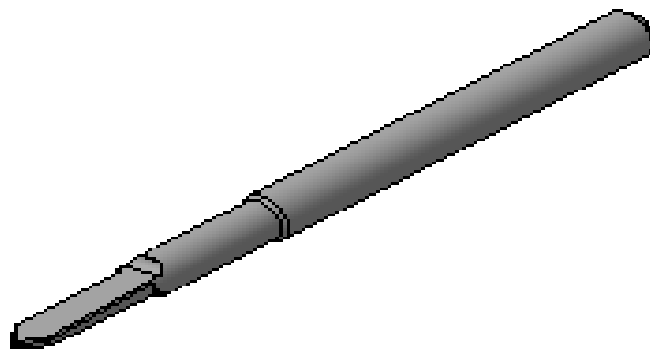
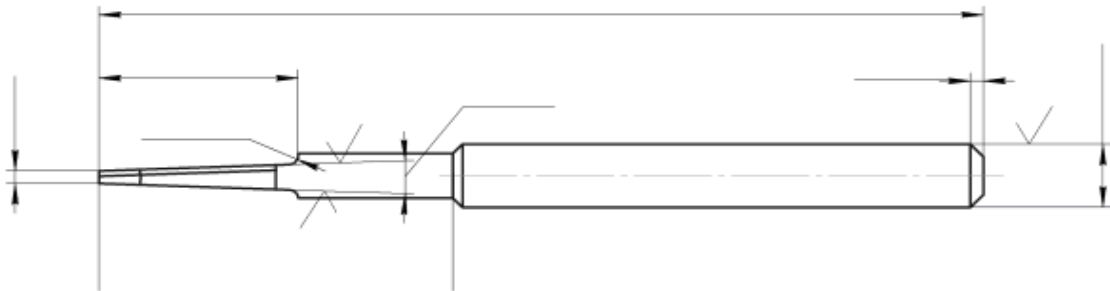


Рисунок А.24 – Пір'яне свердло

### Варіант 49

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.25	1	ЧВГ35	7	40ХН2МА
	2	БрБ2	8	5ХНВС
	3	Р18Ф2	9	38Х2Н2ВА
	4	У7А	10	60С2
	5	Х12	11	Капрон
	6	ВК3	12	Текстоліт

**Вимоги:** для оброблення середньовуглецевих конструкційних сталей.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 50 \text{ мм} \times 80 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 50

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.25	1	Д18	7	30Х3МФ
	2	У11А	8	5ХНМ
	3	40Х	9	12Х2Н4А
	4	ВЧ45	10	6ХВ2С
	5	Ст4 пс	11	Капрон
	6	Р6М5	12	Текстоліт

**Вимоги:** для оброблення деревини.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 20 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

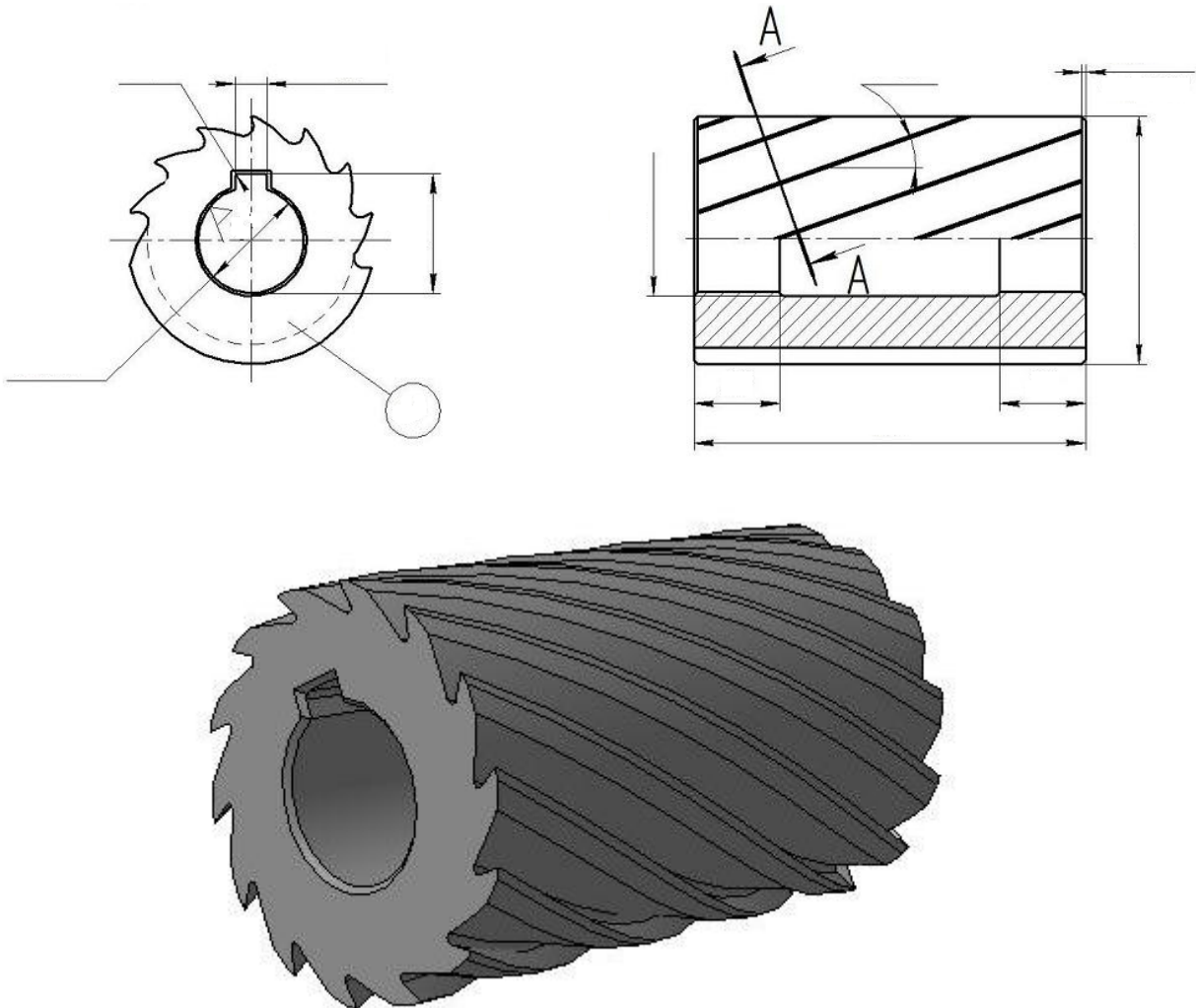


Рисунок А.25 – Фреза циліндрична

### Варіант 51

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.26	1	ВТ4	7	САП-1
	2	5ХНВС	8	30ХГСН2А
	3	20Х13	9	ТТ7К12
	4	ХВГ	10	Сталь 35
	5	Х12	11	Скло-пластик
	6	Б16	12	Капрон

**Вимоги:** підвищена корозійна стійкість.

**Габаритні розміри:** 30 мм × 20 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 52

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.26	1	ВЧ80	7	40ХГНР
	2	70Г2	8	12Х18Н10Т
	3	45Х	9	ЛАЖ 60-1-1
	4	Ст3кп	10	ХВГ
	5	Р9	11	Скло-пластик
	6	У10А	12	Капрон

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне.

**Габаритні розміри:** 100 мм × 80 мм

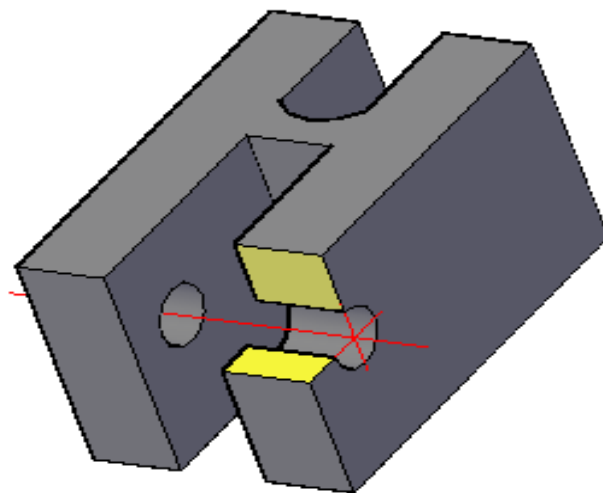
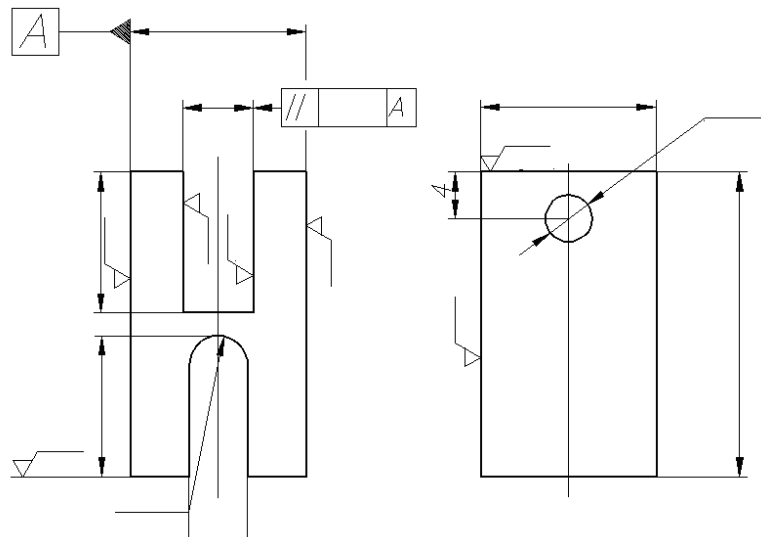


Рисунок А.26 – Опора кульового підшипника

### Варіант 53

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.27	1	0Н9	7	36Х2Н2МФА
	2	40ХЛ	8	БрАЖН 5-3-2
	3	ЧВГ 45	9	Р18Ф2К5
	4	40ХН	10	ШХ15СГ
	5	5ХНМ	11	Капрон
	6	У10А	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** призначити марку сплаву для виготовлення різальної частини протяжки для оброблення високолегованих сталей.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 20 \text{ мм} \times 300 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 54

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.27	1	АМц	7	Х12М
	2	18ХГТ	8	18Х2Н4МА
	3	Р6М5	9	40Х2Н2ВА
	4	70Г2	10	Х6ВФ
	5	ВК3	11	Капрон
	6	КЧ36-3	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** призначити марку сплаву для виготовлення різальної частини протяжки для оброблення низьколегованих сталей.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 12 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

