

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисциплін з технологічних методів
виробництва заготовок для студентів спеціальностей:

131 «Прикладна механіка»

132 «Матеріалознавство»

133 «Галузеве машинобудування»

134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

денної форми навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін з технологічних методів виробництва заготовок для студентів спеціальностей: 131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство», 133 «Галузеве машинобудування», 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» денної форми навчання / Укл. В.М.Плескач, В.О.Савченко, І.В.Акімов, Ф.В.Гаврил-Оглу – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 38 с.

Укладачі:

Плескач В.М., доцент, к.т.н.,

Савченко В.О., доцент, к.т.н.,

Акімов І.В., доцент, к.т.н.,

Гаврил-Оглу Ф.В., м.в.н.

Рецензент: О.А. Мітяєв, професор, д.т.н.

Відповідальний за випуск: Широкобокова Н.В., доцент, к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри
композиційних матеріалів,
хімії та технологій,
протокол № 8
від 23.06.2020 р.

Рекомендовано до видання
НМК факультету
будівництва, архітектури та
дизайну,
протокол № 6
від 06.07.2020 р.

ЗМІСТ

Загальні методичні відомості	4
Лабораторна робота №1. Порівняльний аналіз методів виробництва литих заготовок.....	5
Лабораторна робота №2. Виробництво заготовок куванням та штампуванням.....	12
Лабораторна робота №3. Виробництво заготовок різанням з прутка.....	20
Лабораторна робота №4. Вплив способу виробництва заготовок на механічні властивості металу.....	30
Рекомендована література	38

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВІДОМОСТІ

Лабораторні роботи з технологічних методів виробництва заготовок деталей машин призначені для закріплення знань студентів спеціальностей: 131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство», 133 «Галузеве машинобудування», 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», які вивчають дисципліни з технологічних методів виготовлення заготовок деталей машин. Вони сприяють засвоєнню лекційного матеріалу і служать сполучною ланкою між теоретичною підготовкою майбутнього фахівця та його практичною діяльністю з метою набуття таких компетенцій як:

- здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних комплексів, мати базові уявлення про правила їх експлуатації;
- здатність виконувати технічні вимірювання, одержувати, аналізувати та критично оцінювати результати вимірювань.

Головна мета лабораторних робіт полягає у набутті студентами практичних навичок з вибору найраціональніших у заданих умовах виробництва видів заготовок деталей машин та методів їх виготовлення. Під час виконання лабораторних робіт студенти на практиці вивчають технологічні особливості основних методів виробництва заготовок, їхній вплив на властивості та якість заготовок; знайомляться з чинниками, що впливають на них, а також з техніко-економічним обґрунтуванням вибору оптимальної технології виготовлення заготовки.

При виконанні лабораторних робіт студенти також знайомляться з будовою та принципом дії обладнання, оснастки, інструментів, що застосовуються; самостійно (або під керівництвом навчального майстра) готують їх до роботи, проводять експерименти, реєструють результати, роблять висновки та оформляють звіт.

Лабораторна робота № 1

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИРОБНИЦТВА ЛИТИХ ЗАГОТОВОК

1.1 Мета роботи

Вивчення технологічних особливостей лиття в піщані форми, кокільного та відцентрового лиття, оцінка якості виливків, що отримано різними методами лиття.

1.2 Загальні відомості

Ливарне виробництво є одним з головних способів виготовлення заготовок деталей машин. Його продукція – складні вироби з різних сплавів, що отримують заливанням розплавленого металу у ливарну форму, порожнина якої за конфігурацією та розмірами відповідає готовому виливку з урахуванням усадки сплаву.

Серед відомих способів лиття при виробництві заготовок найбільше поширення здобули: лиття в піщані форми (до 80% за масою), кокільне (12...15%), відцентрове, в оболонкові форми, під тиском та за витоплюваними моделями. Кожен метод лиття характеризується своїми особливостями, які визначають конфігурацію та розміри виливків, їх якість і собівартість. Ці характеристики – найважливіші критерії при виборі того чи іншого методу виробництва литих заготовок.

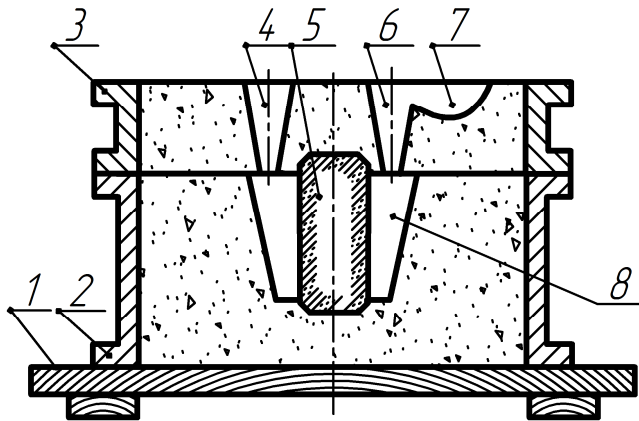
Виливки найскладнішої конфігурації отримують литтям у піщані форми та за витоплюваними моделями. Конфігурація та розміри виливків, які виготовляються кокільним, відцентровим литтям, литтям під тиском або в оболонкові форми, суттєво обмежуються низкою технологічних особливостей, у першу чергу конструкцією ливарних форм, можливістю видалення стрижнів та умовами кристалізації виливка у формі.

Якість виливків характеризується головним чином точністю розмірів і геометричної форми, якістю поверхневого шару та відсутністю ливарних дефектів. Значною мірою якість виливків залежить від їх матеріалу і конструкції, матеріалу та якості

виготовлення ливарної форми, а також від умов кристалізації в ній металу.

Собівартість виготовлення виливків обумовлюється трудомісткістю виготовлення ливарної форми, заливання, вибивання і очищення виливків, а також типом виробництва, вартістю застосованих формувальних матеріалів, витратами на експлуатацію обладнання та пристроїв. У цій лабораторній роботі аналізуються можливості трьох методів лиття: у піщані форми, кокільного та відцентрового.

Лиття у піщані форми – найпростіший та найдешевший спосіб лиття. Дешевизна методу полягає у використанні для виготовлення ливарної форми (рис. 1.1) доступних та дешевих матеріалів, а також простого та універсального оснащення – дерев'яного модельного комплекту.



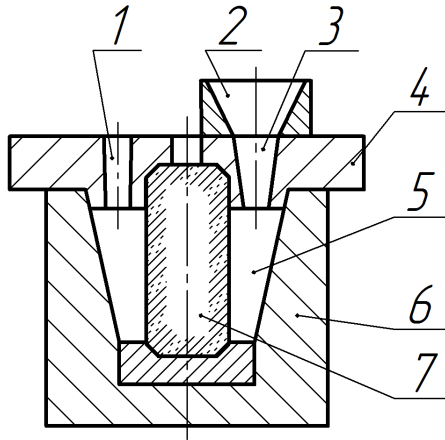
1 – підпокова (або підмодельна) дошка; 2 – нижня опока; 3 – верхня опока;
4 – випор; 5 – стрижень; 6 – стояк; 7 – литникова чаша; 8 – робоча порожнина

Рисунок 1.1 – Піщана ливарна форма у зборі

Точність розмірів та форми виливків, як правило, відповідає 14...17 квалітетам, параметр шорсткості – $R_a = 60...80$ мкм. Це зумовлює підвищені припуски на наступне механічне оброблення. Конфігурація, розміри і маса виливків для даного методу практично не обмежені. Лита заготовка може бути виготовлена з будь-якого ливарного сплаву. Проте цей спосіб виробництва виливків характеризується низькою продуктивністю праці, а розвинена

литникова система та невисока розмірна точність і підвищена шорсткість призводять до значних втрат ливарного сплаву. У зв'язку з цим цей метод зазвичай застосовується у дрібносерійному або одиничному виробництвах.

Кокільне лиття має цілу низку технічних і технологічних переваг у порівнянні з литтям у піщані форми. Металева ливарна форма (рис. 1.2) допускає багаторазове (до десятків тисяч разів) її використання без додаткових витрат на експлуатацію.



