

Міністерство освіти і науки України



ТЕХНОЛОГІЇ МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки
до лабораторних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньо-професійних праграм
спеціальності 132 "Матеріалознавство"
галузі знань 13 "Механічна інженерія"
денної та заочної форм навчання

ЛУЦЬК 2024

УДК 621.9 (075)

T38

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ

Директор бібліотеки _____ С.С. Бакуменко

Рекомендовано до видання вченою радою факультету митної справи, матеріалів та технологій ЛНТУ, протокол № ____ від " ____ " _____ 20__ року.

Голова вченої ради факультету ММТ _____ В.В. Ткачук

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри матеріалознавства ЛНТУ, протокол № __ від " ____ " _____ 20__ року.

Завідувач кафедри матеріалознавства _____ М.Д. Мельничук

Укладачі: _____ Д.А. Гусачук, кандидат технічних наук,
доцент кафедри матеріалознавства ЛНТУ;
_____ С.В. Мисковець, кандидат технічних наук,
доцент кафедри матеріалознавства ЛНТУ.

Рецензент: _____ В.І. Марчук, доктор технічних наук,
професор кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ.

Відповідальний за випуск: _____ М.Д. Мельничук, кандидат
технічних наук, доцент, завідувач кафедри матеріалознавства ЛНТУ.

T38 Технології матеріалів : методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійних програм спеціальності 132 "Матеріалознавство" галузі знань 13 "Механічна інженерія" денної та заочної форм навчання / уклад. Д.А. Гусачук, С.В. Мисковець. – Луцьк: ЛНТУ, 2024. – 56 с.

Методичне видання містить лабораторні роботи до тем курсу "Технології матеріалів", виконання яких формує навички з досліджень та випробування матеріалів, сучасних технологій машинобудування, процесів обробки матеріалів.

Видання призначене для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх освітніх програм спеціальності 132 "Матеріалознавство" галузі знань 13 "Механічна інженерія".

© Д.А. Гусачук, С.В. Мисковець, 2024

© ЛНТУ, 2024

Зміст

Вступ.....	4
1 Мета та матеріальне забезпечення лабораторного практикуму	5
2 Вимоги щодо техніки безпеки та охорони праці.....	5
3 Інструкції до лабораторних робіт.....	6
Лабораторна робота 1 "Випробування матеріалів на технологічність"б	
Лабораторна робота 2 "Дослідження впливу ступеня укову на структуру заготовки при вільному куванні"	11
Лабораторна робота 3 "Дослідження процесу отримання вилівка в разових піщаних формах"	16
Лабораторна робота 4 "Дослідження режимів ручного електродугового зварювання"	24
Лабораторна робота 5 "Дослідження геометрії ріжучого інструменту для виконання процесу точіння на токарних верстатах"	28
Лабораторна робота 6 "Дослідження процесу абразивної обробки поверхні металевих виробів на плоскошліфувальному верстаті"	35
Лабораторна робота 7 "Дослідження процесу обробки плоских металевих поверхонь деталей на CNC верстатах"	46
4 Вимоги до оформлення звіту з виконання робіт	52
5 Рекомендована література та ресурси.....	53

Вступ

Машинобудування – ведуча галузь народного господарства і найважливішим її завданням є підвищення продуктивності праці та якості продукції, а також зниження енерго- та матеріаломісткості виробничих процесів, зменшення шкідливих викидів та сталий розвиток промислових технологій.

Розвиток машинобудування та інших галузей промисловості нерозривно пов'язаний з еволюцією технологій. В останні роки промислові технології відіграють роль потужного двигуна економічного розвитку в багатьох країнах світу. Вчасна зміна та прогрес технологій забезпечує конкурентоспроможність сучасного виробництва, за що відповідає правильна технологічна політика та постійний моніторинг технологічних змін.

Сучасному фахівцю в галузі механічної інженерії слід добре усвідомлювати всі перелічені аспекти впровадження та використання технологічних процесів. Аналіз конкретних прогресивних технологій у різних галузях господарства дозволить розширити уявлення про них, одержати знання про їхню специфіку та особливості виробництва, сформулювати можливі проекти, що будуть стосуватись удосконаленню технологічних процесів, а може і їх кардинальній зміні. В цьому аспекті технології матеріалів відіграють роль основи розуміння виробничих процесів та є глобальним базисом сучасного машинобудування.

1 Мета та матеріальне забезпечення лабораторного практикуму

Метою лабораторного практикуму є надання здобувачу освіти необхідних навичок, пов'язаних з основами технології конструкційних матеріалів і вмінь виконання та проектування процесів обробки матеріалів, вирішувати науково-технічні, організаційні й соціально-економічні питання, пов'язані з конструюванням, експлуатацією та обслуговуванням виробничого обладнання машинобудівних підприємств. Професіоналізм майбутнього інженера насамперед залежить від володіння знаннями про будову та властивості конструкційних матеріалів, закономірності їх поведінки в різноманітних умовах експлуатації, технологію виробництва відповідних матеріалів.

Матеріальне забезпечення лабораторного практикуму в цілому включає: преси лабораторні ПГ-10, машини випробувальні типу МІ-5000; нагрівальні електричні печі типу СНОЛ з діапазоном регулювання температур до 1100 °С; індукційний нагрівач ВЧИ-15, верстатне обладнання (токарні, фрезерувальні, свердлувальні, шліфувальні верстати); комплект штампів; ливарний та ковальський інструмент; комплект металообробного інструменту; металографічні мікроскопи МІМ-10М, МБС-10; персональні ЕОМ; обладнання та інструмент для 3D друку, засоби вимірювання технічних величин.

У тому випадку, якщо матеріальне забезпечення включає додаткове обладнання, воно обумовлюється (з врахуванням доповнень) у відповідних інструкціях.

2 Вимоги щодо техніки безпеки та охорони праці

Причини травмування під час виконання лабораторного практикуму можуть бути самими різними, але основними з них є: зневага правил внутрішнього розпорядку та поведінки, ігнорування правил техніки безпеки, умисне порушення трудової і технологічної дисципліни, користування несправним обладнанням, приладами, інструментами і пристосуваннями. Цілям попередження травматизму служать: вступний інструктаж для ознайомлення студентів із внутрішнім розпорядком у навчальних приміщеннях університету, первинний інструктаж для роз'яснення специфічних особливостей вражаючих факторів у предметних аудиторіях та лабораторіях кафедри, а також повторний інструктаж, спрямований на

попередження травматизму при виконанні конкретного завдання (практикуму).