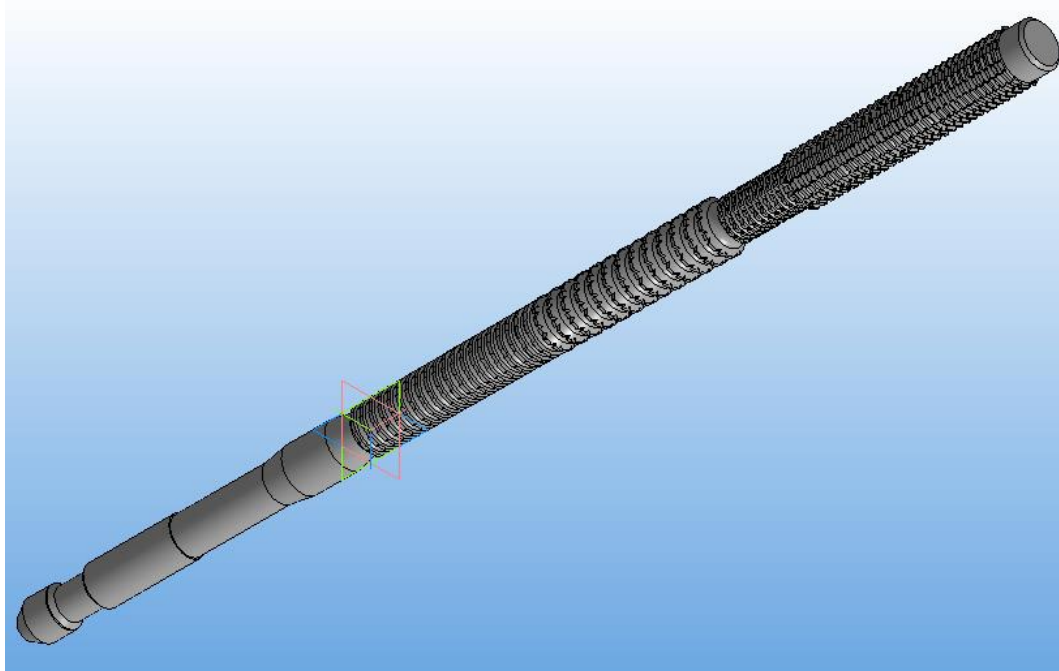
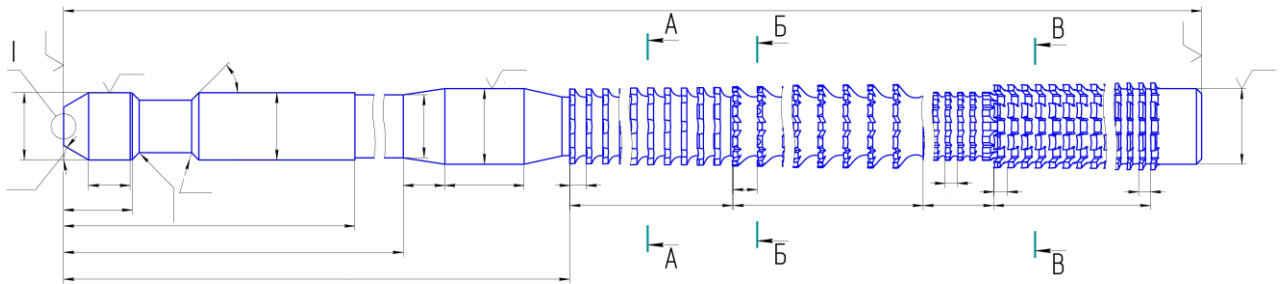


Рисунок А.27 – Протяжка

### Варіант 55

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.28	1	ОТ4	7	3ХЗМЗФ
	2	Р6М5	8	38ХМЮА
	3	ХВГ	9	КЧ37-12
	4	У7	10	110Г13Л
	5	40Х	11	СВАМ
	6	30Х13	12	Сталь, покрита шаром фторопласту-3

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить НВ 269–302.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 56

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.28	1	Д20	7	70С2ХА
	2	30Х13	8	08Х19Н10Т
	3	45ХГН	9	ЧХ3Т
	4	У10А	10	Х12ВМ
	5	5ХГМ	11	СВАМ
	6	25Г2С	12	Сталь, покрита шаром фторопласту-3

**Вимоги до деталі:** висока корозійна стійкість.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

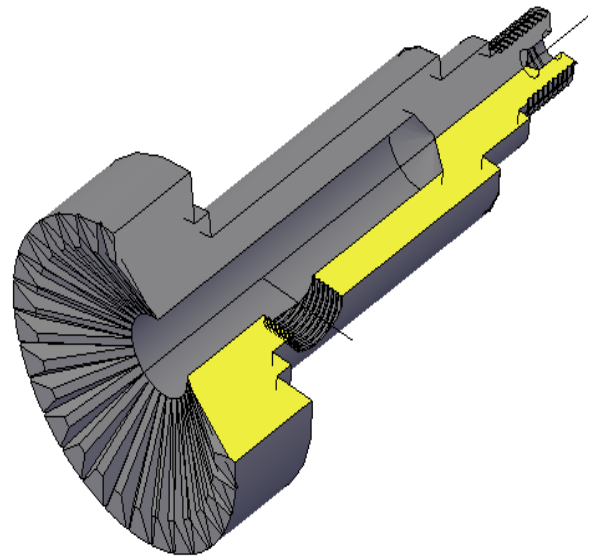
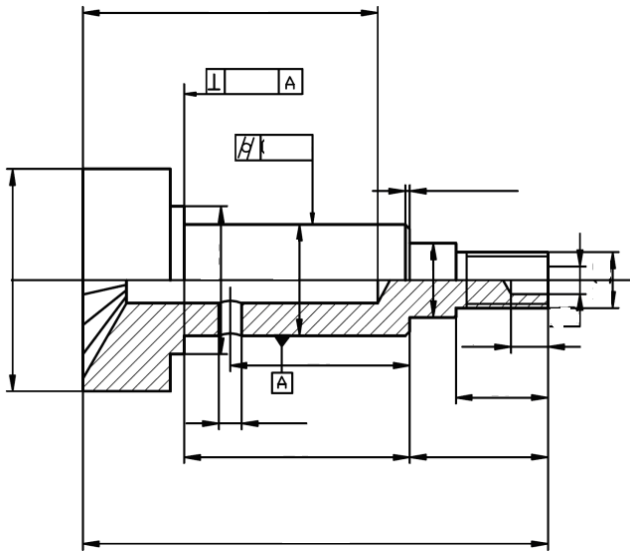


Рисунок А.28 – Гвинт потайний спеціальний



### Варіант 57

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.29	1	ЧХ28	7	P10Ф5К5
	2	20Х	8	38ХН3МФА
	3	5ХНМ	9	T5K10
	4	90ХФ	10	20Х13
	5	ХВГ	11	ДСП
	6	У7	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** висока корозійна стійкість.  
**Габаритні розміри:**  $\varnothing 200 \text{ мм} \times 80 \text{ мм}$ .  
**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 58

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.29	1	113Г13	7	65С2ВА
	2	30Х13	8	ЧХ30Н2
	3	ХГС	9	ВК6-В
	4	ВЧ70	10	Сталь 50
	5	40ГР	11	ДСП
	6	6ХВГ	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** висока зносостійкість.  
**Габаритні розміри:**  $\varnothing 350 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$ .  
**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

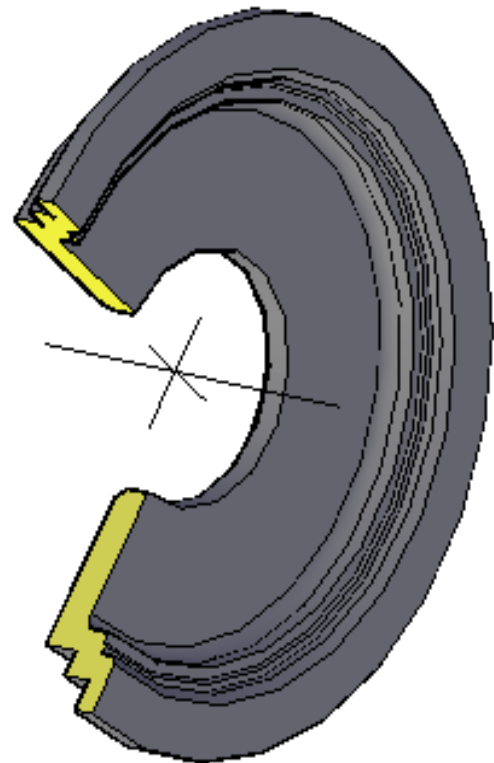
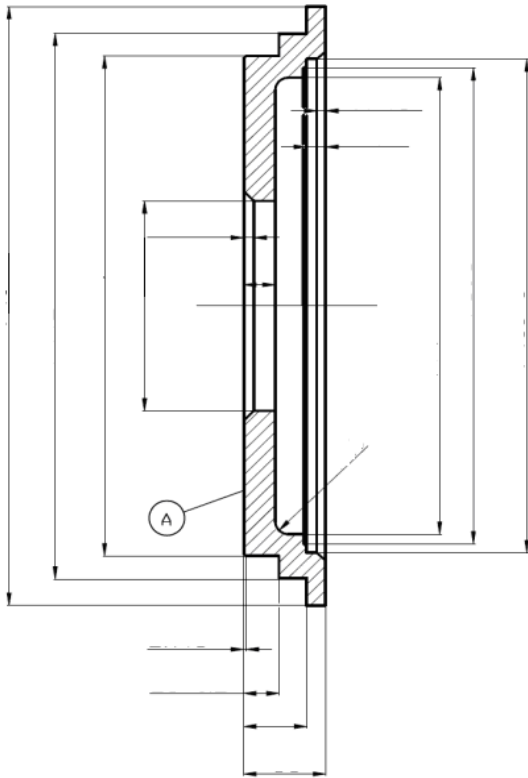


Рисунок А.29 – Диск відцентрового насоса

### Варіант 59

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.30	1	ЧС15	7	27Х2Н2М1Ф
	2	5ХНМ	8	50ХФА
	3	У10	9	Р6М5
	4	ХВГ	10	ЛЦ23АЖЗМц2
	5	ШХ6	11	Полісти-рол
	6	40Х	12	Фторо-пласт-3

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість HRC 48–52.