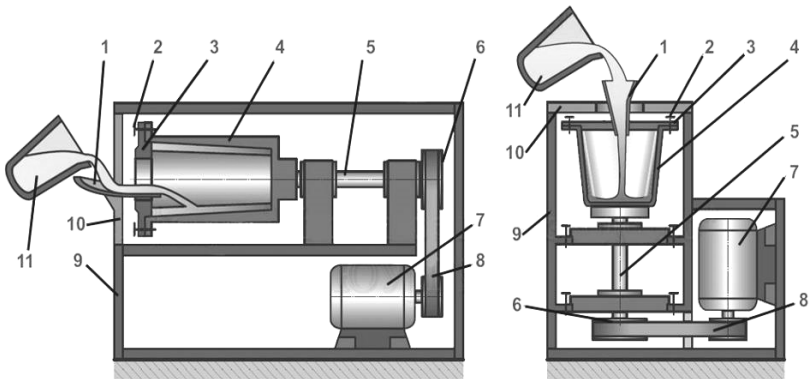
1 – випор; 2 – литникова чаша; 3 – стояк; 4 – кришка; 5 – робоча порожнина;
6 – корпус кокілю; 7 – стрижень

Рисунок 1.2 - Металева ливарна форма (кокіль)

Висока швидкість охолодження у металевій формі сприяє підвищенню продуктивності лиття, утворенню дрібнозернистої щільної структури сплаву виливка та поліпшенню його фізико-механічних властивостей. Точність виливків значно вища і відповідає 12...15 квалітетам. Поверхня заготовки, виготовленої кокілним литтям, має параметр шорсткості до $R_a=5...20$ мкм, що забезпечує значно менші припуски на наступне механічне оброблення. У той же час виготовлення кокілю вимагає більших витрат і тривалішого періоду освоєння. Висока теплопровідність кокілю, дуже малі його піддатливість та газопроникність утруднюють виготовлення складних за конфігурацією та габаритних виливків з розвиненими внутрішніми порожнинами, тонкими стінками, ребрами тощо. Кокільним литтям виготовляють заготовки практично з будь-яких сплавів, крім сплавів,

що мають підвищену усадку через можливість утворення внутрішніх дефектів та тріщин.

При відцентровому литті (рис. 1.3) виливки виготовляють у металевих ливарних формах (виливницях), що обертаються. Під дією відцентрових сил розплавлений метал розтікається по внутрішній поверхні виливниці.



а

б

виливниці: а – з горизонтальною; б – з вертикальною віссю обертання;
 1 – жолоб; 2 – фіксатори; 3 – кришка; 4 – виливниця; 5 – вал; 6 – шків;
 7 – двигун; 8 – клинопосава передача; 9 – корпус установки; 10 – дверцята;
 11 – ливарний ківш з розплавленим ливарним сплавом

Рисунок 1.3 - Схема одержання виливків методом відцентрового лиття

Обертання виливниці припиняється лише після закінчення кристалізації металу. Відцентрові сили сприяють поліпшенню рідиноплинності та підвищенню механічних властивостей металу виливка. За точністю та шорсткістю зовнішньої поверхні заготовок відцентрове лиття аналогічне кокільному. Якість виливків суттєво залежить від частоти обертання форми та температури заливання. Частота обертання виливниці обирається таким чином, щоб, з одного боку, забезпечити правильне формування внутрішньої поверхні виливка, а з другого боку, не викликати у ньому гарячих тріщин. Температура заливання повинна бути близькою до температури кристалізації сплаву для скорочення тривалості кристалізації.

Необхідно враховувати, що при відцентровому литті на внутрішній поверхні виливка збираються легкі неметалеві включення

(шлаки, оксиди, пори), які видаляються разом з припуском при механічному обробленні. У зв'язку з цим припуск зовнішніх поверхонь виливків майже у 2 рази менше, ніж внутрішніх. Особливості формування виливків при відцентровому литті зумовлюють конфігурацію заготовок. Як правило, такі заготовки є порожнистими тілами обертання з нескладною фасонною зовнішньою поверхнею: труби, втулки, диски, колеса, шестерні тощо.

1.3 Завдання на самостійну підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується можливостей згаданих вище способів лиття:

[1] с. 39 - 52; [2] с. 95 - 106; 115 - 121; [3] с.291 - 300; 324 – 331; [4] с. 207 – 213; 216 – 219.

1.4 Контрольні питання

1. Опишіть суть та технологічні особливості лиття у піщані форми (кокільного, відцентрового лиття).

2. Які Ви знаєте переваги та недоліки лиття в піщані форми (кокільного, відцентрового лиття)?

3. Як впливає швидкість кристалізації вилівка на рідиноплинність та механічні властивості металу?

4. Покажіть вплив способу лиття на якість литої заготовки (точність розмірів, шорсткість поверхні).

5. Які дефекти зустрічаються при різних способах лиття?

1.5 Матеріали, інструмент, обладнання

1. Модельний комплект та інше обладнання, призначенне для виготовлення піщаної ливарної форми, кокіль та установка для відцентрового лиття.

2. Виливки, що отримані литтям у піщано-глинисті форми, кокільним та відцентровим литтям у кількості не менше 3 шт. для кожного методу лиття.

3. Штангенциркулі.

4. Набір еталонів для визначення шорсткості поверхні.

5. Ваги лабораторні.

1.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком лабораторної роботи уважно прослухати інструктаж з техніки безпеки в лабораторії.
2. Обережно проводити вимірювання виливків, оберігаючи руки від ударів та порізів гострими частинами виливків.
3. Обережно проводити зважування виливків для запобігання травмування рук та ніг.

1.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з модельним комплектом та іншим обладнанням, призначеним для виготовлення піщаної ливарної форми, з конструкцією кокіля та установки для відцентрового лиття. Ознайомитися з кресленням готової деталі (рис. 1.4), заготовки для якої отримують трьома способами лиття, що аналізуються.

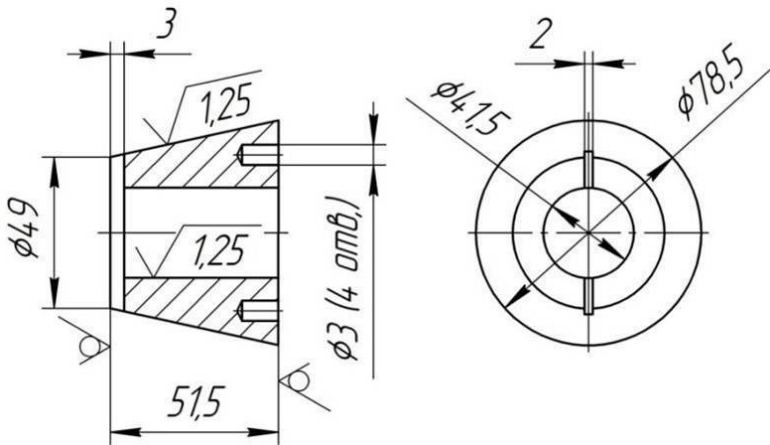


Рисунок 1.4 - Деталь

2. Вивчити головні чинники, що впливають на якість виливків, які виготовляють різними методами лиття: якість модельного комплексу та формувальної суміші, щільність трамбування півформ і складання форми; якість внутрішньої поверхні кокілю, порожнини виливниці та інше.

4. Оцінити якість виливків, отриманих різними способами лиття, для чого:

- зовнішнім оглядом оцінити відповідність готового виливка вимогам креслення (відсутність видимих спотворень конфігурації, ливарних дефектів тощо);

- виміряти зовнішній діаметр D декількох виливків, виготовлених одним і тим же способом, і скласти точкові діаграми точності для всіх способів лиття, що аналізуються. Для кожної групи заготовок визначити розкид розмірів D як різницю між максимальним і мінімальним розмірами в цій групі заготовок (крайні точки на відповідних діаграмах точності);

- користуючись еталонами шорсткості, оцінити параметри шорсткості поверхонь виливків, виготовлених різними способами лиття;

- порівняти якість заготовок, виготовлених різними способами, за точністю, шорсткістю та якістю поверхні (наявність ливарних дефектів).

5. Оцінити ефективність отримання виликів для заданої деталі шляхом визначення коефіцієнту використання матеріалу для кожного способу лиття.

1.8 Зміст звіту

1. Коротко описати суть та технологічні особливості виготовлення виливків литтям у піщані форми, кокільним та відцентровим литтям, супроводжуючи описання ескізами деталі, виливків або відповідних ливарних форм.

2. Описати якість виливків, виготовлених різними способами лиття. Описати вплив якості модельного комплекту, формувальної суміші, ливарної форми (виливниці) на якість виливків.

3. Охарактеризувати точність розмірів (за розкидом їх розміру D), шорсткість поверхонь (за параметром шорсткості R_a), наявність ливарних дефектів.