Техніка безпеки під час проведенні лабораторних робіт забезпечується комплексом заходів, які включають проведення інструктажу в цілому та конкретно на кожному робочому місці, а також застосування заходів захисту.

На початку проведення лабораторних робіт здобувачі ознайомлюються з правилами безпеки та роботи в лабораторії. Викладач проводить інструктаж із техніки безпеки та правил експлуатації лабораторного обладнання. Вмикання обладнання дозволяється тільки в присутності викладача. Під час проведення лабораторних робіт не слід залишати без нагляду обладнання, яке працює.

До заходів та засобів захисту під час виконання лабораторних робіт з технології матеріалів відносять:

- забезпечення централізованого заземлення електричних приборів та пристроїв будь-якого призначення;
- використання захисних окулярів і огорожі при роботі на шліфувальному та полірувальному верстатах;
- рукавиць та кліщів при роботі на нагрівальному обладнанні.

Відповідальним за інструктаж і дотримання техніки безпеки є викладач, який проводить лабораторні роботи, а за технічно справне обладнання та його безпечний стан – старший лаборант, який відповідає за дану лабораторію.

3 Інструкції до лабораторних робіт

Лабораторна робота 1 "Випробування матеріалів на технологічність"

Мета: виконати випробування властивостей зразка матеріалу для встановлення його здатності до механічного оброблення та обробки тиском.

Обладнання та матеріали: твердомір Польді, твердомір NOVOTEST ТС-БРВ, мікроскоп МБС-10, зразки матеріалів з різним механічним станом, прес випробувальний ПГ-10, вимірювальний інструмент.

Теоретичний матеріали.

Механічні властивості матеріалів, металів та сплавів визначають їх механічний стан, тобто поведінку за механічного навантаження, надійність та міцність конструкцій, а також металоємкість машин та механізмів, загальний ресурс їх роботи. Зрозуміло, що за обробки матеріалу, легкість та зручність процесу його оброблення буде також визначатись рівнем основних механічних властивостей. Відповідно, ці показники впливають на технологічність матеріалу, тобто придатність до оброблення тим, чи іншим способом.

До основних механічних властивостей відносяться: міцність, твердість, в'язкість, пластичність.

Міцність – здатність матеріалу витримувати певні навантаження не руйнуючись при цьому.

Твердість – це властивість матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого більш твердого тіла.

В'язкість – визначається здатністю матеріалу витримувати динамічні (ударні) навантаження.

Пластичність – це властивість матеріалу змінювати форму та розміри не руйнуючись при цьому.

Міцність матеріалу, за перше, визначає його здатність витримувати навантаження, чинити опір деформації, руйнуванню. Ця характеристика більше оцінює експлуатаційні якості матеріалу у конкретному виробі. У процесі обробки матеріалу більш важливими є характеристики його твердості, пластичності, в'язкості. Вони є визначальними під час оцінки придатності до обробки різанням чи механічної обробки та обробки тиском. Для інших технологічних способів оброблення матеріалів, слугують специфічні характеристики, наприклад, для литва матеріалів металевої природи, важливі властивості розплавів: текучість тощо.

Механічні властивості матеріалів тісно пов'язані між собою. Тверді тіла, як правило, міцні, але в той же час мають низьку в'язкість (тобто високу крихкість) та низький рівень пластичних характеристик. Визначення механічних характеристик, як правило, потребує виготовлення спеціальних зразків, або руйнування деталей. Визначити придатність конструкційного матеріалу до обробки можна за оцінкою твердості, як найбільш універсальної характеристики. Досвідчені фахівці металурги, механіки можуть інтуїтивно оцінити стан матеріалу, знаючи його природу, приблизний склад. Тут навіть застосовують кустарні методи простукування, дряпання поверхні,

якщо мова йде про метали та сплави, особливо сталі, чавуни, які є досить відомими та розповсюдженими конструкційними матеріалами. Відоме дослідження сталі за іскрінням під час швидкісного точіння абразивним інструментом.

Отже, твердість матеріалів можна вважати такою універсальною характеристикою для оцінки їх придатності різноманітних способів обробки. За низького її значення матеріал є пластичним, але слід пам'ятати, що таке твердження справедливе для металів. Якщо ж ми маємо справу з матеріалами іншої природи, то слід використовувати й інші показники. Також, знаючи про низьку твердість конструкційного сплаву, не завжди можна зробити висновок про його здатність до обробки механічними способами: різання, точіння. Зокрема, м'які сталі, маючи високу пластичність, можуть характеризуватись високою в'язкістю. У цьому випадку за точіння на механічних верстатах утворюється гнучка нерозривна стружка, що вкрай заважатиме обробці виробу. В'язкі матеріали здатні налипати на різальний інструмент, погіршуючи його якості.

Визначення твердості матеріалів є найпоширенішим методом випробування конструкційних сплавів, який не потребує виготовлення спеціальних зразків і може бути використаний на готових деталях.

Твердість конструкційних сталей безпосередньо пов'язана з границею міцності σ_B , тому, знаючи твердість сталі, можна визначити границю міцності:

$$\sigma_B = 0,36 \cdot HB.$$

Твердість визначається як відношення сили опору до площі поверхні, площі проекції чи об'єму втисненої в матеріал частини проникаючого в нього більш твердого тіла, що називають індентором.

Розрізняють поверхневу, проекційну і об'ємну твердість:

- поверхнева твердість – відношення навантаження до площі поверхні відбитка ;
- проекційна твердість – відношення навантаження до площі проекції відбитка ;
- об'ємна твердість – відношення навантаження до об'єму відбитка.

Твердість вимірюють у трьох діапазонах: макро , мікро , нано.

Макродіапазон регламентує величину навантаження на індентор від 2 Н до 30 кН. Мікродіапазон (мікротвердість) регламентує величину навантаження на індентор до 2 Н і глибину втиснення індентора більше 0,2 мкм.

Нанодіапазон регламентує тільки глибину втиснення індентора, яка повинна бути менше 0,2 мкм. Часто твердість у нанодіапазоні називають нанотвердістю.