**Габаритні розміри:** Ø 10 мм × 50 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 60

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.30	1	ЧХ1	7	60С2ВА
	2	30Х13	8	38Х2МЮА
	3	20ХГСА	9	ВСт3Гпс
	4	95Х18	10	08Х18Н10
	5	Х12М	11	Полісти-рол
	6	Бр.ОФ10-1	12	Фторо-пласт-3

**Вимоги до деталі:** висока корозійна стійкість.

**Габаритні розміри:** Ø 20 мм × 100 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

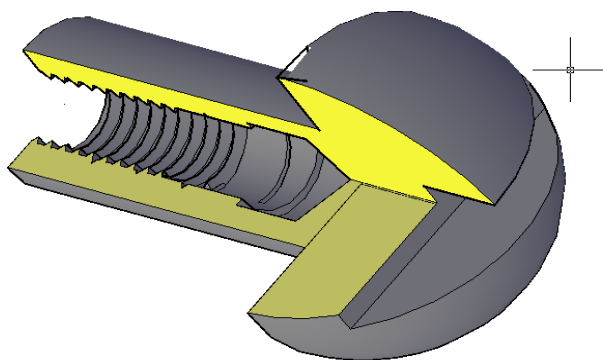
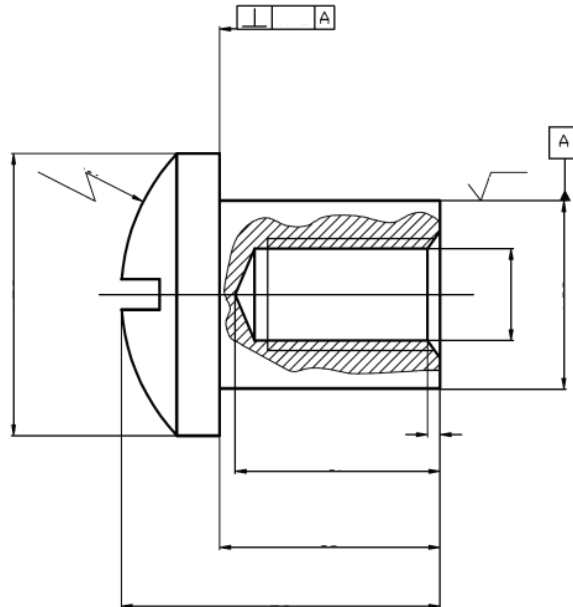


Рисунок А.30 – Гвинт-вісь коробки передач

### Варіант 61

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.31	1	ЧХЗТ	7	4Х5МФС
	2	40ХГНР	8	СЧ35
	3	МЗ	9	1Х2М1
	4	ВТ15	10	12ХН4ВА
	5	У10	11	ВК8
	6	ХВГ	12	Поліуретан

**Вимоги:** для оброблення полімерів.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 20 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 62

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.31	1	ВТ6С	7	10Г2С1Д
	2	6ХВГ	8	Х12М
	3	Х6ВФ	9	Р12
	4	ШХ20СГ	10	9Х2
	5	50Г	11	ВК8
	6	55ХГР	12	Поліуретан

**Вимоги:** для оброблення середньовуглецевих конструкційних сталей.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 50 \text{ мм} \times 80 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

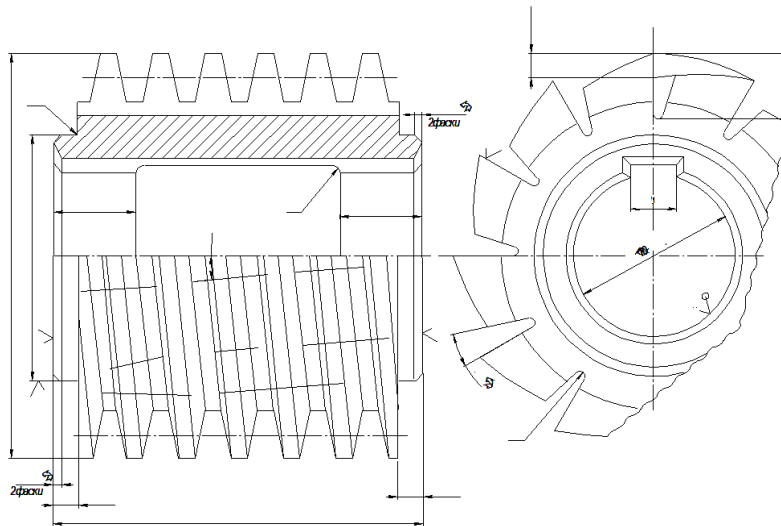


Рисунок А.31 – Фреза модульна

### Варіант 63

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.32	1	ЧС17	7	40ХН
	2	12Х18Н9	8	Р9
	3	6ХС	9	15ХГНМ
	4	12ХН3А	10	50ХФА
	5	ТТ7К12	11	Гума
	6	18ХГТ	12	Полістирол

**Вимоги до деталі:** працює при температурах до  $-60\text{ C}$ , об'ємна твердість становить НВ 269–302.

**Габаритні розміри:**  $M20 \times 1$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 64

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А32	1	ЧН2Х	7	5ХВ2С
	2	Х12	8	14Х17Н2
	3	95Х18	9	30Х13
	4	Р18	10	110Г13Л
	5	40ХГНМ	11	Гума
	6	45ХН	12	Полістирол

**Вимоги до деталі:** підвищена корозійна стійкість в атмосферних умовах.

**Габаритні розміри:**  $M50 \times 1,5$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

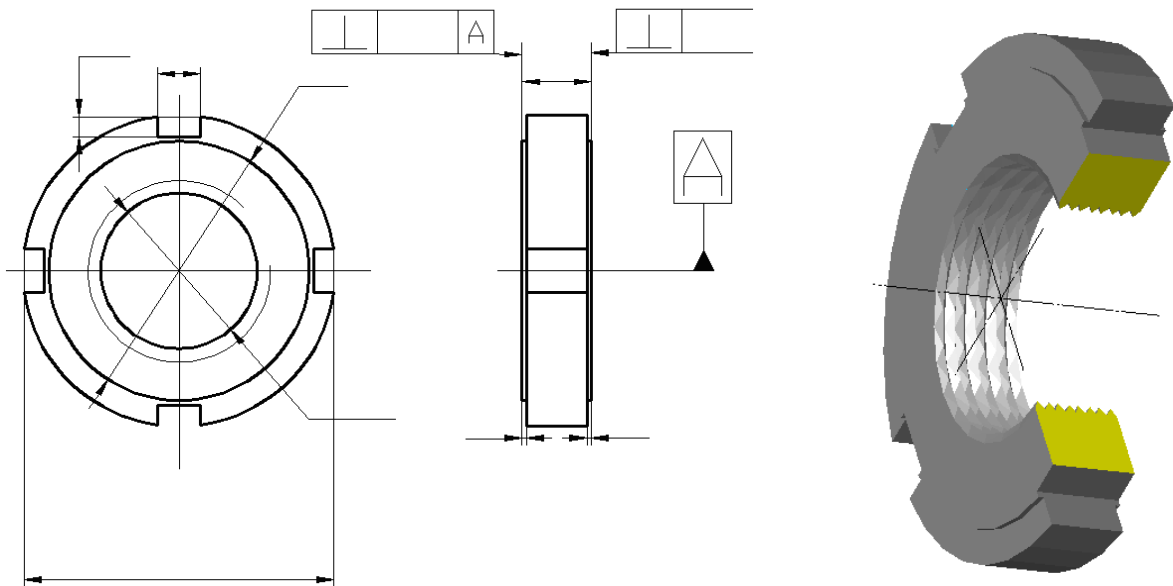


Рисунок А.32 – Гайка кругла

### Варіант 65

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.33	1	ЧЮХШ	7	ХВГ
	2	40ХГНР	8	Х6ВФ
	3	12Х18Н10Т	9	ВТ15
	4	5ХГМ	10	ШХ6
	5	50С2	11	ТТК6
	6	20ХМ	12	Текстоліт

**Вимоги:** для оброблення термопластів.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне.

**Габаритні розміри:** Ø 15 мм × 80 мм

### Варіант 66

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.33	1	АЧС-3	7	25ХГНМТ
	2	60ХН	8	60С2Н2А
	3	У12А	9	ЛКС65-1,5-3
	4	12ХН3А	10	45ХН2МФА
	5	Р9Ф5	11	ТТК6
	6	38ХС	12	Текстоліт

**Вимоги:** для оброблення корозійностійких сталей.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне.

**Габаритні розміри:** Ø 10 мм × 60 мм

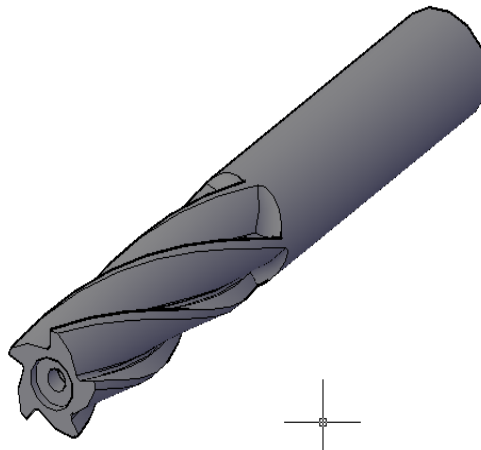
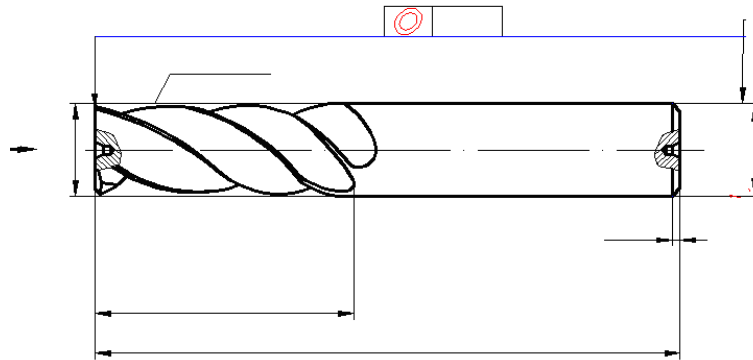


Рисунок А.33 – Фреза торцева

### Варіант 67

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.34	1	5ХНВС	7	ХН77ТЮР
	2	11М5ФС	8	4Х4М2ВФС
	3	Бр А7	9	Р9М4К8
	4	АЧК-2	10	08Х18Т
	5	У8А	11	Поліетилен
	6	АЛ2	12	Склопластик

**Вимоги:** для експлуатації в умовах високоагресивного середовища.

**Габаритні розміри:** 50 мм × 20 мм × 5 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 68

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.34	1	ЧЮ30	7	ТТ14К18
	2	У8А	8	БрА10ЖЗМц2
	3	Р9К5	9	Бр.АЖН10-4-4
	4	Сталь 45	10	38ХМЮА
	5	А40Г	11	Поліетилен
	6	20Г	12	Склопластик

**Вимоги:** відповідальний виріб, підвищена зносостійкість.

**Габаритні розміри:** 50 мм × 20 мм × 5 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

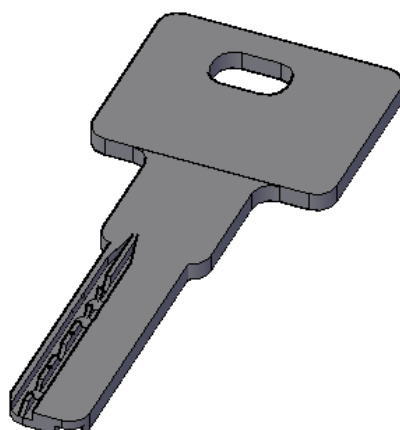
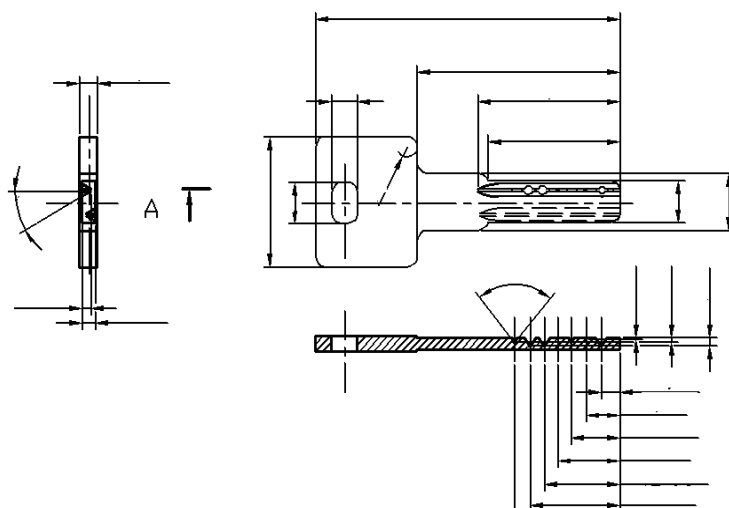


Рисунок А.34 – Ключ

### Варіант 69

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.35	1	Р6М5К5	7	ЧЮ22Ш
	2	X12M	8	ТТ7К10
	3	Ст7	9	12Х18Н12М2Т
	4	60ХГ	10	38Х2МЮА
	5	25ХГМ	11	Фторо-пласт-4
	6	ШХ4	12	Скло-пластик

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: одиничне.