4. Визначити коефіцієнт використання матеріалу для кожного способу лиття: $K_{\text{вм}} = M_{\text{д}}/M_{\text{вм}}$, де $M_{\text{д}}$ – маса деталі, $M_{\text{вм}}$ – маса витраченого металу.

5. Навести висновки по роботі, дати характеристику параметрів, які впливають на вибір оптимального способу лиття.

Лабораторна робота №2

ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК КУВАННЯМ ТА ШТАМПУВАННЯМ

2.1 Мета роботи

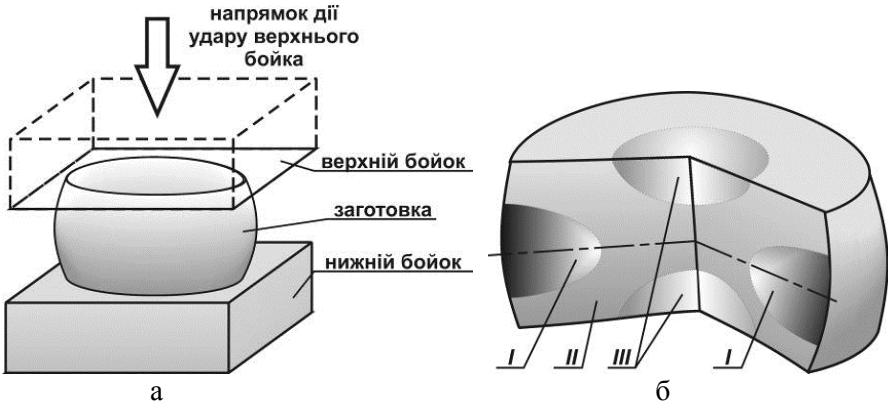
Вивчення технологічних особливостей виробництва заготовок куванням та об'ємним штампуванням; аналіз якості кованих та штампованих заготовок; визначення впливу попереднього перерозподілу металу на повноту заповнення чистового рівчача штампа та величину відходів при штампуванні.

2.2 Загальні відомості

Оброблення металів тиском займає одне з чільних місць серед методів виготовлення заготовок. Воно має високу продуктивність, дозволяє виготовляти складні заготовки з високою точністю та низькою шорсткістю поверхні. Одночасно з процесом формоутворення оброблення тиском змінює структуру металу, покращуючи низку експлуатаційних властивостей готових деталей. Найпоширенішими методами виробництва заготовок обробленням тиском є кування та об'ємне штампування.

При куванні вихідна заготовка деформується шляхом нанесення серії ударів або шляхом натискання універсальним інструментом (*бойком*) до забезпечення заданої форми та розмірів заготовки. Бойки мають плоску робочу поверхню, і плин металу між бойками нічим не обмежується. Точність розмірів та якість поверхні кованих поковок невисокі. У зв'язку з цим коефіцієнт використання матеріалу кованої заготовки не перевищує 0,3...0,5.

Необхідну форму кованої поковки отримують за рахунок послідовного виконання операцій кування: осаджування (рис. 2.1 а), протягування, гнуття, прошивання та інших. При цьому застосовують простий універсальний (плоскі бойки) та допоміжні інструменти. Кування використовується для виготовлення нескладних заготовок практично необмежених розмірів в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва.



І – зона інтенсивного деформування; II – зона деформування проміжної інтенсивності;
 III – зона утрудненого деформування
 Рисунок 2.1 - Схема операції кування - осаджування (а); нерівномірність деформування при осаджуванні (б)

Внаслідок коливань енергії удару, температурно-швидкісного режиму деформування, наявності значного контактного тертя під час кування у різних ділянках заготовки отримують неоднакові ступені деформації і як наслідок – неоднорідність властивостей у перерізі поковки. Так, при осаджуванні циліндричних заготовок утворюються три зони деформування (рис. 2.1 б).

Нерівномірність деформування у різних зонах можна оцінити, наприклад, методом штифта. Він полягає у тому, що осаджується зразок із запресованим по осі циліндричним стержнем (штифтом) діаметром d_0 (рис. 2.2 а). Після осаджування зразок розрізають по осі та вимірюють діаметри штифта після деформування d_n у тих зонах, де необхідно проаналізувати ступінь деформації (рис. 2.2 б). Ступінь деформації ε окремих ділянок здеформованого штифта визначається за формулою (2.1):

$$\varepsilon = \frac{d_n - d_0}{d_0} \cdot 100\%. \quad (2.1)$$

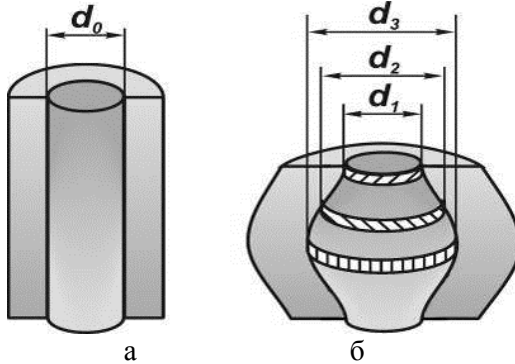


Рисунок 2.2 - Зразок з штифтом до (а) та після (б) осаджування

Зміна механічних властивостей сталі у залежності від ступеня деформації ϵ наведена на рис. 2.3.

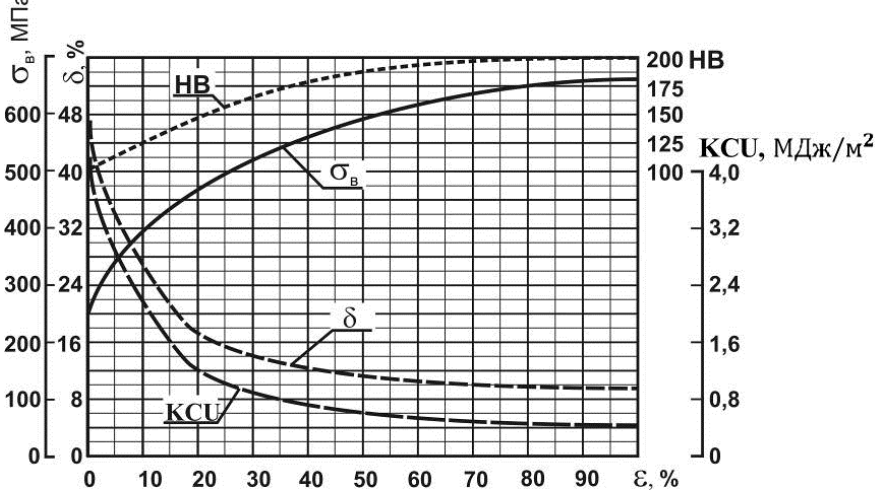
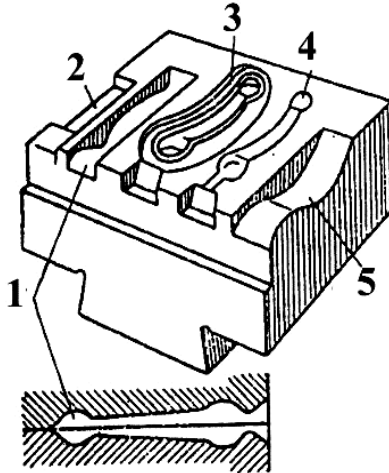


Рисунок 2.3 - Вплив ступеня деформації ϵ на механічні властивості низьковуглецевої сталі

Об'ємне штампування - процес виготовлення заготовок з сортового прокату пластичним деформуванням зі значним перерозподілом металу у поперечному перерізі вихідної заготовки. Деформування здійснюється у порожнинах (рівчаків) спеціального інструмента – *штампа*. Конфігурація та розміри рівчаків штампа зумовлюють форму і точність поковок. Більшість поковок складної

конфігурації виготовляють у багаторівчачових штампах (рис. 2.4), в рівчачах яких відбувається поступове наближення конфігурації заготовки до форми готової поковки.



Рівчачи: 1 – підкатний; 2 – протяжний; 3 – остаточний (чистовий);
4 – попередній (чорновий); 5 – вигинальний
Рисунок 2.4 - Багаторівчачовий штамп

При штампуванні вся поверхня заготовки одночасно бере участь у процесі деформування, тому точність штампованої заготовки значно вище, ніж кованої. Але неправильно спроектована поковка, а також неправильно обрані розміри вихідної заготовки (прутка) та технологія штампування призводять до нерівномірності деформування, а це у свою чергу – до нерівномірності властивостей штампованої поковки. Крім того, можливі такі дефекти поковки, як недоштампування та завищені розміри облою.