Одним з перших методів визначення твердості був метод, що базувався на використанні шкали Мооса. В цьому випадку визначалось який з десяти стандартних мінералів дряпає тестований матеріал, і який матеріал з десяти стандартних мінералів дряпається досліджуванним матеріалом. Найбільш твердими з існуючих на сьогоднішній день матеріалів є дві аллотропні модифікації вуглецю - лонсдейліти, фуллерит, алмаз).

Існуючі методи вимірювання твердості різняться умовами прикладання навантаження на індентор, формою індентора, твердістю досліджуваного матеріалу, товщиною зміцненого шару покриття деталі, локальністю досліджень.

Найбільш поширені методи визначення твердості: за статичним втисненням (твердоміри Брінелля, Роквелла, Віккерса, Кнупа); за динамічним навантаженням – метод пружного відскоку бойка (твердомір Шора) і метод орієнтовного визначення твердості втисненням кульки ударом (твердомір Польді); вимірюванням електроопору; коливанням маятника; ультразвукові методи.

Твердість за Шором для металів визначається методом відскоку – за висотою, на яку після удару відскакує спеціальний, боек що падає з певної висоти в склероскопі. Твердість за цим методом оцінюється в умовних одиницях, пропорційних висоті відскоку бойка.

Твердість за Шором для полімерів (метод вдавнення) - визначається за глибиною проникнення в матеріал спеціальної загартованої сталеві голки (індентора) під дією каліброваної пружини. У цьому методі вимірювальний прилад іменується дюрометром. Метод Шора, описаний стандартом ASTM D2240, обумовлює 12 шкал вимірювання.

Застосовується також метод Кузнєцова-Герберта-Ребиндера, в цьому випадку – твердість визначається часом загасання коливань маятника, опорою якого є досліджуваний метал.

При методі Польді (подвійного відбитка кульки) – твердість оцінюється в порівнянні з твердістю еталона, випробування проводиться шляхом ударного вдавнення сталеві кульки одночасно в досліджуваний матеріал і еталон (рис. 1.1). Твердість досліджуваного металу визначають за формулою:

$$HP = H_e \cdot \frac{F_e}{F_d}, \text{ кгс/мм}^2 (\text{МПа}),$$

де: H_e – твердість еталона по Брінеллю;

F_e - площа відбитка на еталоні, мм^2 ;

F_d – площа відбитка на досліджуваному металі.



Рисунок 1.1 – Метод та твердомір Польді вимірювання твердості металів

Використовуючи твердомір Польді можна швидко оцінити твердість та, відповідно, придатність виробу чи заготовки металу до обробки на металорізальних верстатах чи обробки тиском. Немає потреби у спеціальному приготуванні зразків. Таким чином можна швидко оцінити технологічність металу.

Дослідна частина, порядок виконання роботи.

1. Ознайомитись з теоретичним матеріалом. Засвоїти методику вимірювання твердості твердоміром Польді.
2. Отримати від викладача зразки сталі для оцінки їх придатності до механічного оброблення та обробки тиском.
3. Оцінити стан зразків за дряпанням поверхні загартованим керном. Зробити висновки про стан зразків.
4. Провести вимірювання твердості зразків за методом Польді. Зробити оцінку та висновки за отриманими результатами, які порівняти з результатами попереднього досліду.
5. Провести вимірювання твердості зразків на стаціонарному твердомірі NOVOTEST ТС-БРВ. Зробити оцінку та висновки за отриманими результатами, які порівняти з результатами попереднього досліду.

6. Використовуючи лабораторний прес ПГ-10, оцінити рівень пластичності зразків за осьового стискання.

7. Зробити загальні висновки. Дати оцінку стану зразків, вказавши рівень технологічності матеріалу щодо обробки різанням та тиском. Вказати можливі причини низької технологічності матеріалу та можливі шляхи її покращення.

Питання для підготовки.

1. Як поділяють механічні властивості за способами навантаження при випробуваннях матеріалів?

2. Що розуміють під технологічністю конструкційного матеріалу?

3. Що характеризує твердість матеріалу?

4. Що являє собою пластичність матеріалів?

5. Як пов'язана твердість конструкційних сталей з міцністю?

6. Які є методи вимірювання твердості металів?

7. У чому полягає метод Роквелла вимірювання твердості?

Лабораторна робота 2 "Дослідження впливу ступеня укову на структуру заготовки при вільному куванні"

Мета: отримати практичні навички використання методів дослідження структури заготовок після обробки тиском за способом ручного чи машинного кування, з відповідною оцінкою їх механічного стану та розробки можливих способів усунення небажаних структурних змін.

Обладнання та матеріали: проковані зразки конструкційних сталей; шліфувально-полірувальні верстати та матеріали; мікроскопи МБС-10, МІМ-10М; вимірювальний інструмент.

Теоретичний матеріали.

За пластичного деформування металів підвищується густина дефектів кристалічної будови і зростає опір їх переміщенню. Із збільшенням ступеня деформації межі міцності та плинності, а також твердість збільшуються, а пластичність і в'язкість знижуються; зростають залишкові напруження. Зміцнення металів при пластичній деформації називається *наклепом*. У результаті зміцнення пластичні

властивості металів можуть знизитися настільки, що подальша деформація викликає руйнування.

Явище наклепу переводить метал у термодинамічно несталий стан з підвищеним запасом внутрішньої енергії, тому він прагне мимовільно перейти в більш рівноважний стан. За нагрівання наклепаного металу до температур, що складають 0,2...0,3 від температури плавлення $T_{пл}$ (поверненні), частково зменшуються зміни кристалічної ґратки і внутрішні напруження без значної зміни мікроструктури і властивостей деформованого металу.

За нагрівання деформованих металів вище $0,4 \cdot T_{пл}$, утворюються нові рівновісні зерна і властивості металу повертаються до їх початкових значень до деформації. Процес утворення нових центрів кристалізації і нових рівновісних зерен у деформованому металі під час нагрівання, що супроводжується зменшенням міцності, збільшенням пластичності і відновленням інших властивостей, називається *рекристалізацією*. Найменша температура, за якої починається процес рекристалізації і втрата міцності металу, називається температурою рекристалізації. Розмір зерна після рекристалізації залежить від ступеня і швидкості деформації, а також температури і тривалості нагрівання.