Габаритні розміри:  $\varnothing 20 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$

### Варіант 70

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.35	1	АМц2	7	11Р3АМ3Ф2
	2	У10	8	ШХ15СГ
	3	9ХС	9	5Х3В3МФС
	4	35Г	10	Сталь 20
	5	55С2	11	Фторо-пласт-4
	6	КЧ33-8	12	Скло-пластик

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: серійне.

Габаритні розміри:  $\varnothing 100 \text{ мм} \times 30 \text{ мм}$

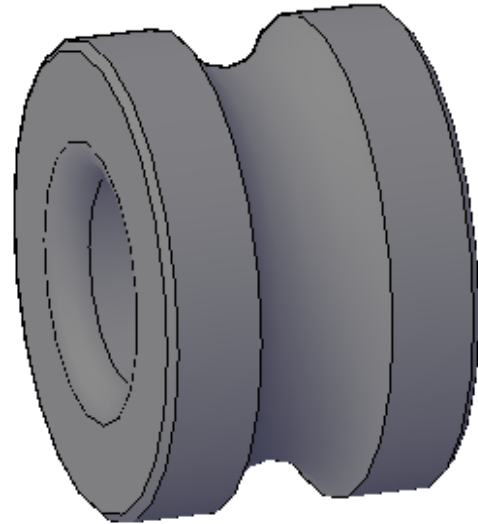
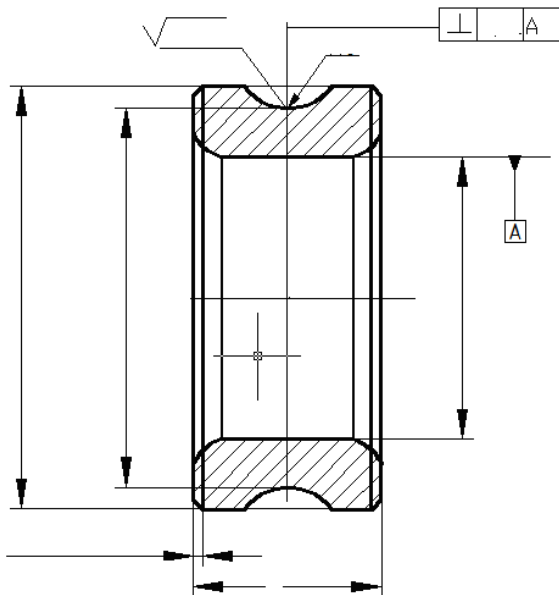


Рисунок А.35 – Кільце підшипника

### Варіант 71

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.36	1	40Х	7	3Х2Н2МВФ
	2	12Х13	8	ЛКС65-1,5-3
	3	АТ4	9	Сталь 20
	4	5ХНМ	10	Х12М
	5	ШХ15	11	ДСП
	6	ХВ4	12	Текстоліт

**Вимоги:** естетичний вигляд.

**Габаритні розміри:** Ø 20 мм × 50 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 72

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.36	1	У10	7	Сталь 20
	2	Р6М5	8	12Х18Н9
	3	АЛ2	9	34ХН1МА
	4	30ХН	10	38Х2МЮА
	5	ОТ4-0	11	ДСП
	6	Р18	12	Текстоліт

**Вимоги:** корозійна стійкість.

**Габаритні розміри:** Ø 20 мм × 50 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

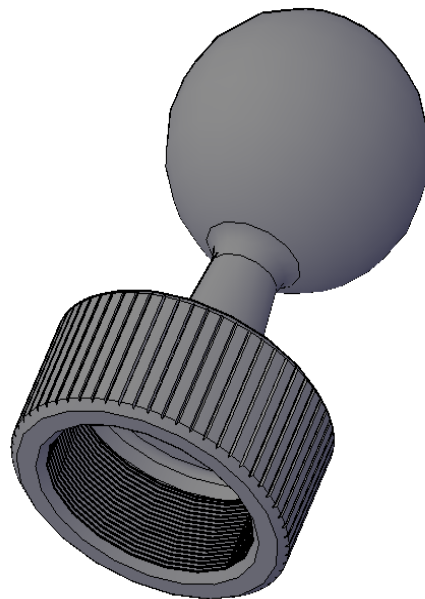
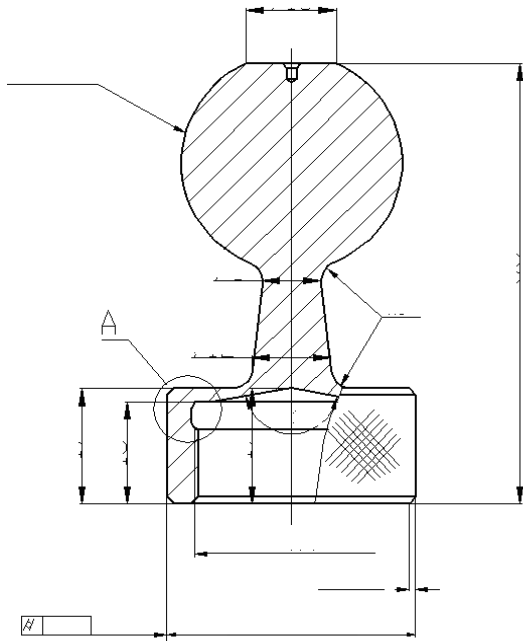


Рисунок А.36 – Рукоятка коробки швидкостей



### Варіант 73

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.37	1	BT6	7	60C2XФА
	2	60C2	8	P18
	3	У10	9	Сталь 45
	4	50XФА	10	40X13
	5	X	11	Ебоніт
	6	A30	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** призначити марку сталі для виготовлення ножа (позиція 1), для оброблення м'яких порід деревини.

**Габаритні розміри:** 20 мм × 100 мм × 2 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 74

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.37	1	6XBГ	7	ШХ15
	2	X12M	8	ЛКС65-1,5-3
	3	XBГ	9	60Г
	4	P6M5	10	5XHM
	5	BT5-1	11	Ебоніт
	6	18XГТ	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** призначити марку сталі для виготовлення ножа (позиція 1), для оброблення твердих порід деревини.

**Габаритні розміри:** 20 мм × 100 мм × 2 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

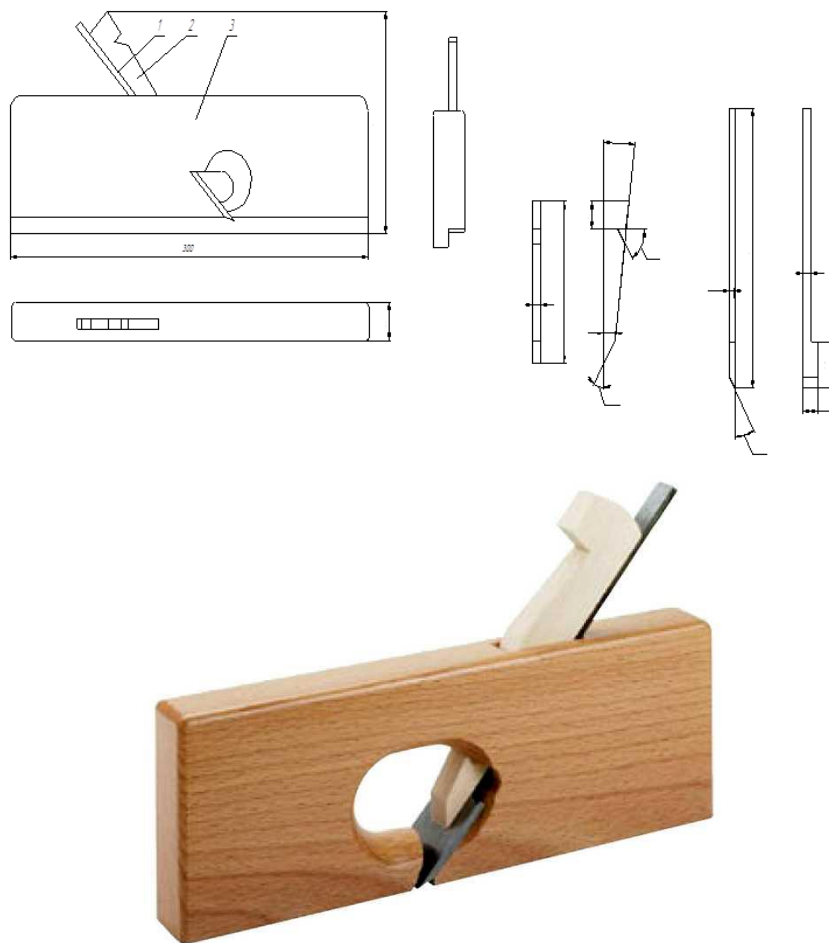


Рисунок А.37 – Фальцгобель

### Варіант 75

Деталь	№ по р.	Марка сплаву	№ по р.	Марка сплаву
Рисунок А.38	1	ЛА77-2	7	У12А
	2	БСт.4КП	8	40Х9С2
	3	Р6АМ5	9	18ХГТ
	4	ЕХ5К5	10	ВЧ 40-6
	5	Х12	11	Фторо-пласт-4
	6	10ХГ2В1М	12	Поліуретан

**Вимоги до деталі:** призначити марку сплаву для виготовлення різальної частини зенкера (позиція 1), для оброблення середньолегованих конструкційних сталей.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 12 \text{ мм} \times 120 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 76

Деталь	№ по р.	Марка сплаву	№ по р.	Марка сплаву
Рисунок А.38	1	У12А	7	БрА9ЖЗЛ
	2	45Х	8	40ХН2МА
	3	Х12М	9	Р6АМ5
	4	ХВГ	10	38ХМЮА
	5	06ГФБА	11	Фторо-пласт-4
	6	Ст 5 пс	12	Поліуретан

**Вимоги до деталі:** призначити марку сплаву для виготовлення суцільного зенкера для оброблення алюмінієвих сплавів.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 20 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