2.3 Завдання на самостійну підготовку до лабораторної роботи

1. Підготувати таблиці для запису результатів експериментів при куванні (табл.2.1) та штампуванні (табл.2.2).

2. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал з технології, інструментів та обладнання, що використовуються при куванні та штампуванні:

[1] с. 128 - 130; 139 – 144; [2] с. 153 – 159; [3] с. 363 – 366; 369 – 371; [4] с. 248 – 256.

Таблиця 2.1 - Результати експериментів при куванні

№ п/п	Зони за інтенсивністю деформування	Вихідний діаметр штифта, d_0 , мм	Діаметр штифта після осаджування d_n , мм	Ступінь деформації ε , %	Механічні властивості			
					Міцність σ_b , МПа	Пластичність δ , %	Ударна в'язкість КСЧ, МДж/м ²	Твердість НВ
1	Зона утрудненого деформування	d_0	d_1					
2	Зона проміжної інтенсивності деформування		d_2					
3	Зона інтенсивного деформування		d_3					

Таблиця 2.2 - Результати експериментів при штампуванні

Номер зразка	Вихідна заготовка			Маса заготовки (поковки) M_3 , г	Маса облою $M_{об}$, г	Коефіцієнт виходу придатного $K_{в.п.}$	Якість заповнення ривчака (повне чи не повне)
	діаметр d , мм	довжина l , мм	маса вихідного матеріалу $M_{в.м}$, г				
1	18	60					
2	18	90					
3	20	80					
4	22	60					

2.4 Контрольні питання

1. Як впливає оброблення металів тиском на структуру і фізико-механічні властивості металу?
2. Опишіть суть та призначення процесу кування.
3. Як впливає контактне тертя на процес деформування заготовки при куванні?
4. Опишіть суть та призначення об'ємного штампування.
5. Яка роль підготовчих та чистових рівчаків при штампуванні видовжених поковок?
6. Порівняйте якість кованих і штампованих заготовок.

2.5 Матеріали, інструмент, обладнання

1. Молот пневматичний з масою частин, що падають, 150 кг.
2. Експериментальний штамп для об'ємного штампування на молоті.
3. Кліщі ковальські.
4. Горн ковальський.
5. Ніж для обрізання облою.
6. Ваги лабораторні.
7. Штангенциркуль.
8. Зразок з штифтом.
9. Зразок (пруток) сталевий діаметром 15...20 мм.
10. Зразки циліндричні свинцеві з розмірами, наведеними у табл. 2.2.

2.6 Вказівки з техніки безпеки

1. При нагріванні зразків у горні та виконанні операцій кування треба користуватися ковальськими кліщами.
2. Вимірювання розмірів кованого зразка проводити після повного охолодження.
3. При виконанні операцій кування і штампування необхідно, щоб руки знаходилися поза робочим простором бойків і штампа.

2.7 Порядок виконання роботи

1. Провести аналіз технології кування та кованих поковок, для чого:
 - ознайомитися з будовою та принципом дії пневматичного молота;

- для аналізу деформування зразка при куванні методом штифта визначити діаметр штифта до деформування d_0 і провести осаджування зразка. Визначити діаметр штифта після деформування d_n у трьох зонах перерізу зразка, як показано на рис. 2.2 б. Для кожної зони визначити ступень деформації ϵ , після чого за рис.2.3 знайти значення механічних властивостей, які відповідають визначеним значенням ϵ .

Отримані характеристики занести у табл. 2.1. Оцінити нерівномірність властивостей різних ділянок поковки. Запропонувати заходи для зменшення (або уникнення) такої нерівномірності.

2. Провести аналіз технології об'ємного штампування та отриманих штампованих поковок, для чого:

- ознайомитися з конструкцією експериментального штампа;
- у вихідних зразків відтягнути кліщовину і визначити масу зразків $M_{\text{вм}}$;
- проштампувати зразки № 1, 3 в остаточному рівчаку, а зразки № 2, 4 – спочатку у підкатному, а потім в остаточному рівчаках (див. рис.2.4).

Оглядом кожного зразка оцінити ступінь заповнення металом порожнини остаточного рівчака. Зрізати на поковках облой, визначити масу поковки M_3 та коефіцієнт виходу придатного $K_{\text{вп}} = M_3/M_{\text{вм}}$ для кожної поковки. Результати зважувань та розрахунків занести у табл. 2.2.

Проміряти фактичний розмір зразка у п'яти перерізах і скласти точкову діаграму точності. Оцінити точність зразків за розкидом розмірів D .

2.8 Зміст звіту

1. Коротко описати суть і технологічні особливості кування. Зробити ескіз зразка після осаджування (рис. 2.1 б) і вказати на ньому зони, для яких визначається ступінь деформації ϵ . Отримані результати навести у табл. 2.1.

2. Накреслити точкову діаграму точності зразка після кування, визначити отриманий розкид розмірів D .

3. Навести висновки про нерівномірність властивостей, точність розмірів і якість поверхні кованої заготовки.

4. Коротко описати суть і технологічні особливості об'ємного штампування. Навести табл. 2.2 з результатами експериментів.

5. Узагальнити результати роботи і зробити висновки про вплив вибору розмірів вихідної заготовки на якість штампованої поковки, вплив ступеню деформації на властивості заготовки. Зробити висновки за точністю розмірів та про вплив вибору форми і розмірів вихідної заготовки на якість штампованої поковки.

Лабораторна робота № 3

ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК РІЗАННЯМ З ПРУТКА

3.1 Мета роботи

Вивчення головних способів різання пруткових матеріалів, їх порівняльна оцінка за основними показниками якості (час різання, точність відрізаних заготовок за довжиною, якість поверхні розрізу, витрати металу при різанні).

3.2 Загальні відомості

Заготовкою для значної кількості деталей машин є безпосередньо прокат без наступного деформування. Крім того, прокат використовується як вихідна заготовка для виробництва кованих, штампованих або зварних заготовок. У цьому випадку виникає необхідність розрізання прокату відповідного профілю (круглий, штабовий і т.п.) на заготовки необхідної довжини.

Кожен з існуючих способів різання характеризується сукупністю параметрів, головними з яких є: продуктивність різання та точність заготовки за розмірами; якість поверхні розрізу; спотворення поперечного перерізу заготовки після різання; втрати металу під час різання; стійкість та вартість різального інструменту та інше.

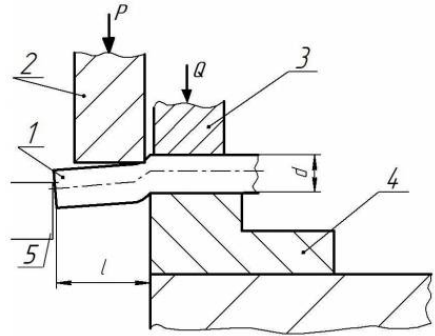
Різання на сортових ножицях (рис. 3.1) полягає у тому, що прокат вручну або автоматично подається до упора, який налаштований на задану довжину l , притискається зусиллям Q до нижнього ножа та відрізається при переміщенні верхнього ножа зусиллям P . Даний спосіб відрізняється високою швидкістю різання (понад 40 м/с), простотою відокремлення заготовки. Але відрізані заготовки мають порівняно велику довжину ($l/d \geq 1,0 \dots 1,5$). На них можливе утворення дефектів: торцевих тріщин, косини зрізу, утяжки і зім'ятини. Ймовірність їх появи збільшується при зниженій пластичності металу, збільшенні перерізу заготовки, при зберіганні прутків на холоді. Тому сталеві прутки великого діаметра (понад 80 мм) і прутки з малопластичних сталей у місці розрізу підігрівають до 450...650°C. Прутки кольорових сплавів ріжуть у холодному стані.

Різання на сортових ножицях використовують для виробництва заготовок невисокої точності зі сталі та кольорових металів. Діаметр

круглого прокату, що може розрізатися, - до 200 мм; число ходів ножа за хвилину - від 20 до 75.