Залежно від температур, швидкісних умов під час деформування можуть відбуватися два протилежних процеси: зміцнення, викликане деформацією, і втрата міцності, обумовлена рекристалізацією. Відповідно до цього розрізняють холодну і гарячу деформацію. Холодне деформування відбувається при температурах нижче температури рекристалізації і супроводжується наклепом металу. Гаряче деформування протікає при температурах, вищих температури рекристалізації. При гарячій деформації також відбувається зміцнення металу (гарячий наклеп), але воно цілком знімається в процесі рекристалізації. При ній пластичність металу вища, а опір деформації приблизно в 10 разів менший, ніж при холодній деформації. Деформація, після якої відбувається тільки часткова втрата міцності, називається неповною гарячою деформацією.

Отже, завдяки одночасного плину, під час гарячої обробки тиском, процесів зміцнення та знеміцнення, явища наклепу металу та волокнистості його структури ніби не спостерігається. Проте, проходження процесів рекристалізації під час пластичного формування дозволяє суттєво подрібнити зерна металу. Це пов'язано з

ростом нових зерен в структурі деформованого металу з одночасним механічним подрібненням грубозернистої структури (рис. 2.1).

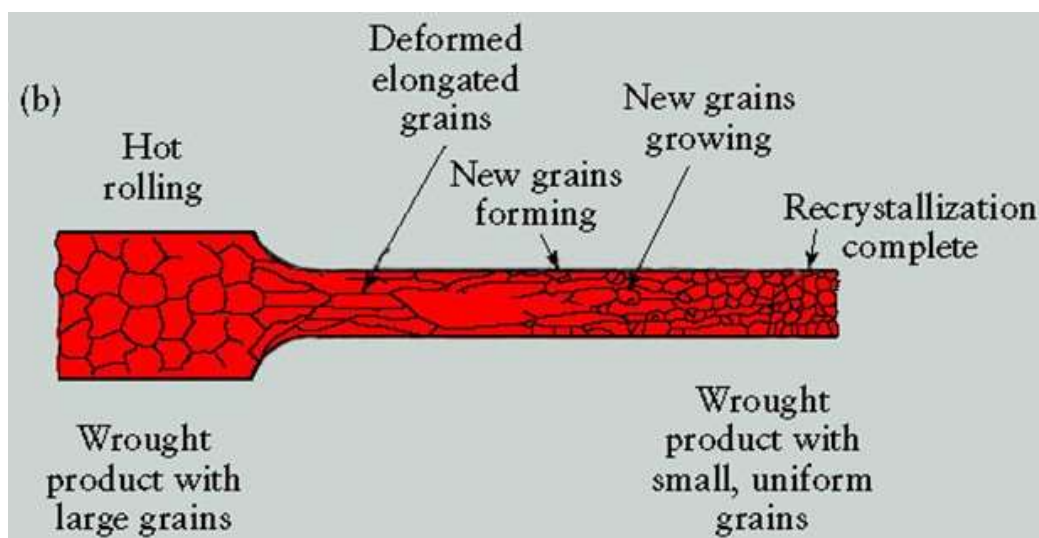


Рисунок 2.1 – Зміни структури металів за гарячої ОМТ

Але, розробляючи технологічні процеси кування та гарячого штампування, слід пам'ятати про можливий ріст зерна металу, нагрітого до високих температур. Завершальні переходи штампування необхідно закінчувати за температур близьких до нижньої межі допустимого інтервалу. Для сталей на діаграмі "температура – розмір зерна" (рис. 2.2) показані процеси, які мають місце під час нагрівання, деформації та охолодження поковок.

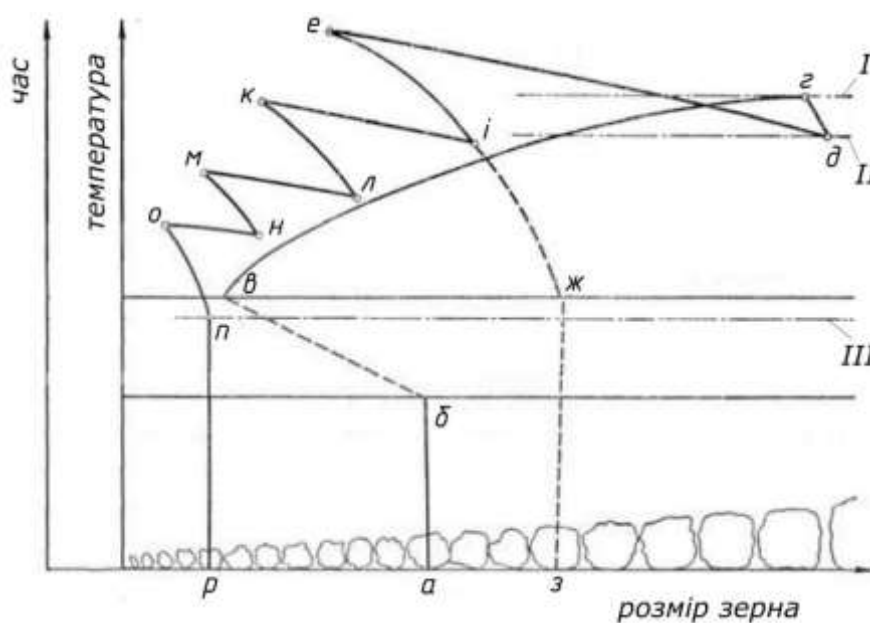


Рисунок 2.2 – Зміна розмірів зерна сталі при нагрівання, штампуванні та охолодженні:

I – температура нагрівання заготовки; II – температура початку штампування;
III – температура закінчення штампування

Початковий розмір зерна показаний на нижній осі позицією а. Під час фазових перетворень (ділянка б-в) зерно подрібнюється, що пов'язано з зародженням нової фази. За подальшого нагрівання до штампувальних температур зерно росте (в-г). Ріст зерна також продовжується при перенесенні заготовки в штамп (г-д) для кування, хоча температура заготовки падає.

За виконання штампувального переходу зерно подрібнюється (д-е) та підвищується температура металу за рахунок переходу частини роботи деформації у тепло. Під час перенесення заготовки в іншій рівчак метал відпочиває, що супроводжується ростом зерна (е-і). Цей процес буде тривати доти, доки температура не досягне фазових перетворень. Температура заготовки падає, але в проміжку до температури фазового перетворення буде відбуватись ріст зерна. Саме тому у випадку, коли штампування закінчується при високій температурі, поковка має грубозернисту структуру (е-і-ж-з). Тому, коли операція штампування має лише один перехід, технологічний інтервал гарячого штампування повинен бути зміщений до нижньої межі допустимого інтервалу. Якщо ж операція виконується за декілька переходів її проектують так, щоб останній перехід завершувався близько потрібної температури закінчення штампування (е-і-к-л-н-м-о-п).