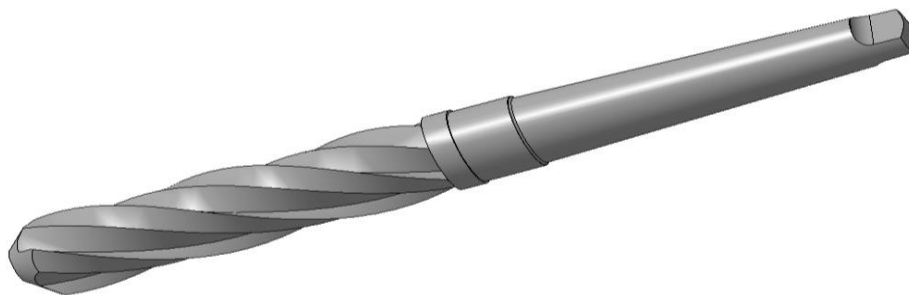
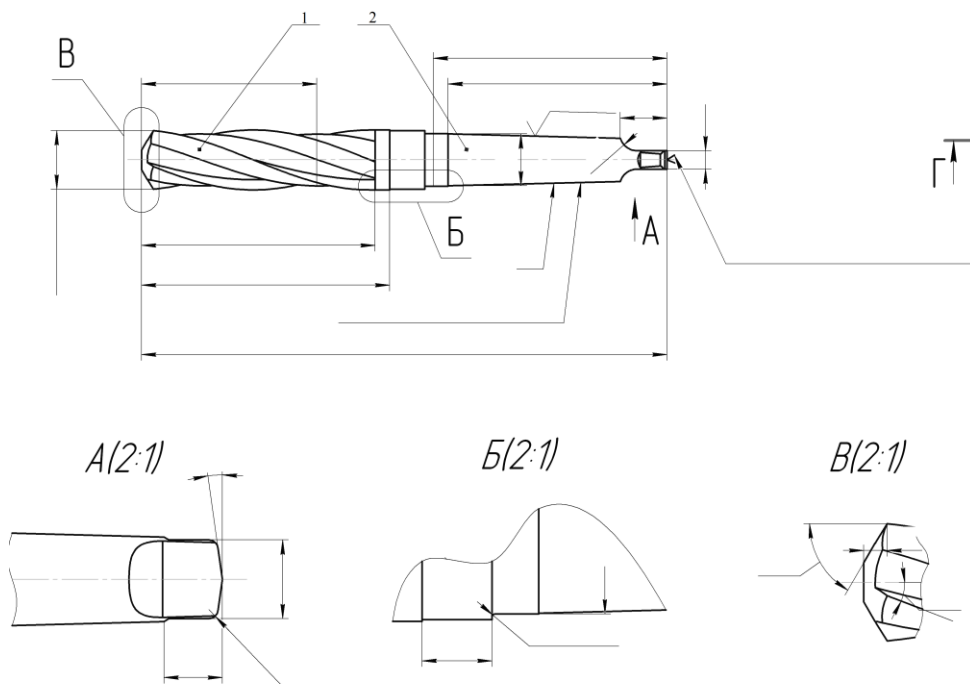


Рисунок А.38 – Зенкер

### Варіант 77

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.39	1	18Г2АФД	7	ЛЖС58-1-1
	2	10Х13Н7	8	Сталь 45
	3	СЧ 20	9	14Х2ГМР
	4	ШХ10	10	ВСт3кп
	5	30Х13	11	Капрон
	6	Х12М	12	Фторопласт-4

**Вимоги до деталі:** корозійна стійкість.  
**Габаритні розміри:** Ø 20 мм × 50 мм.  
**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 78

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.39	1	P18	7	12Х18Н10Т
	2	16ГНМА	8	БрАЖН 5-3-2
	3	МЛ2	9	38Х2Н2М
	4	У10	10	50ХФА
	5	20ХН	11	Капрон
	6	40Х	12	Фторопласт-4

**Вимоги до деталі:** висока теплостійкість до 600 °С.  
**Габаритні розміри:** Ø 10 мм × 70 мм.  
**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

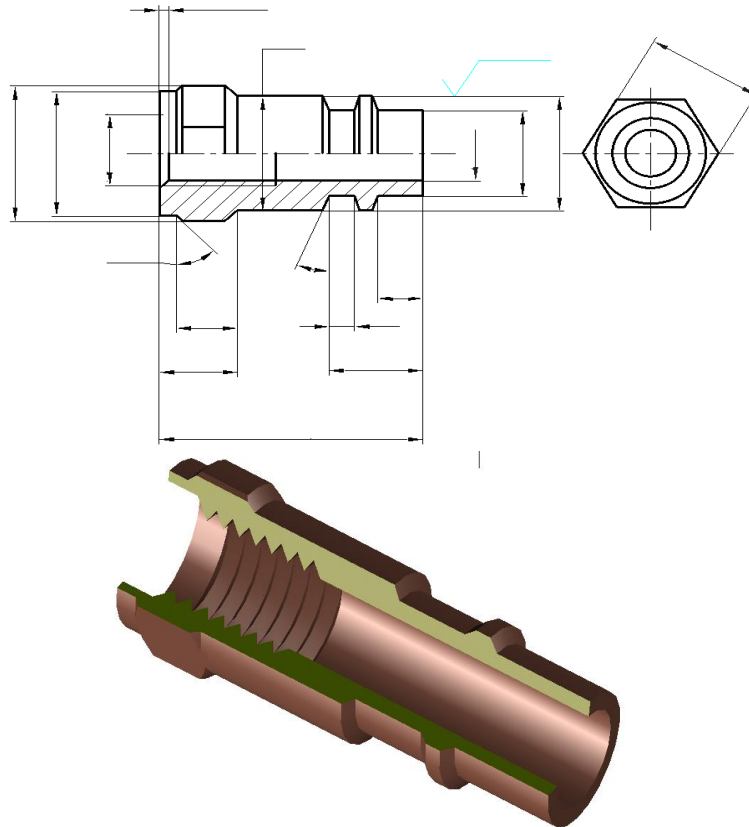


Рисунок А.39 – Штуцер інжектора

### Варіант 79

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.40 – Болт кришки редуктора	1	ХВГ	7	БрА9Ж3
	2	У8А	8	Сталь 40
	3	У8	9	Сталь 20
	4	5ХНМ	10	38Х2МЮА
	5	КЧ35-10	11	ВК8
	6	АК5	12	Нейлон

Габаритні розміри: М10.

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: одиничне

### Варіант 80

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.40 – Болт нижньої головки шатуна ДВС	1	38ХГМ	7	Р9
	2	50Л	8	08Х13
	3	СЧ20	9	40ХН
	4	60С2ХФА	10	40ХФА
	5	16ГНМА	11	ВК8
	6	ШХ15СГ	12	Нейлон

Вимоги: важконавантажена.

Габаритні розміри: М10 × 0,75.

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: серійне

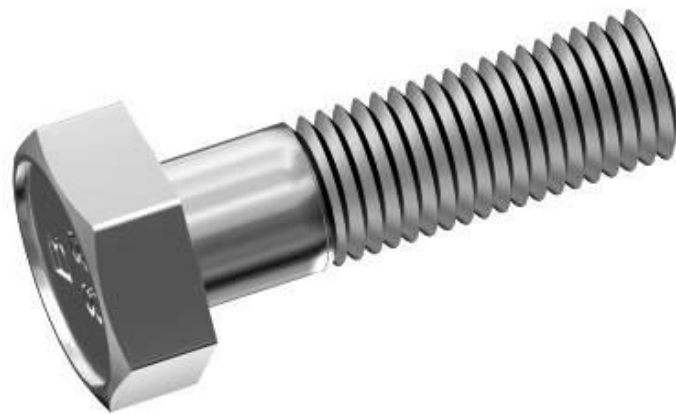
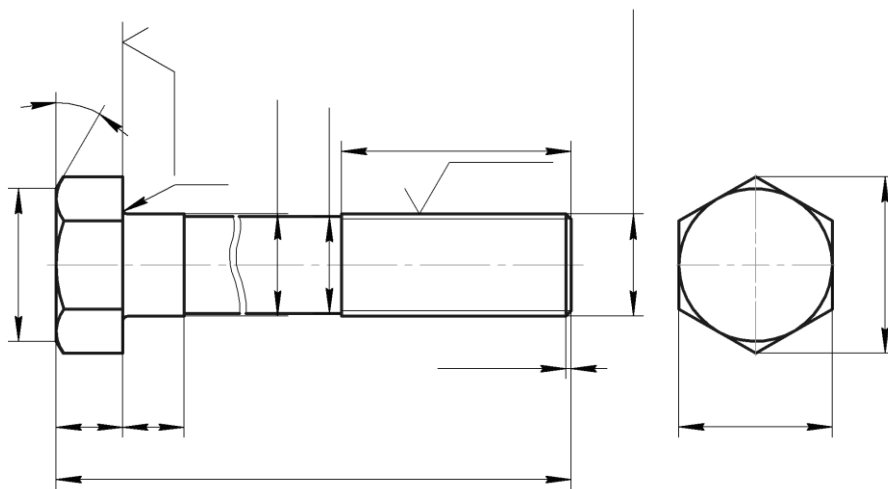


Рисунок А.40 – Болт

### Варіант 81

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марки сплавів
Рисунок А.41	1	ЛО90-1	7	40ХН
	2	У10А	8	СЧ25
	3	25Г2С	9	Р9Ф5
	4	ШХ15СГ	10	ХВГ
	5	50ХГА	11	Склопластик
	6	95Х18	12	Текстоліт

**Вимоги:** для оброблення низькомуглецевих нелегованих сталей.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 22 \text{ мм} \times 10 \text{ мм}$

### Варіант 82

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.41	1	Л96	7	ТТ14К18
	2	Р18	8	Сталь 20
	3	ВЧ45	9	Х12ВМ
	4	Х12	10	БрА10ЖЗМц2
	5	20ХГ	11	Склопластик
	6	Х	12	Текстоліт

**Вимоги:** для оброблення нержавіючих сталей.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 30 \text{ мм} \times 15 \text{ мм}$

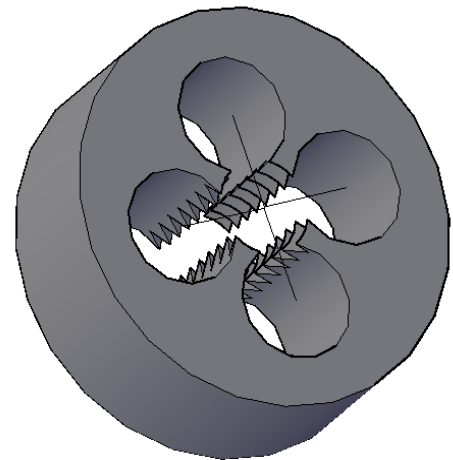
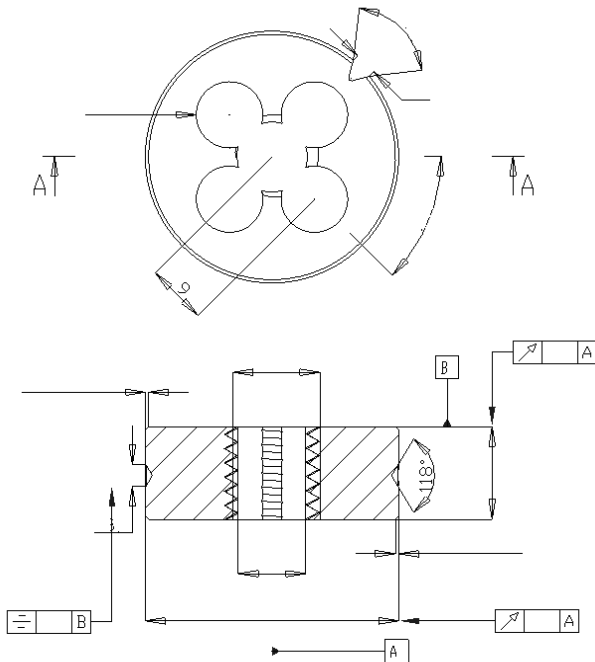


Рисунок А.41 – Інструмент – плашка

### Варіант 83

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.42	1	95Х18	7	БрО10С10
	2	20Х	8	60С2ХА
	3	КЧ60-3	9	ШХ15СГ
	4	40ХН2МА	10	10ГТ
	5	ВСт2пс	11	Капрон
	6	20ХМА (БОРИР)	12	Фторопласт-4

Вимоги до деталі: зносостійкість.