а



б

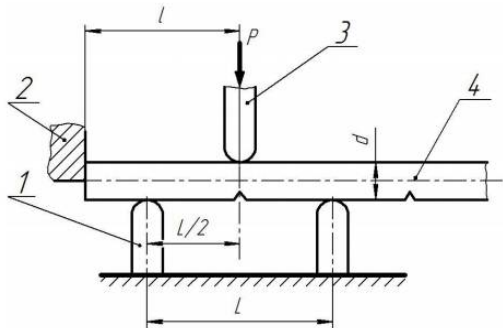
1 – прокат; 2 – верхній ніж; 3 – притискач; 4 – нижній ніж

Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд обладнання (а) та схема різання прокату на сортових ножицях (б)

Різання на пресах – холодноламах (рис. 3.2) проводиться після розмітки прутка та нанесення на ньому надрізів. Ширина надрізу 2...3 мм, глибина $h = \sqrt[3]{d}$, де d – діаметр прутка, мм. Надріз роблять кисневим різанням, дисковою пилкою, втисканням спеціального пуансону та іншими способами.



а



б

1 – опора; 2 – упор; 3 – штовхач; 4 – заготовка-прокат

Рисунок 3.2 - Зовнішній вигляд пресу - холодноламу (а) та схема різання прокату на холодноламі (б)

Перевага ламання у холодному стані полягає у малій енергоємності, простоті та довговічності інструмента, у відсутності відходів, можливості різання на короткі заготовки ($l_{\min} \leq 0,8d$). Але цей спосіб непридатний для різання труб, профілів з пластичних металів. До недоліків відноситься нестабільність розмірів заготовки, наявність уступу на торці, можливість утворення торцевих тріщин. У залежності від потужності устаткування для ламання (зазвичай - гідропреса) ріжуть заготовки діаметром від 50 до 350 мм.

Привідні ножівки (рис. 3.3 а) розрізають прутки, труби, профілі ножівковим полотном (рис. 3.3 б), яке робить зворотньо-поступальні рухи від механічного приводу. Швидкість різання для вуглецевих сталей становить 20...30 м/хв.; ширина розрізу - 2,5...4,0 мм. На привідних ножівках ріжуть сталеві, латуні, бронзові заготовки діаметром до 150 мм. У зв'язку з невисокою продуктивністю і точністю за довжиною заготовки різання на привідних ножівках використовують в одиничному та дрібносерійному виробництвах.

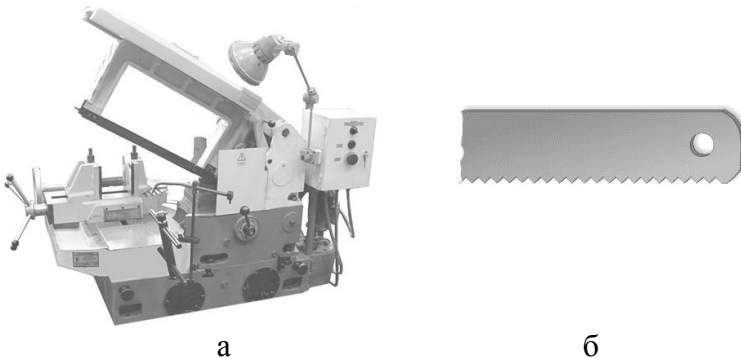


Рисунок 3.3 - Зовнішній вигляд обладнання - привідної ножівки (а) та інструмента – ножівкового полотна (б)

Різання зубчастими пилами (дисковими або стрічковими) забезпечує високі якість розрізу і точність заготовки за довжиною. *Дискова пила* на відрізному круглопильному верстаті (рис. 3.4 а) становить диск діаметром 300...2000 мм і 2...15 мм завтовшки з різальними зубами (рис. 3.4 б), що мають спеціальне загострення. За її допомогою можна розрізати прокат з чорних та кольорових металів діаметром до 600 мм при розрізі 4...15 мм завширшки. При цьому

можливе відрізання точних і коротких заготовок без зміцнення металу у приторцьових зонах; можна різати різні за конфігурацією перерізів прутки без зміни інструменту. Швидкість різання залежить від механічних властивостей матеріалу прутків, і для сталей становить 6...30 м/хв. Головний недолік цього способу різання – відносно висока вартість дискових пилок, низька продуктивність, значні витрати металу на розріз.

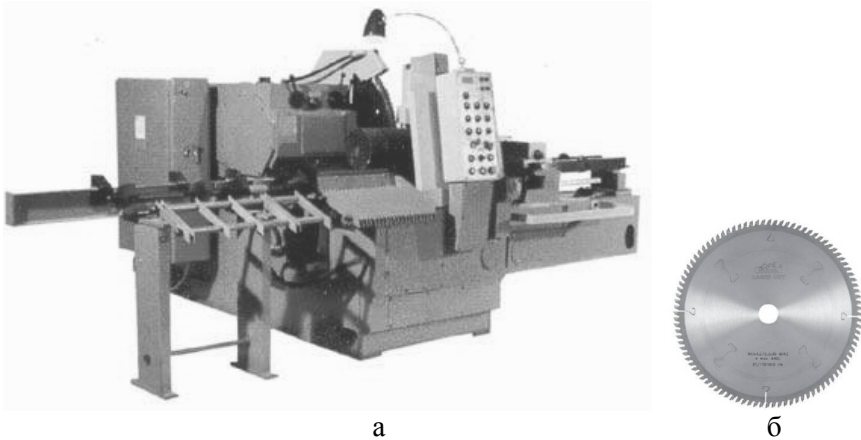


Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд відрізного круглопилального верстата (а) та інструмента – дискової пилки (б)

Стрічкові пилки, що встановлюються на стрікопильних верстатах (рис. 3.5 а), становлять «нескінченні» зубчасті стрічки завтовшки 0,6...3,0 мм (рис. 3.5 б). Їх застосування забезпечує малі витрати металу на розріз, який може бути 0,8...3,2 мм завширшки. Стрічкові пилки використовують для різання сталевих заготовок (діаметром до 500 мм), а також мідних та алюмінієвих сплавів. Швидкість різання залежить від матеріалу заготовки. Наприклад, для сталі вона становить 15...90 м/хв., а для мідних сплавів – 90...240 м/хв. Широкого застосування стрічкові пилки не отримали через порівняно високу вартість інструмента (стрічкового полотна).

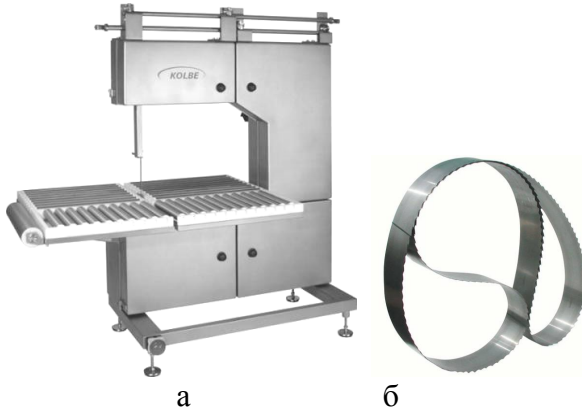


Рисунок 3.5 - Зовнішній вигляд обладнання - стрікопильного верстата (а) та інструмента - стрічкового полотна (б)

Різання абразивними кругами застосовується при розрізанні на заготовки сортового прокату, труб, профілів з високоміцних матеріалів (наприклад, загартованих сталей). Інструментом є абразивні круги (як правило, на вулканитовій зв'язці) діаметром 300...600 мм і 0,5...4,0 мм завтовшки (рис. 3.6 а).

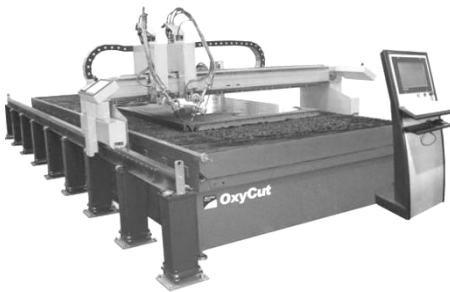


Рисунок 3.6 - Зовнішній вигляд інструмента - абразивного круга (а) та обладнання – абразивно-відрізного верстата (б)

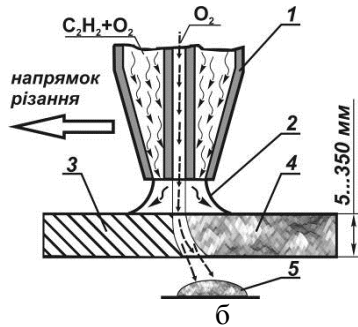
На абразивно-відрізних верстатах (рис. 3.6 б) розрізають круглий прокат діаметром до 200 мм та труби діаметром до 600 мм. Швидкість різання - до 100 м/с. Перевагою абразивного різання є висока точність заготовок, мала шорсткість поверхні розрізу, висока

продуктивність. До недоліків способу відносяться шум під час праці, виділення великої кількості пилю, швидке зношування і висока вартість абразивного інструменту.