Важливим також в процесі проектування гарячого штампування є врахування явища шарування неметалевих включень чи фазових складових сплавів. Зокрема, в сталях звичайної якості присутні неметалеві включення у вигляді сульфідів. І хоча загальної волокнистої структури після гарячого деформування не спостерігається, проте в цих сталях виявляється явище шаруватості. Це пов'язано зі спотворенням та видовженням в напрямку пластичного течіння металу сульфідів. За інтенсивної гарячої деформації метал стає ніби волокнистим (рис. 2.3), що виявляється структурними дослідженнями.

Явище шарування деформованого металу по неметалевим включенням так само як і явище волокнистості холоднодеформованих металів необхідно враховувати під час проектування процесів кування чи гарячого штампування. Необхідно уникати формування шарування структури в напрямку дії у деталі та виробках сколюючих напружень. Це дозволить покращити умови експлуатації деталей, підвищить їх стійкість, або ж дозволить зменшити металомісткість виробів.

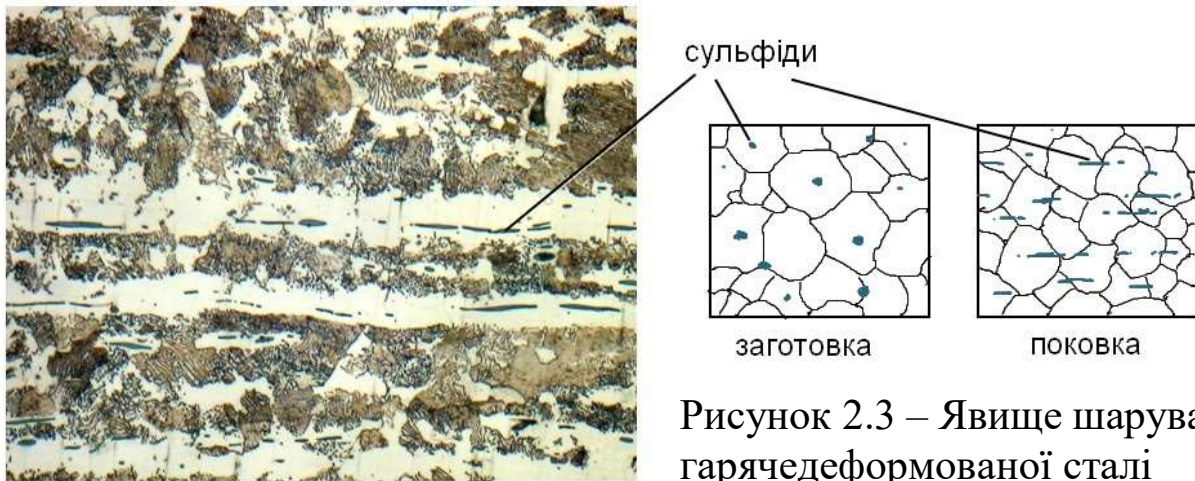


Рисунок 2.3 – Явище шарування гарячедеформованої сталі

Наочне дослідження явища шарування після кування сталі чи її штампування у штампах, вимагає підготування спеціальних зразків: темплетів та мікрошліфів. Як відомо темплети (чи макрошліфи) слугують для проведення макроаналізу стану заготовки, а мікрошліфи – мікроструктурного аналізу стану метала. Підготовка цих зразків вимагає псування виробу: різки, шліфування поверхонь. Тому для таких досліджень відбирають кілька представників від партії деталей. Для неруйнівного контролю явища текстури та шарування металевих виробів слід застосовувати ультразвукові чи рентгеноструктурні дослідження, використовуючи відповідні прилади.

Дослідна частина, порядок виконання роботи.

1. Ознайомитись з теоретичним матеріалом. Засвоїти особливості структурних змін у металах за використання технологій кування та штампування.

2. Отримати від викладача зразки прокованої сталі з різним ступенем укову. Визначити ступінь укову

$$y = F_1/F_2$$

де F_1 – більша площа поперечного перерізу;

F_2 – менша площа поперечного перерізу

3. Провести вимірювання твердості зразків на стаціонарному твердомірі NOVOTEST ТС-БРВ. Оцінити отримані значення.

4. Підготувати зразки для макро- та мікроаналізу структури сталі.

5. Провести протравлення поверхні макрошліфів, використовуючи травник для темплетів з деформованої сталі. Оцінити наявність та ступінь макрволокнистості.

6. На окремих макрошліфах провести дослідження стану металу за методом сірчаного відбитку. Дати оцінку стану металу зразків.

7. Провести протравлення поверхні мікрошліфів, використовуючи травник "Ніталь". Оцінити наявність та ступінь спотворення мікроструктури кованої сталі.

8. Зробити загальні висновки. Дати оцінку стану зразків, вказавши рівень спотворення структури за об'ємом металу зразків. Вказати можливі шляхи виправлення структури зразків.

Питання для підготовки.

1. В чому різниця між пружною та пластичною деформаціями?
2. Як змінюється структура металів в процесі пластичної деформації?
3. Як змінюється густина дислокацій при пластичному деформування?
4. Як впливають дислокації на міцність металів?
5. В чому полягає явище наклепу?
6. В чому полягає явище волокнистості чи шарування?
7. Що таке рекристалізація та температура рекристалізації?

Лабораторна робота 3 "Дослідження процесу отримання виливка в разових піщаних формах"

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

Обладнання та матеріали: піч муфельна електрична ПМ-9; ливарний сплав алюмінію; опоки металеві; суміш земляна піщано-глиниста; кліщі, рукавиці, інструмент слюсарний.

Теоретичний матеріали.

Лиття в піщано-глиняні форми є основним способом одержання виливків із сплавів чорних та кольорових металів. Приблизно 70 % (по масі) заготовок (*workpiece, flank, billet*) для деталей машин одержують

литтям, а в деяких галузях машинобудування, наприклад, у верстатобудуванні 90...95 %. Литтям можна отримати виливки практично будь-якої складності, маси та розмірів.