Габаритні розміри:  $\varnothing 40 \text{ мм} \times 60 \text{ мм}$ .

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: одиничне

### Варіант 84

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.42	1	АЛ7	7	Сталь 45
	2	Х12М	8	38Х2МЮА
	3	60С2Г	9	10ХСНД
	4	У12	10	12Х18Н10Т
	5	0Н6	11	Капрон
	6	40Х	12	Фторопласт-4

Вимоги до деталі: корозійна стійкість.

Габаритні розміри:  $\varnothing 40 \text{ мм} \times 60 \text{ мм}$ .

Серійність виробництва під час оброблення заготовки: серійне

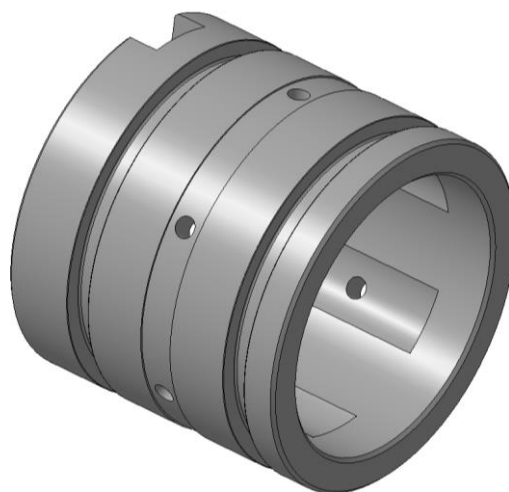
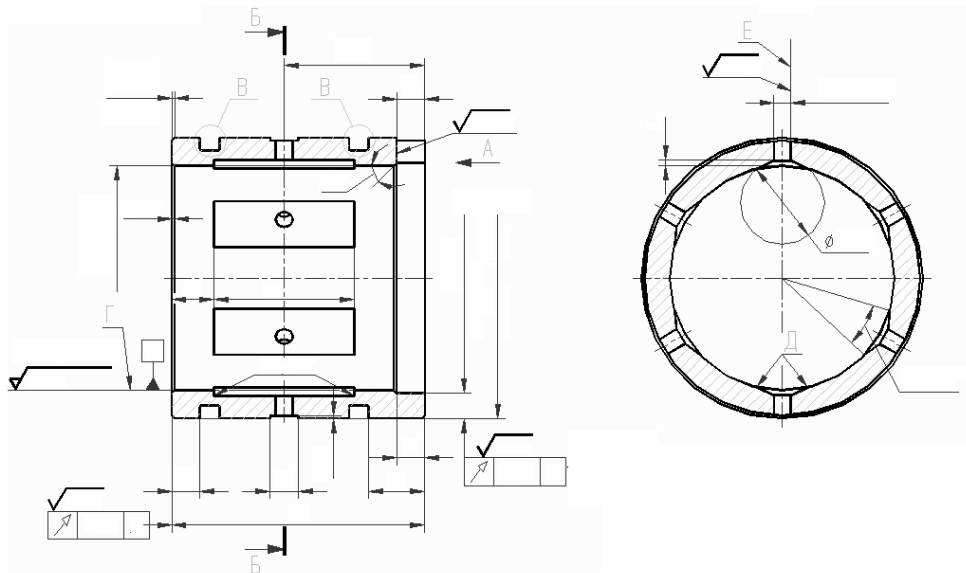


Рисунок А.42 – Опорний підшипник ковзання

### Варіант 85

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.43	1	18ХНВА	7	5ХНМ
	2	38ХГН	8	Р6М5
	3	50ХФА	9	СЧ35
	4	60С2ХФА	10	БрБ2
	5	08Х14МФ	11	Капрон
	6	7ХГ2ВМФ	12	Склопластик

**Вимоги до деталі:** призначити марку сплаву для деталі «шатун» (позиція 1) поверхнева твердість верхньої головки становить HRC 57–60, об'ємна твердість становить HRC 30–32.

**Габаритні розміри:** 30 мм × 90 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 86

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.43	1	Р6М3	7	09Х14Н19В2БР
	2	65Г	8	БрАЖМц10-3-1,5
	3	30ХГТ	9	4Х5МФС
	4	40ХНМ	10	Х12Ф4М
	5	15Х28	11	Капрон
	6	МА9	12	Склопластик

**Вимоги до деталі:** призначити марку сплаву для деталі «кришка нижньої головки шатуна» (позиція 2); об'ємна твердість становить HRC 28–32.

**Габаритні розміри:** 50 мм × 180 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

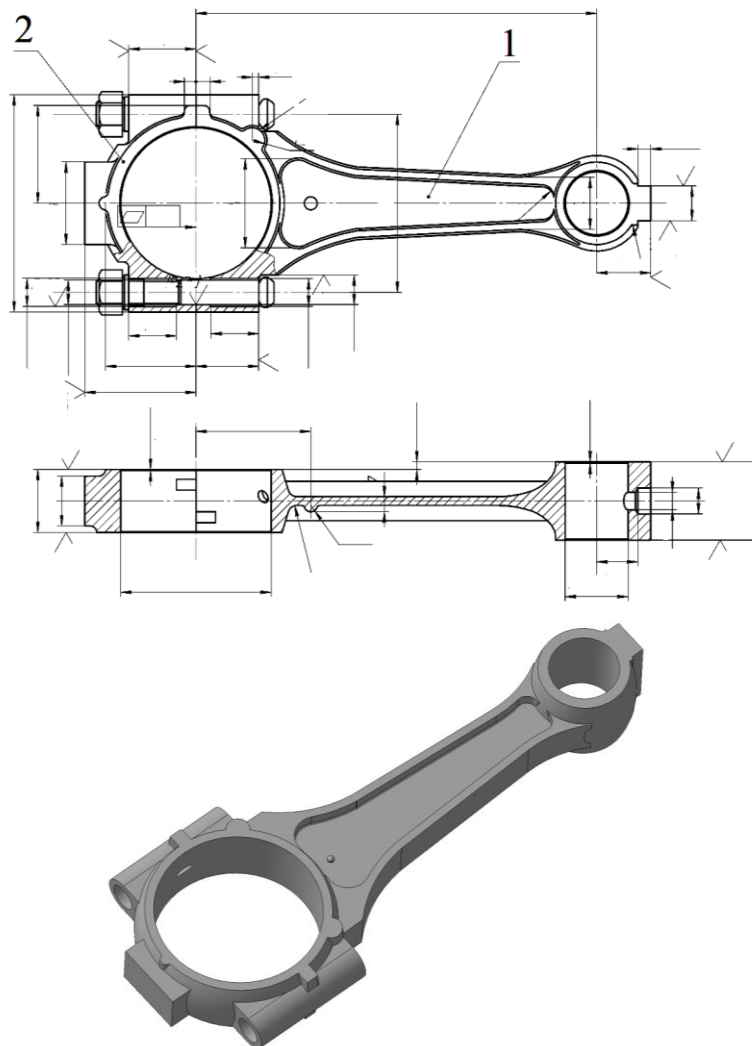


Рисунок А.43 – Шатун поршневого компресора

### Варіант 87

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.44	1	СЧ15	7	Х12Ф4М
	2	АЧС-4	8	20ХГСФЛ
	3	9ХС	9	110Г13Л
	4	Ст6пс	10	Сталь 45
	5	35ГЛ	11	Капрон
	6	Р18	12	Склопластик

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить НВ 200–250.

**Габаритні розміри:** 300 мм × 200 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 88

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.44	1	А20Г	7	КЧ30-6
	2	35Г2	8	Р12Ф4К5
	3	ЧХ32	9	38Х2МЮА
	4	У7А	10	Сталь 20
	5	СЧ18	11	Капрон
	6	20Л	12	Склопластик

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить НВ 120–140.

**Габаритні розміри:** 300 мм × 200 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

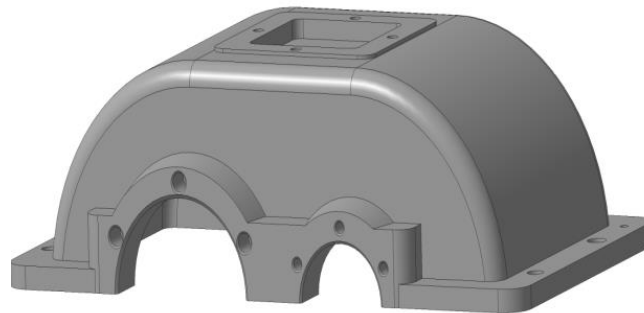
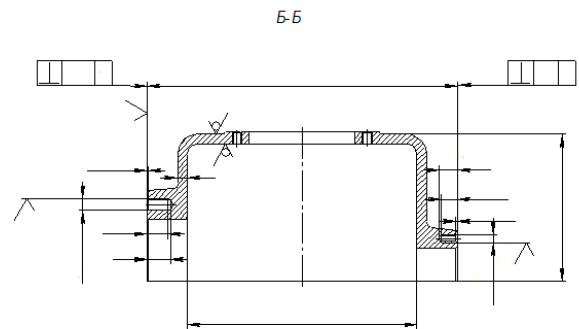
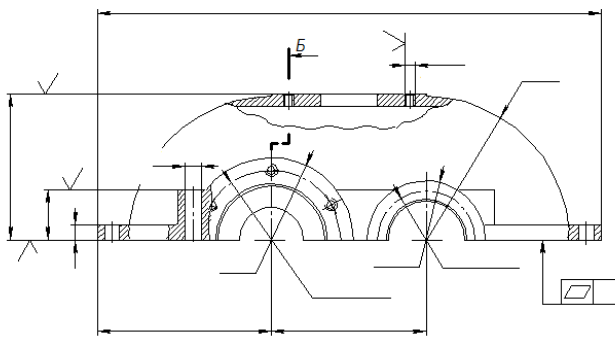


Рисунок А.44 – Кришка редуктора



### Варіант 89

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.45	1	40Х	7	38Х2МЮА
	2	Х12М1	8	ЧЮ22Ш
	3	55ХГР	9	ЛЦ40МцГЖ
	4	У10А	10	КЧ35
	5	ХВГ	11	Склопластик
	6	45Л	12	Поліетилен

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HV 1000–1100.

**Габаритні розміри:** Ø 30 мм × 150 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 90

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.45	1	Р6М5	7	Сталь 20
	2	САП-3	8	БрАЖ9-4
	3	40ХН	9	КЧ30-6
	4	АЧВ-1	10	4ХМФС
	5	40Х13	11	Склопластик
	6	ШХ15	12	Поліетилен

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість посадкових місць становить HRC 45–57.