Газокисневе різання проводиться як вручну, так і на спеціальних машинах (рис. 3.7 а) і застосовується для різання листів, штаб, зливків, сортового прокату, а також для вирізання з листів фасонних заготовок. Воно ґрунтується на здатності металу, нагрітого до температури займання, загорятися у струмені технічно чистого кисню з виділенням значної кількості тепла (рис. 3.7 б). Успішний перебіг процесу різання залежить від низки умов, які визначаються фізико-хімічними властивостями металу, що розрізається. У зв'язку з цим газокисневим різанням ріжуть, головним чином, вуглецеві та низьколеговані сталі з вмістом вуглецю до 0,7%.



а



б

1 – мундштук газокисневого різача; 2 – підігрівальне полум'я; 3 – метал, що розрізається; 4 – поверхня розрізу; 5 – продукти згоряння (шлаки)

Рисунок 3.7 - Зовнішній вигляд обладнання – машини для газокисневого різання листових заготовок (а) та схема газокисневого різання (б)

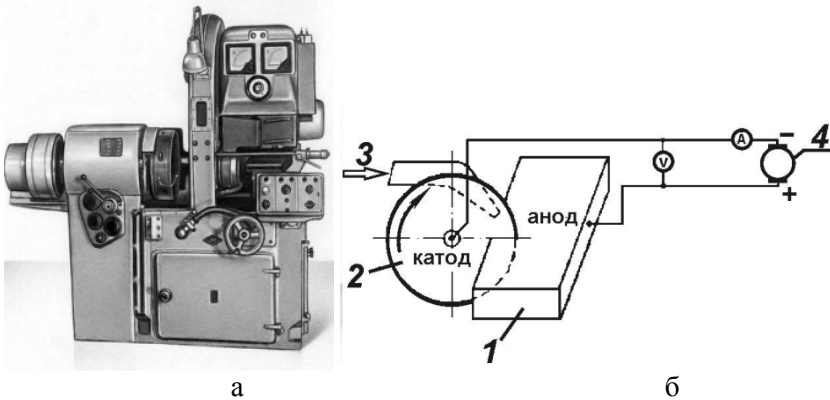
Різання високолегованих сталей, чавунів, кольорових металів та їх сплавів утруднене або практично неможливе. Для різання деяких видів легованих сталей використовують газоплосове різання, під час якого у зону різання разом з різальним киснем подається спеціальний порошкоподібний флюс, який сприяє виділенню більшої кількості тепла у зоні різання.

Товщина прокату для газокисневого різання звичайно становить 5...350 мм. Похибка розмірів заготовки може досягати 1,5...5,0 мм, а ширина розрізу – 2...8 мм. Якість поверхні розрізу низька, з великою кількістю напливів, макронерівностей. Товщина дефектного шару

може становити декілька міліметрів. Продуктивність газокисневого різання залежить значною мірою від товщини металу, що розрізається, геометрії лінії розрізу (пряма або криволінійна). При товщині прокату 10...15 мм швидкість різання становить 0,25...0,70 м/хв., при товщині 50...250 мм вона знижується до 0,12...0,25 м/хв., а при товщині понад 250 мм швидкість різання не перевищує 0,10...0,12 м/хв.

Різання прутків та зливків на анодно-механічних верстатах здійснюється дисковими чи стрічковими катодами з низьковуглецевої сталі. Інструмент дешевий, легко виготовляється. Швидкість різання 10...25 мм/хв, ширина розрізу – 0,5...2,5 мм. На рис. 3.8 наведено схему анодно-механічного різання металу, на основі якої побудовані розрізні верстати такого типу. Рухомий інструмент 2 (наприклад, металевий диск, катод) разом з прутком - заготовкою 1 (анод) знаходяться у середовищі електроліту. Під дією струму у розрізі утворюється плівка продуктів анодного розчинення, яка безперервно видаляється інструментом.

Разом з тим інструмент усуває з розрізу дрібні частинки металу, оплавленого тепловими імпульсами внаслідок дії електричного струму. Як електроліт застосовується водний розчин рідкого скла.



1 – оброблювана заготовка; 2 – інструмент; 3 – подача електроліту;
4 – генератор постійного струму

Рисунок 3.8 - Верстат для анодно-механічного різання (а); схема анодно-механічного різання металу (б)

Інтенсивність різання залежить від електричних та механічних режимів верстата і становить 2000...6000 мм³/хв. З підвищенням інтенсивності різання знижується точність та чистота поверхні

розрізу. Анодно-механічне різання застосовують для різання твердих чи занадто в'язких металів і сплавів (нікелеві, хромонікелеві сплави). Анодно-механічні верстати порівняно дорогі, потребують кваліфікованої експлуатації.

3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Підготувати таблицю 3.1 для запису результатів експериментів.

2. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується технології, інструментів та обладнання, яке використовується при різанні виробів прокату:

[1] с. 120 - 127; [2] с. 238 - 239; 318 - 319 [3] с. 419 - 420; 514 – 515; 572 - 574; [4] с. 303 - 306; 338 - 341.

Таблиця 3.1 – Результати експерименту

№ п/п	Спосіб різання	Діаметр прокату d, мм	Довжина відрізаної заготовки l, мм	Похибка різання $\Delta l = l - l_0$, мм	Час різання τ , с	Шорсткість поверхні розрізу R_a , мкм	Об'єм металу, витраченого на розріз V , мм ³
1	На сортових ножицях						
2	На привідній ножівці						
3	Дисковою пилкою						
4	Газокисневе різання						
5	Абразивним кругом						

3.4 Контрольні питання

1. Чим характеризується якість різних способів різання?

2. У чому суть різання на сортових ножицях, пресах-холодноламах і яка якість отриманих цими способами заготовок?

3. Опишіть якість заготовок, які отримують різанням дисковими та стрічковими пилками?

4. Порівняйте якість заготовок, отриманих різанням дисковими пилками та абразивними кругами.

5. У чому суть та технологічні особливості газокисневого різання?

6. Які зміни властивостей металу відбуваються у торці заготовки при різних способах різання?

3.5 Матеріали, інструменти та обладнання

1. Сортів ножиці.
2. Привідна ножівка.
3. Горизонтально-фрезерний верстат.
4. Установка для різання абразивними кругами.
5. Установка для газокисневого різання.
6. Верстат для анодно-механічного різання.
7. Ножівкове полотно.
8. Дискова фреза діаметром 150 мм.
9. Штангенциркуль.
10. Лінійка.
11. Секундомір.
12. Набір еталонів для визначення шорсткості поверхні.
13. Пруток сталевий діаметром 10...30 мм.

3.6 Вказівки з техніки безпеки

1. При різанні на сортових ножицях вчасно прибирати руки з робочого простору ножиць.

2. При різанні на механічних установках перевірити міцність закріплення прутка, що розрізається, у машинних лещатах.

3. При різанні прутка дисковою фрезою або абразивним кругом забороняється стояти у площині обертання фрези (круга).

4. Всі вимірювання проводити після повної зупинки механічного обладнання.

5. При газокисневому різанні необхідно обережно поводитися з

кисневим та ацетиленовим балонами, не допускаючи їхнього перегрівання, ударів та попадання мастил на кисневий балон.

3.7 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з наявним обладнанням для різанням заготовок: газокисневий різак, сортові ножиці, привідна ножівка, горизонтально-фрезерний верстат, установка для різання абразивними кругами.

2. Отримати пруток для різання, виміряти його діаметр d , провести розмітку заготовок на задану викладачем довжину l_0 .

3. Підготувати відповідне обладнання для різання. Провести різання заготовок всіма способами, що вивчаються, фіксуєючи фактичний розмір заготовки l , час різання τ та ширину розрізу b .

4. Оцінити точність розмірів отриманих заготовок (похибку Δl), якість поверхні розрізу R_a і витрати (об'єм) металу в зоні розрізу V для кожного способу різання. Результати вимірювань та розрахунків занести у табл. 3.1.

3.8 Зміст звіту

1. Коротко описати суть, головні особливості вивчених способів різання з наведенням необхідних ескізів.

2. Навести таблицю 3.1 з результатами вимірювань та розрахунків.

3. Зробити висновки, визначивши кращі способи різання за продуктивністю, точністю розмірів заготовки, шорсткістю поверхні розрізу та витратами металу.