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

Технологія виготовлення, виливків у разових піщано-глиняних формах (*temporary moulding*) складається з таких послідовних операцій (рис. 3.1):

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

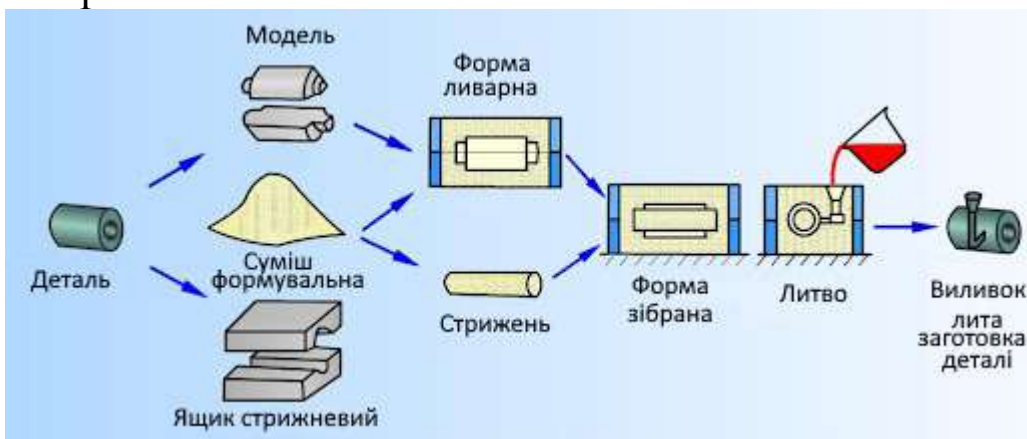


Рисунок 3.1 – Схема технологія литва у разові форми

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

Модель – це зразок майбутньої литої заготовки, за допомогою якого одержують зовнішні окреслення виливка в формі, тобто порожнину потрібної конфігурації, у яку заливають метал. Внутрішні порожнини та отвори у виливках утворюють за допомогою стержнів, які виготовляють у стержневих ящиках. Модель за конструкцією дещо відрізняється від деталі. Вона не має отвору, а, навпаки, в місцях виходу отвору, на торцях, є виступи - знаки 2 (рис. 3.2, б). Аналогічні знаки є і в стержневому ящику, отже, вони будуть і у стержня (рис. 3.2, в). Моделі складної форми виготовляють роз'ємними (рис. 3.2, б) або зі знімними частинами, а вертикальні стінки їх, перпендикулярні до площини рознімання, виконують з нахилом, що дає змогу виймати модель без руйнування форми. Розміри моделей більші за деталі на величину лінійної усадки і припусків на механічну обробку.

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

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

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

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

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

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

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

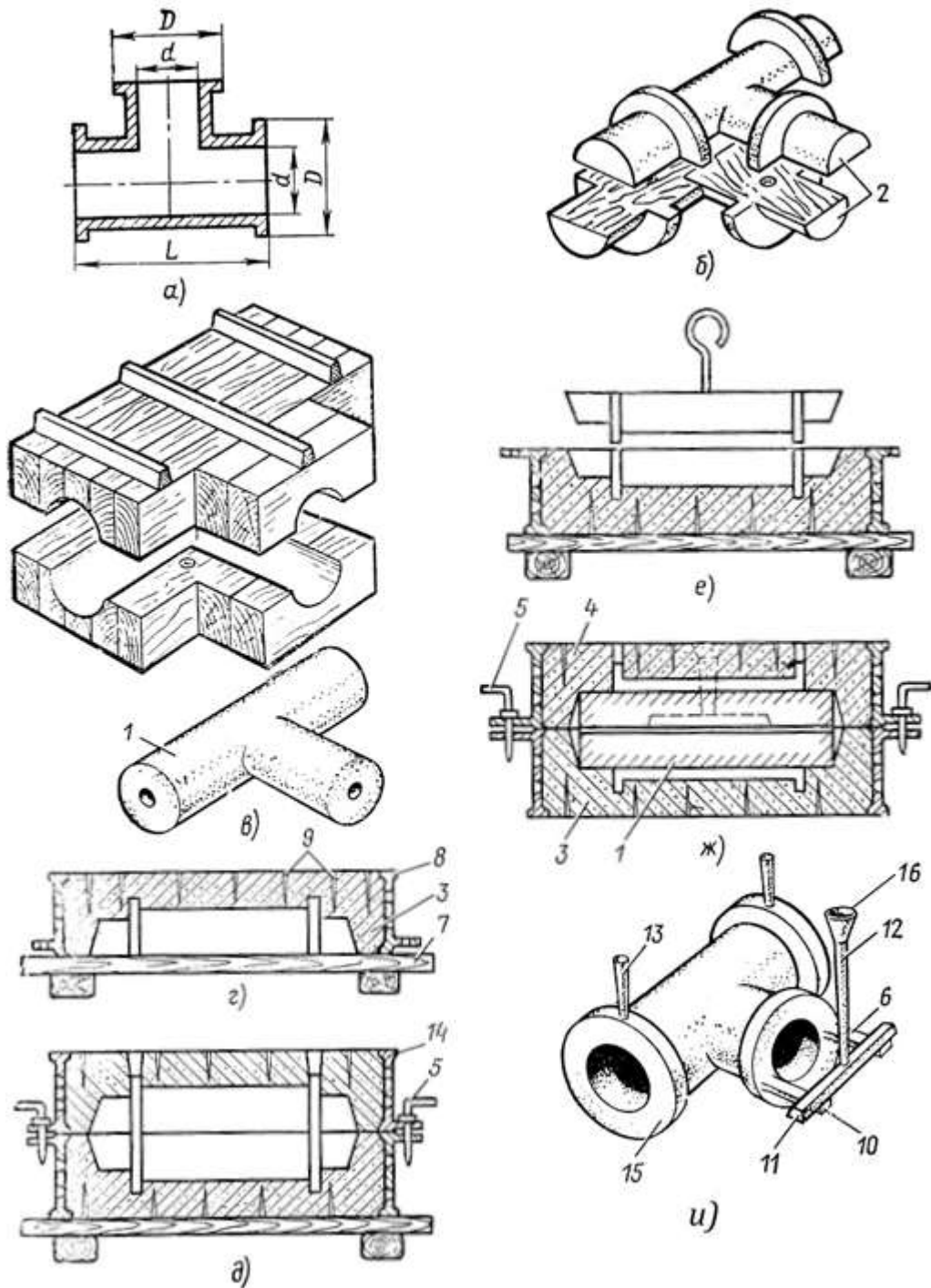


Рисунок 3.2 – Послідовність виготовлення ливарної форми у двох опоках за роз'ємною моделлю

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

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

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

Газотвірність – здатність формової суміші виділяти газу при нагріванні.