**Габаритні розміри:** Ø 40 мм × 200 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

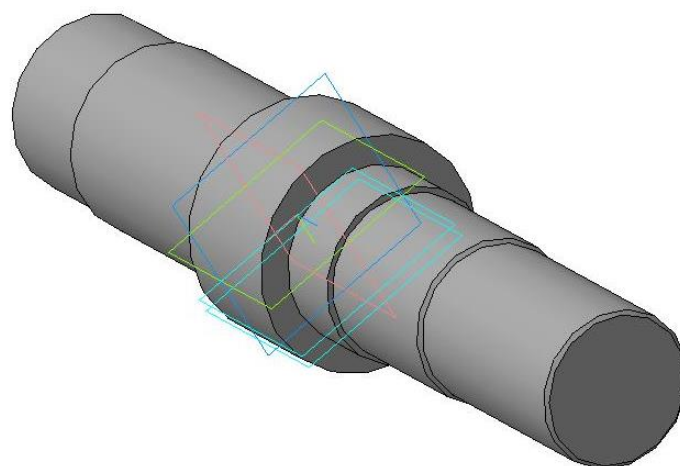
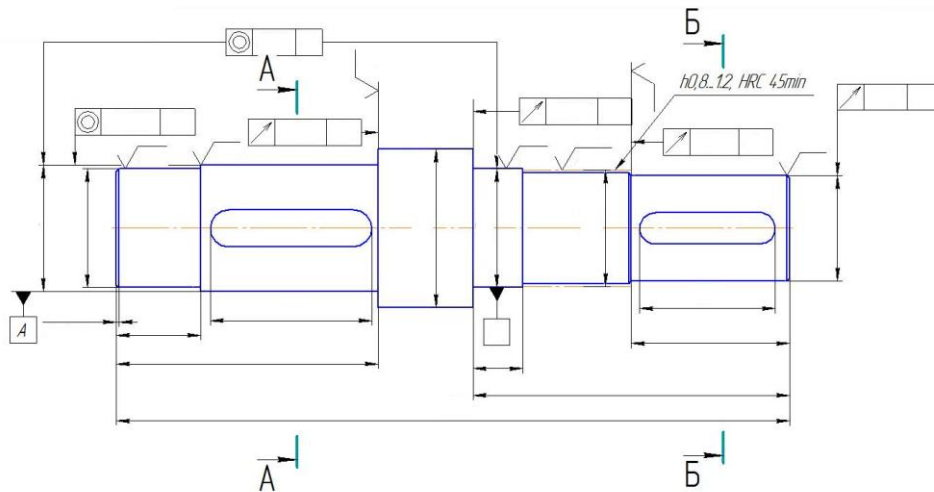


Рисунок А.45 – Вал тихохідний

### Варіант 91

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.46	1	35Х	7	38ХМЮА
	2	СЧ15	8	Сталь 20
	3	Р18Ф3	9	ЛЖМц59-1-1
	4	4ХВ2С	10	40ХН2МА
	5	70Г	11	Ебоніт
	6	АЛ7	12	Склопластик

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість витків становить HRC 50–57.

**Габаритні розміри:** Ø 30 мм × 150 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 92

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.46	1	35ХМ	7	ЛЖМц59-1-1
	2	8Х3	8	КЧ60-3
	3	Р9	9	60Х2СМФ
	4	18ХГТ	10	ХВГ
	5	95Х18	11	Ебоніт
	6	40Х	12	Склопластик

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість витків становить HRC 59–61.

**Габаритні розміри:** Ø40 мм × 200 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

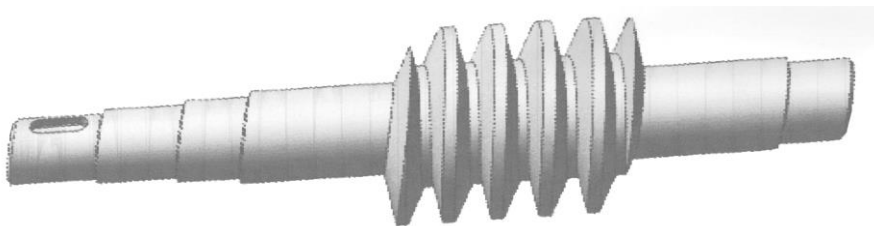
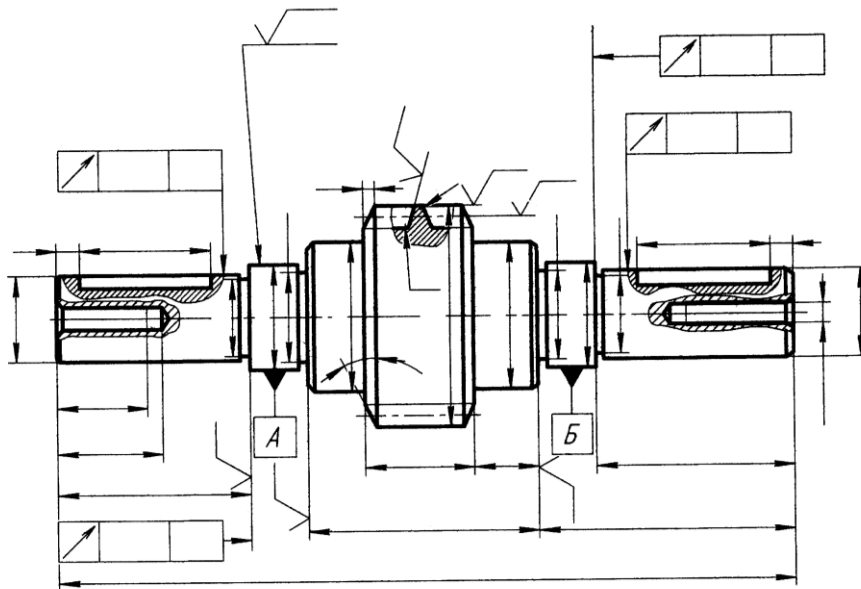


Рисунок А.46 – Черв'як редуктора

### Варіант 93

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.47	1	10ГТ	7	40ХН2МА
	2	КЧ60-3	8	ШХ15СГ
	3	20Х	9	60С2ХА
	4	ВСт2пс	10	БрО10С10
	5	20ХМА (БОРИР)	11	Капрон
	6	95Х18	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** зносостійкість.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 40 \text{ мм} \times 70 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 94

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.47	1	АЛ7	7	Сталь 45
	2	Х12М	8	38Х2МЮА
	3	0Н6	9	10ХСНД
	4	40Х	10	12Х18Н10Т
	5	60С2Г	11	Капрон
	6	У12	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** корозійна стійкість.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 40 \text{ мм} \times 80 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

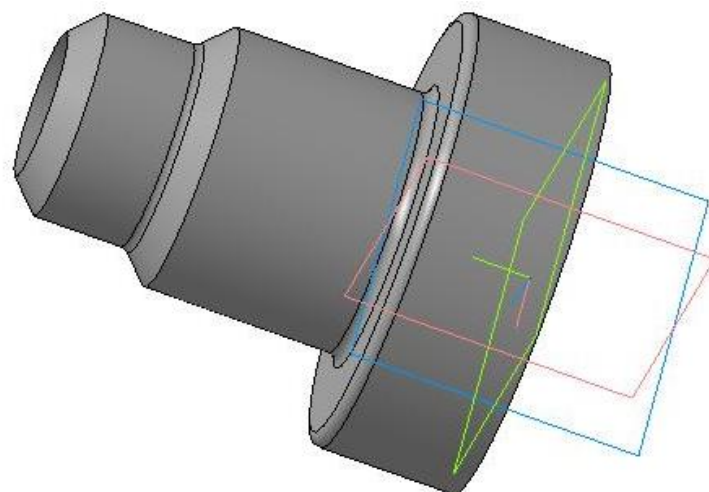
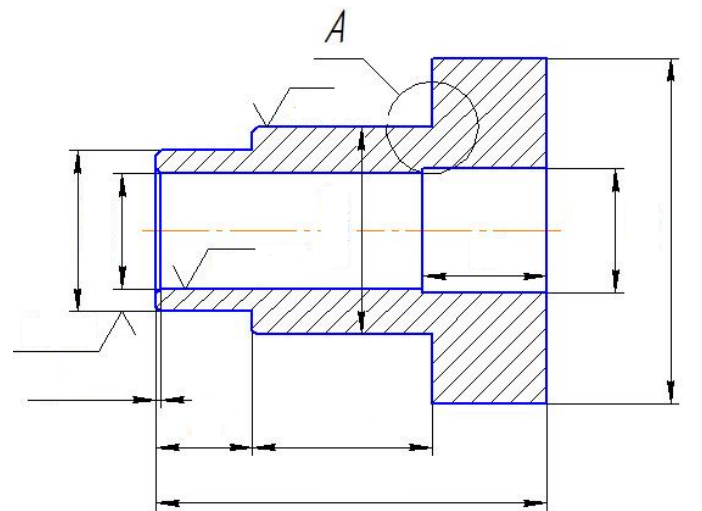


Рисунок А.47 – Втулка осі

### Варіант 95

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.48	1	СЧ15	7	Х12Ф4М
	2	АЧС-4	8	20ХГСФЛ
	3	9ХС	9	110Г13Л
	4	Ст6пс	10	Сталь 45
	5	35ГЛ	11	Капрон
	6	Р18	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить НВ 200–250.

**Габаритні розміри:** Ø100 мм × 20 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 96

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.48	1	А20Г	7	Сталь 20
	2	35Г2	8	Р12Ф4К5
	3	ЧХ32	9	38Х2МЮА
	4	У7А	10	КЧ30-6
	5	СЧ18	11	Капрон
	6	20Л	12	Текстоліт

**Вимоги до деталі:** об'ємна твердість становить НВ 120–140.

**Габаритні розміри:** Ø 60 мм × 10 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

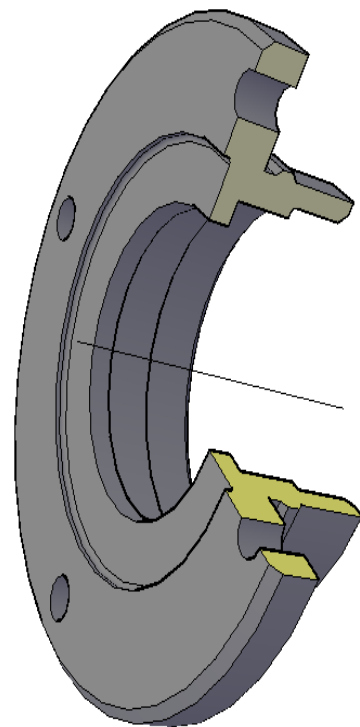
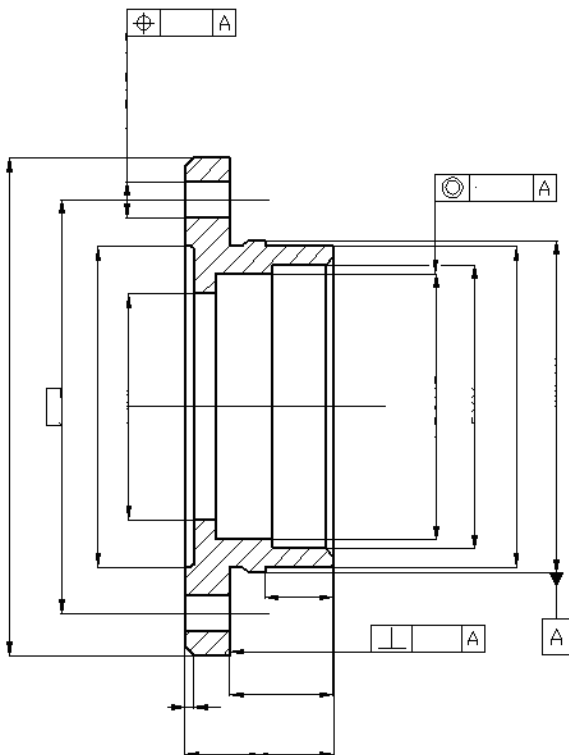