Лабораторна робота № 4

ВПЛИВ СПОСОБУ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ

4.1 Мета роботи

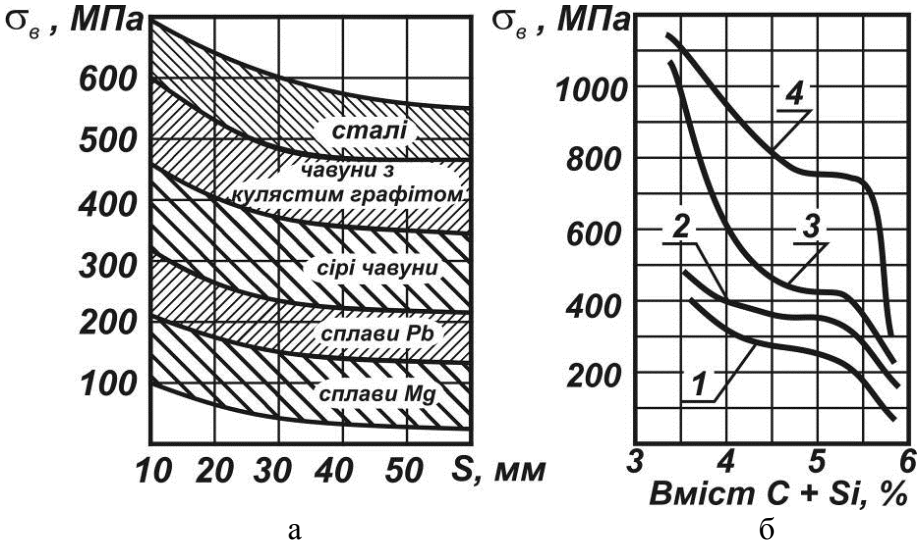
Аналіз впливу технологічних методів виробництва заготовок на механічні властивості металу; кількісна оцінка механічних властивостей металу у різних ділянках заготовки.

4.2 Загальні відомості

Властивості металу залежать не лише від хімічного складу (марки) сплаву, але й від методу його попереднього оброблення (від технологічної спадковості). Різні методи виробництва заготовок мають свої засоби впливу на вихідний матеріал, що веде до утворення нових структур, зміни хімічного складу у поверхневому шарі, виникненню тих чи інших дефектів. Тому з одного і того ж матеріалу можна виготовити заготовки з різними фізико-механічними властивостями. Як відомо, найчастіше заготовки виготовляють литтям, холодним або гарячим обробленням металів тиском та зварюванням.

Литі заготовки характеризуються неоднорідністю структури і механічних властивостей металу у різних частинах виливка. Це спричиняється неоднаковими умовами їх кристалізації та охолодження. Ступінь неоднорідності структури сплаву певного хімічного складу залежить головним чином від швидкості охолодження даної частини заготовки, тобто власне від товщини стінки виливка у цьому місці, від конструкції та матеріалу ливарної форми, способу її охолодження.

Поверхневі шари металу кристалізуються з більшою швидкістю і мають більш дрібнозернисту структуру, ніж центральна частина виливка. Чим товстіша стінка заготовки, тим більша різниця у швидкості твердіння, а отже й у розмірах зерен на її поверхні та в осерді. Тому збільшення товщини стінки литої заготовки не супроводжується пропорційним збільшенням її міцності (рис. 4.1 а). Вплив способу лиття, а отже й умов кристалізації та охолодження чавунних виливків у ливарній формі показаний на рис. 4.1 б.



1 - лиття у піщані форми з наступним відпалюванням; 2 – кокільне лиття з наступним відпалюванням; 3 – кокільне лиття з гартуванням та відпусканням; 4 – лиття у піщані форми з гартуванням та відпусканням

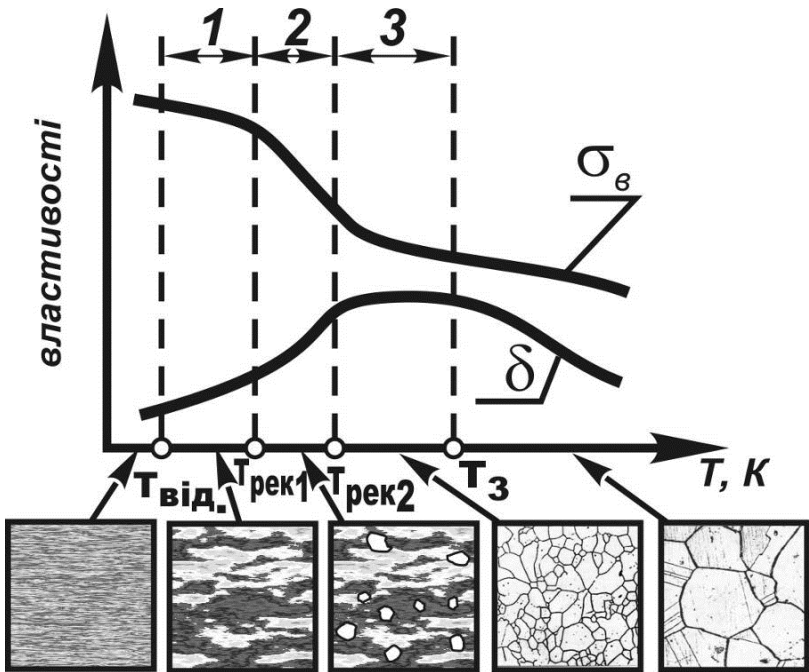
Рисунок 4.1 - Залежність границі міцності σ_y ливарних сплавів від товщини стінки S виливків (а) та вплив способу лиття на механічні властивості чавунних виливків (б)

Кокільне лиття відрізняється порівняно великою швидкістю охолодження, що разом з деякими позитивними факторами призводить до збільшення нерівномірності структури. Наприклад, у поверхневих шарах чавунних виливків може відбуватися вибілювання, а у сталевих - гартування. Первинна структура литого металу може бути покращена термічним обробленням (відпалюванням), але усунути неоднорідність структури повністю майже неможливо.

При виробництві заготовок оброблення металів тиском відбувається значна зміна структури металу та його фізико-механічних властивостей у залежності від температурно-швидкісного режиму деформування.

В умовах холодного оброблення тиском зі збільшенням ступеня деформування зростають твердість і міцність металу, зменшується пластичність (рис. 4.2) – з'являється наклеп. Холодним

деформуванням можна значною мірою (у 2...3 рази) підвищити границі міцності та плинності металу.



Температурні діапазони відповідають режимам термооброблення:
1 – відновленню; 2 – первинній (неповній) рекристалізації; 3 – збірній (повній) рекристалізації

Рисунок 4.2 - Вплив нагрівання на структуру і властивості металу, зміцненого холодним деформуванням

Спотворення кристалічної будови металу під час холодного пластичного деформування веде до термодинамічної нестійкості металу. При нагріванні здеформованого металу відбуваються процеси, які намагаються повернути всі його властивості у вихідний стан, тобто до тих параметрів, які були до деформування (див. рис. 4.2).

При нагріванні деформованого металу до температури $T_{\text{від}} = (0,2...0,3)T_{\text{пл}}$ (де $T_{\text{пл}}$, - температура плавлення металу у К) відбувається усунення деяких дефектів кристалічної ґратки. Міцність ($\sigma_{\text{в}}$) дещо зменшується, пластичність (δ) підвищується. Це явище

називається відновленням. При температурі $T_{\text{рек1.}} = (0,4 \dots 0,6) T_{\text{пл}}$ починається процес первинної рекристалізації, який полягає в утворенні та зростанні рівноважних зерен з неспотвореною кристалічною ґраткою. При температурі $T_{\text{рек2.}}$ відбувається збірна рекристалізація зерен. При цьому наклеп практично повністю знімається, і властивості металу наближаються до вихідних.

Перегрівання до температури $T_3 > 0,8 T_{\text{пл}}$ спричиняє утворення занадто великих зерен, внаслідок чого зменшується міцність і особливо пластичність металу. Треба мати на увазі, що рекристалізація не усуває спрямованого розташування міжзерених неметалевих включень (волокистості структури), тому і після рекристалізаційного відпалювання, і після гарячого деформування у металі спостерігається деяка анізотропія властивостей, особливо показників пластичності, в'язкості та втомної витривалості.