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

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

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

Для підвищення здатності до формування і газопроникності застосовують тирсу і торф.

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

Нормальна ливникова система складається з ливникової чаші 16 (див. рис. 3.2, *и*), стояка 12, шлаковловлювача 11 і живильників 10. Ливникова чаша – приймач струменя металу, що заливається в форму. Стояк – вертикальний канал, який з'єднує ливникову чашу з іншими елементами ливникової системи. Шлаковловлювач призначений для затримки неметалевих включень. При поворотах і втраті швидкості руху струменя металу в шлаковловлювачі шлак спливає на поверхню, а чистий метал проходить у живильники і по них безпосередньо у форму.

Розглянемо процес виготовлення форми для виливка трійника, показаного на рисунку 3.2, *а*. Модельний комплект складається з роз'ємної моделі (рис. 3.2, *б*) і стержневого ящика (рис. 3.2, *в*).

Формування виконують у такій послідовності. На підмодельну дошку 7 (рис. 3.2, *г*) встановлюють нижню половину моделі і моделі

живильників 10 (рис. 3.2, *и*), за допомогою яких рідкий метал подається у порожнину форми, та нижню опоку 8 (рис. 3.2, *г*). Для запобігання прилипання формової суміші до поверхні моделі та підмодельної дошки їх посипають сухим дібнодисперсним піском, графітом чи гіпсом. В опоку (*casting box, moulding frame*) засипають формову суміш і ущільнюють її трамбівкою. Зайву суміш зчищають лінійкою для одержання горизонтальної площини на рівні кромek опоки і загостреним прутком наколюють вентиляційні канали 9 для збільшення газопроникності форми. Потім нижню півформу повертають на 180°, поверхню рознімання вигладжують гладилкою, посипають сухим роздільним піском чи графітом. Після цього на нижню половину моделі накладають верхню її половину, взаємно центруючи їх шипами, встановлюють верхню опоку 14, центруючи її з нижньою штирями 5 (рис. 3.2, *д*), моделі стояка, випору та шлакоуловлювача (позиції відповідно 12, 13 та 11). Потім засипають в опоку формову суміш, ущільнюють, зчищають її надлишок, наколюють вентиляційні канали, прорізають ливникову чашу 16 навколо стояка, виймають моделі стояка і випорів, знімають верхню опоку, повертають її на 180° і ставлять поряд з нижньою. З кожної опоки виймають половини моделей деталі і ливникової системи. Після виправлення дефектів в нижню половину форми встановлюють раніше виготовлені і висушені стержні (рис. 3.2, *ж*) і верхню опоку ставлять на нижню, центруючи їх штирями 5. Опoки скріпляють скобами або зверху на них кладуть вантаж, щоб при заливанні метал не пройшов у площину роз'єму форми. Форму заливають розплавом через канали ливникової системи. Після заливання форму витримують для кристалізації розплаву та охолодження вилівка, котрий після цього вибивають з форми, яка при цьому руйнується.

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

Машинне виготовлення форм полегшує працю формувальників, підвищує продуктивність праці й точність вилівок на 2...3 квалітети порівняно з ручним формуванням, зменшує припуски на обробку, що

економить 10...15 % металу, забезпечує виготовлення взаємозамінних деталей.

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

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

Обрубання й очищення виливків.

Операція відокремлення ливникової системи від виливків називається обрубанням. Обрубують ливникову систему у дрібних чавунних виливках вручну молотком або ковадлом. У сталевих виливках і виливках з кольорових металів, а також додатки великих чавунних виливків відрізають дисковими або стрічковими пилками. Від сталевих виливків ливникову систему і додатки відокремлюють також газокисневим різанням. Заливи, задирки, нерівності поверхні обрубують пневматичним зубилом або зачищають абразивним кругом. Після обрубання виливки очищають від пригару. В одиничному виробництві це роблять сталевими щітками, ручними або пневматичними зубилами, у серійному – в обертових барабанах із зірочками з білого чавуну (дрібні виливки з чорних металів), у дробоструминних і дробометальних апаратах – сильним струменем води з піском. Пригар із поверхні виливків кольорових металів видаляють хімічним травленням.

Контроль якості виливків.

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

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

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

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

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

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

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

Дослідна частина, порядок виконання роботи.

1. Вивчити технологію ручного формування.
2. Ознайомитись із завданням на роботу.
3. Зробити ескізи виливка та зібраної ливарної форми.
4. Виготовити ливарну форму у двох опоках за роз'ємною моделлю. Описати послідовності виготовлення ливарної форми під час практичного виконання роботи.
5. Залити форму, вибити та очистити виливок. Описати особливості заливання форми.
6. Зробити фото виливка. Провести аналіз якості виливка. При наявності дефектів встановити причину браку та можливі заходи щодо його усунення.
7. Зробити висновки, скласти звіт про роботу.

Питання для підготовки.

1. Описати матеріали для виготовлення формових сумішей.
2. Які вимоги ставлять до формових та стержневих сумішей?
3. Описати склад модельних комплектів для ручного формування.
4. Опишіть технологія ручного формування у двох опоках за роз'ємною моделлю.

5. Призначення ливникових систем та їх складові частини.
6. Види браку виливків та їх причини.
7. Дефекти виливків і причини, що їх викликають.
8. Області застосування лиття в піщано-глиняні форми.
9. Переваги і недоліки виготовлення заготовок литтям в піщано-глиняні форми.
10. Від чого залежить якість заготовок, одержаних литтям в піщано-глиняні форми?

Лабораторна робота 4 "Дослідження режимів ручного електродугового зварювання"

Мета: набуття практичних навичок виконання зварних з'єднань при ручному дуговому зварюванні, вимірювання основних параметрів режиму зварювання та вибору оптимальних режимів джерела зварювального струму.