Рисунок А.48 – Кришка підшипника

### Варіант 97

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.49	1	18ХГТ	7	ХВ4Ф
	2	50ХФА	8	38Х2Н2МА
	3	У8	9	ТТ7К10
	4	55С2А	10	Сталь 20
	5	40Х13	11	Капрон
	6	ШХ4	12	Фторопласт-4

**Вимоги до деталі:** робота в умовах до  $-60^{\circ}\text{C}$ , поверхнева твердість витків становить HRC 50–57.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 80 \text{ мм} \times 300 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 98

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.49	1	ВЧ45	7	12Х18Н9
	2	P18	8	ЛКС65-1,5-3
	3	Ст 5 пс	9	38Х2МЮА
	4	40ХГТР	10	Бр.ОФ10-1
	5	ШХ15	11	Капрон
	6	Сталь 20	12	Фторопласт-4

**Вимоги до деталі:** антифрикційність.

**Габаритні розміри:**  $\varnothing 40 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$ .

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

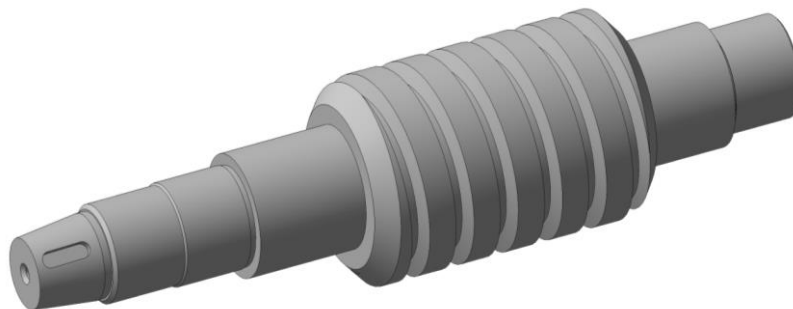
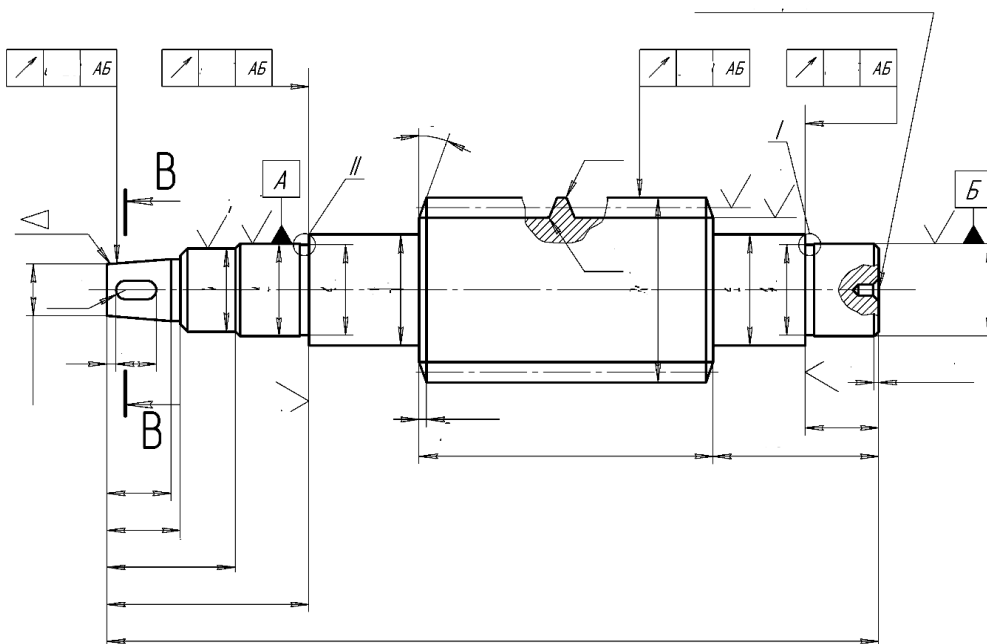


Рисунок А.49 – Черв'як редуктора

### Варіант 99

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.50	1	БрБ2	7	ЧНХМД
	2	АК6	8	5ХНВС
	3	У7А	9	40Х10С2М
	4	40Х	10	12Х2Н4А
	5	60С2	11	Капрон
	6	Р18Ф2	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HRC 48–50.

**Габаритні розміри:** Ø 20 мм × 1500 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** одиничне

### Варіант 100

Деталь	№ пор.	Марка сплаву	№ пор.	Марка сплаву
Рисунок А.50	1	СЧ15	7	18ХГТ
	2	ХВГ	8	БрАЖ9-4
	3	40Х13	9	60С2ХФА
	4	65Г	10	Х12МФ
	5	ВК6	11	Капрон
	6	Р18	12	Ебоніт

**Вимоги до деталі:** поверхнева твердість становить HRC 55–58.

**Габаритні розміри:** Ø 20 мм × 1500 мм.

**Серійність виробництва під час оброблення заготовки:** серійне

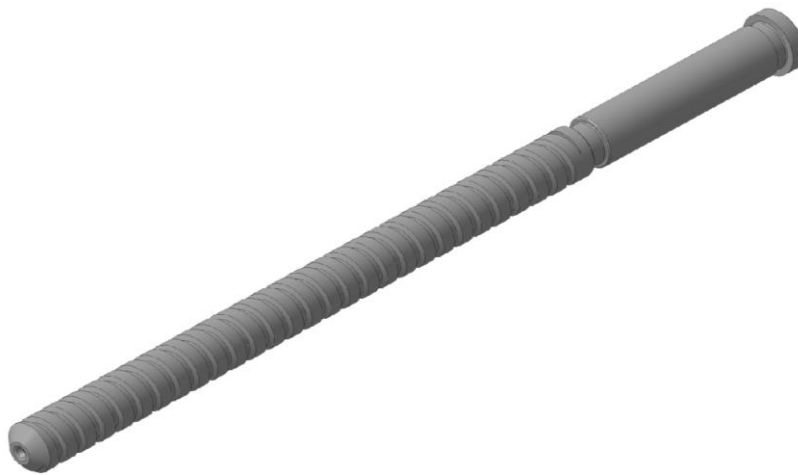
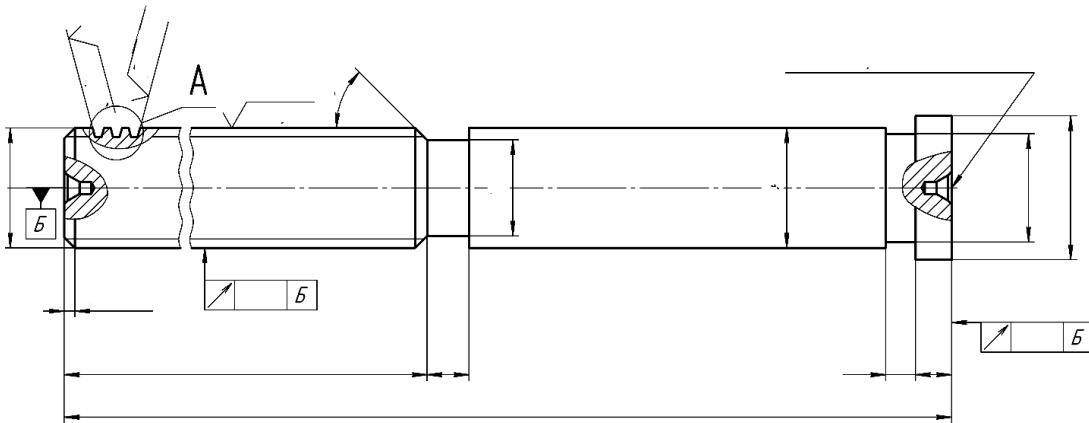


Рисунок А.50 – Ходовий гвинт токарно-гвинторізного верстата

**ДОДАТОК Б**  
(обов'язковий)

**ВАРІАНТИ**  
завдання «Аналіз діаграми стану «залізо – карбід заліза»  
з курсу «Матеріалознавство»

№ пор.	% С	№ пор.	% С	№ пор.	% С	№ пор.	% С	Вид кривої
1	0,2	11	5,1	21	1,2	31	6,67	Крива нагрівання
2	1,1	12	2,8	22	3,5	32	0,005	Крива охолодження
3	3,0	13	1,01	23	4,4	33	0,05	Крива нагрівання
4	4,3	14	0,45	24	5,5	34	0,1	Крива охолодження
5	5,0	15	1,7	25	0,15	35	2,14	Крива нагрівання
6	0,02	16	1,0	26	0,87	36	0	Крива охолодження
7	0,35	17	4,5	27	0,95	37	6	Крива нагрівання
8	0,8	18	2,7	28	2,4	38	4	Крива охолодження
9	1,3	19	0,7	29	4,7	39	2	Крива нагрівання
10	2,5	20	0,4	30	1,25	40	0,6	Крива охолодження

**ДОДАТОК В**  
(обов'язковий)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладного матеріалознавства і ТКМ

ОБОВ'ЯЗКОВЕ ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ  
з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство»

Варіант \_\_\_\_

Виконав \_\_\_\_\_  
(особистий підпис студента)

студент групи

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

Перевірив \_\_\_\_\_  
(особистий підпис викладача)

викладач

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

Суми – 20\_\_



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів

КУРСОВА РОБОТА  
з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство»

Варіант \_\_\_\_

Виконав \_\_\_\_\_  
(особистий підпис студента)

студент групи

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

Перевірив \_\_\_\_\_  
(особистий підпис викладача)

викладач

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

Суми – 20\_\_

**ДОДАТОК Г**  
(обов'язковий)

Приклад оформлення змісту

**Зміст**

С.

Завдання.....	
1. Призначення та умови роботи деталі.....	
2. Схема маршрутної технології отримання заготовки і виготовлення деталі....	
3. Обґрунтування вибору матеріалу для виготовлення деталі.....	
4. Вплив легувальних елементів на структуру і властивості обраного матеріалу.....	
5. Вибір режимів термічного та зміцнювального оброблення.....	
6. Діаграма стану «залізо – цементит».....	
Висновки.....	
Список використаної літератури.....	

Навчальне видання

**Говорун Тетяна Павлівна,  
Гапонова Оксана Петрівна,  
Марченко Станіслав Вікторович**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНОЛОГІЯ МАТЕРІАЛІВ  
(у схемах і завданнях)**

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки: Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко  
Редактори: Н. З. Клочко, С. М. Симоненко  
Комп'ютерне верстання: Т. П. Говорун, О. П. Гапонова

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 19,07. Обл.-вид. арк. 20,04. Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.