При виробництві зварних заготовок зміна властивостей відбувається у зварному шві та у зоні термічного впливу – ділянці основного металу, яка межує зі зварним швом і структура та властивості якої змінилися внаслідок нагрівання при зварюванні та наступному охолодженні. Механічні властивості зварного шва (центральна частина рис. 4.3) відрізняються від властивостей основного металу заготовки у зв'язку зі зміною його хімічного складу та з підвищеною швидкістю охолодження шва.

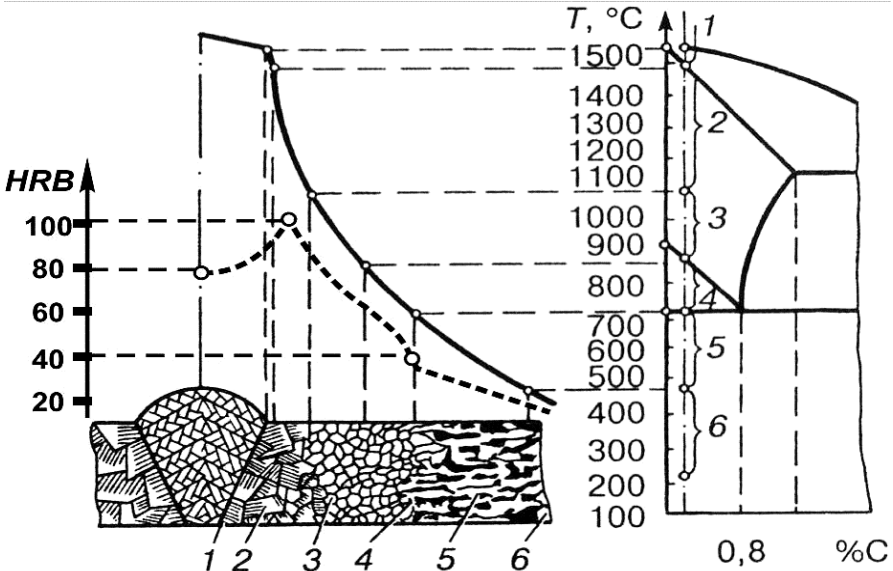
Властивості зони термічного впливу (зони 1 – 6 рис. 4.3) змінюються залежно від відстані її ділянки від зварного шва, а отже від температури нагрівання при зварюванні та швидкості подальшого охолодження. Ширина зони термічного впливу обмежується ділянкою з температурою близько 100°C (зона 6 рис. 4.3) і у залежності від хімічного складу, товщини металу і способу зварювання може становити від 1 до 40 мм.

4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Підготувати таблицю 4.1 для запису результатів експериментів.

2. При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал щодо конструктивних матеріалів, які використовуються при литті, обробленні тиском та зварюванні, властивостей цих матеріалів та впливу на них згаданих вище технологічних процесів:

[2] с. 133 - 136; 222 – 224; [3] с. 430 – 433; [4] с. 273 – 277.



1 – зона сплавлення; 2 – зона перегріву; 3 – зона нормалізації; 4 – зона неповної рекристалізації; 5 – зона перекристалізації; 6 – зона синьоламкості

Рисунок 4.3 - Розподіл максимальних температур і твердості у зварному шві та різних ділянках зони термічного впливу при зварюванні

4.4 Контрольні запитання

1. Як змінюються властивості заготовки при виготовленні її різними методами (литтям, обробленням тиском, зварюванням)?
2. Як впливає спосіб виготовлення заготовки на її оброблюваність різанням?
3. Як впливають матеріал і конструкція ливарної форми та умови її охолодження на властивості литих заготовок?
4. Як змінюється міцність литої заготовки зі збільшенням товщини її стінок?
5. Як змінюються структура та властивості металу при холодному пластичному деформуванні?

Таблиця 4.1 – Результати експериментів

Параметр		Спосіб виготовлення зразків (заготовок)			
		Лиття	Гаряче прокатування	Холодне кування	Зварювання
Випробування на розтяг	$F_0, \text{м}^2$				
	$l_0, \text{мм}$				
	$F_K, \text{м}^2$				
	$l_K, \text{мм}$				
	$P_B, \text{Н}$				
	$\sigma_B, \text{МПа}$				
	$\delta, \%$				
	$\psi, \%$				
Випробування на ударну в'язкість	$F_H, \text{М}^2$				
	$KU, \text{кДж}$				
	$KCU, \text{кДж/м}^2$				
Твердість за Роквеллом, HRB					

6. Чи змінюються властивості металу при гарячому пластичному деформуванні?

7. Що таке зона термічного впливу зварного з'єднання?

8. Як змінюються властивості металу по поперечному перерізу зварного з'єднання?

4.5 Матеріали, інструмент, обладнання

1. Універсальна розривна машина.

2. Маятниковий копер для випробування на ударну в'язкість.

3. Твердомір ТК-2.

4. Штангенциркуль.

5. Зразки для випробування на розтяг зі сталі 10, отримані литтям, з гарячекатаного та холоднокованого прутків – по 3 шт. кожного виду.

6. Зразки для випробування на розтяг з тієї ж марки сталі, вирізані зі звареного встик прутка (з розташуванням шва посередині) – 3 шт.

7. Зразки для випробування на ударну в'язкість з тієї ж марки сталі: литі, з прутків гарячекатаного та холоднокованого, а також зварені встик з розташованим посередині шва надрізом – по 3 шт. кожного виду.

8. Зварний зразок зі сталі 20 для аналізу розподілу твердості по зварному з'єднанню – 1 шт.

4.6 Вказівки з техніки безпеки

1. При вимірюванні твердості уникати знаходження рук поблизу індентора твердоміра.

2. При роботі на маятниковому копрі встановлювати зразки на копер лише за допомогою спеціального пристрою.

4.7 Порядок виконання роботи

1. Провести вимірювання розмірів зразків для випробувань на розтяг та ударну в'язкість. Визначити вихідні розміри: довжину l_0 , площини поперечного перерізу F_0 (зразки на розтяг) та F_n (зразки на ударну в'язкість).

2. Для кожної з чотирьох груп зразків (литі, гарячекатані, проковані у холодному стані, зварні) провести випробування та визначити середні значення:

- границі міцності σ_b , відносного видовження δ та відносного звуження ψ після розірвання;
- ударної в'язкості KCU;
- твердості HRB.

3. Отримані дані занести у табл. 4.1.

4. Визначити твердість у декількох точках за перерізом зразка (п. 8 підрозділу 4.5) на ділянці довжиною 15...20 мм., починаючи з середини зварного шва. За результатами вимірювань побудувати криву розподілу твердості (аналогічно рис. 4.3).

5. Зробити висновки, порівнявши міцність, пластичність, ударну в'язкість чотирьох груп випробуваних зразків та проаналізувати розподіл твердості по поперечному перерізу зварного зразка.

4.8 Зміст звіту

1. Коротко описати можливі зміни властивостей матеріалу заготовок, виготовлених литтям, гарячим або холодним обробленням тиском та зварюванням.
2. Навести табл. 4.1 з результатами вимірювань і розрахунків.
3. Накреслити криву розподілу твердості по поперечному перерізу зварного зразка.
4. Навести висновки по роботі про вплив способів виготовлення заготовок на їх механічні властивості.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Плескач В.М., Акімов І.В., Мітяєв О.А. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: підручник / за заг. ред. доц. В.М.Плескача. Запоріжжя: Просвіта, 2013. 370 с.

2. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб та ін.; за ред. М. А. Сологуба. - К.: Вища шк., 2002.-374 с.

3. Попович В., Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник.-Львів: Світ, 2006.-624 с.

4. Волчок, І.П., Плескач В.М, Шестаков І.А. Сучасні виробничі технології у машинобудуванні та металургії: навч. посібник/ за заг. ред. проф. І.П.Волчка. Запоріжжя: ЗНТУ, Дике Поле, 2006. 360 с.

Додаткова

5. Богуслаєв В.О. та ін. Авіаційно-космічні матеріали та технології.- Запоріжжя: вид. ВАТ «Мотор Січ», 2009. -383 с.

6. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: Навч. посібник.- Львів: «Магнолія 2006», 2007. -500 с.

7. Голофаєв А.М., Гутько Ю.І., Тараненко Н.О. Технологічна оснастка ливарного виробництва: Навчальний посібник – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. - 304 с.

8. Технологічні процеси за фахом. Кування і штампування : навч. посібник / В. В. Кухар та ін. – Маріуполь: ПДТУ, 2017. – 144 с.

9. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О. Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. К.: Либідь, 2002. 320 с.