Обладнання та матеріали: трансформатор зварювальний дросельний; амперметр, вольтметр; сталеві заготовки для зварювання; зварювальні електроди; інструмент та знаряддя зварювання; рукавиці, інструмент слюсарний.

Теоретичний матеріали.

Зварювання – технологічний процес одержання нероз'ємних з'єднань за рахунок дії міжатомних сил. Під час дугового зварювання розплавлення металу здійснюється за рахунок теплоти електричної зварювальної дуги, що являє собою потужний, тривало існуючий між електродами, які знаходяться під напругою, електричний розряд в суміші газів і пари. Температура стовпа дуги складає 6000...8000 °С. За довжину дуги приймають відстань між кінцем електрода й основним металом.

Зварювальну дугу можна живити постійним струмом (від зварювальних генераторів чи випрямлячів) або змінним (від зварювальних апаратів чи трансформаторів). Під час зварювання напруга на дузі має бути мінімальною, тому потужність дуги регулюють зміною сили струму, керуючи вольт-амперною характеристикою джерела струму. Вольт-амперна характеристика – це залежність напруги на клеммах джерела струму від струму в замкненому електричному колі. До початку зварювання джерело

струму характеризують напругою холостого ходу $U_{х.х.}$, яка для більшості джерел зварювального струму не перевищує 60...80 В.

За використанням джерела зварювального струму поділяють на стаціонарні (зварювальні трансформатори чи випрямлячі) та польові (зварювальні генератори). Найбільш широкого розповсюдження знайшли стаціонарні зварювальні трансформатори, які живляться вхідною напругою змінного струму від промислової електромережі 220 чи 380 В.

Для регулювання струму зварювання в електричне коло зварювання трансформатора (рис. 4.1) включено індуктивний опір, роль якого виконує дросель ($Др$) з рухомим магнітопроводом. Під час обертання гвинтового механізму рухомий шунт змінює величину зазору в колі магнітопроводу, що викликає зміну індуктивного опору дроселя. За збільшення величини зазору індуктивний опір дроселя зменшується, а струм зварювання збільшується.

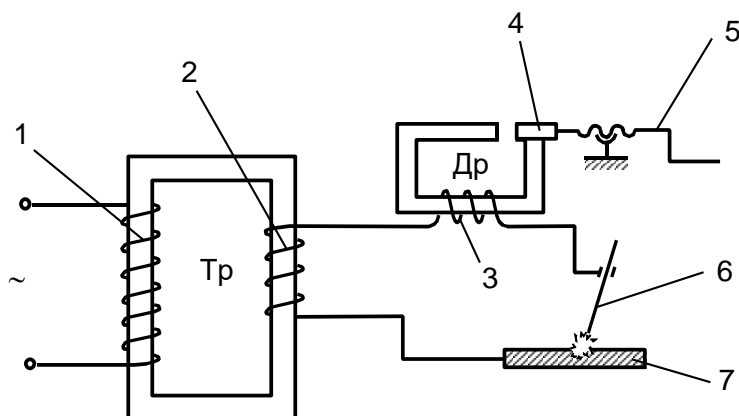


Рисунок 4.1 – Схема зварювального трансформатора:

Tr – трансформатор; $Др$ – дросель; 1 – первинна котушка трансформатора; 2 – вторинна котушка трансформатора; 3 – котушка дроселя; 4 – магнітний шунт; 5 – гвинтовий механізм переміщення шунта; 6 – електрод; 7 – деталі.

В машинобудуванні розрізняють чотири способи електродугового зварювання:

- зварювання неплавким електродом (спосіб Бенардоса);
- зварювання плавким електродом;
- зварювання дугою непрямої дії;
- зварювання трифазною дугою.

Зварювання звичайним плавким електродом є найбільш розповсюдженим. При цьому способі, в якості електрода, використовують зварювальний дріт різного діаметру, який маркують Св-05, Св-08, Св-10Г, Св-08ГС тощо. Перші букви вказують на дріт для зварювання, цифри та букви за ними відповідають відомим принципам маркування сталей. Так, марка Св-08ГС: дріт зварювальний, вміст вуглецю 0,08 %, легований манганом (~1%), кремнієм (~1%). За ручного зварювання (рис. 4.2) використовують мірні електроди із зварювального дроту (завдовжки 150...450 мм), які покривають спеціальною обмазкою. В склад обмазки обов'язково входять стабілізуючі, шлакоутворюючі, розкислюючі добавки, флюси. Таким чином роль обмазки – полегшити процес зварювання та захистити метал від окислення і насичення шкідливими газами.

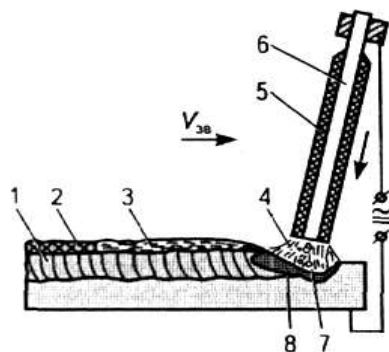


Рисунок 4.2 – Схема зварювання електродом з покриттям:

1 – зварний шов; 2 – тверда шлакова корка;
3 – рідка шлакова ванна; 4 – газова захисна атмосфера; 5 – покриття електрода; 6 – стрижень електрода; 7 – зварювальна дуга; 8 – рідка металева ванна.

Марку електрода вибирають відповідно до матеріалу заготовок, що зварюватимуть. Електроди для ручного електродугового зварювання маркують за типом покриття: УОН-13, ОММ-5, ЦМ-7 тощо.

Діаметр електроду вибирають в залежності від товщини зварюваних деталей, користуючись довідниковим матеріалом. Так, для товщини металу 6...8 мм діаметр електроду повинен становити 4...5 мм. За вибраним діаметром електроду регулюють показники вольт-амперної характеристики зварювального трансформатора, досягаючи стабільності горіння електричної дуги та необхідної якості зварного шва.

Ручне електродугове зварювання ефективно при одержанні всіх типів зварних з'єднань (рис. 4.3) і особливо під час зварювання коротких, переривчастих швів у важкодоступних місцях, у різних просторових положеннях, за умов ремонту, дослідного виробництва, монтажу та будівництва. За такого зварювання об'єм рідкого металу

зварювальної ванни незначний, тому легко утримується в зоні зварювання.

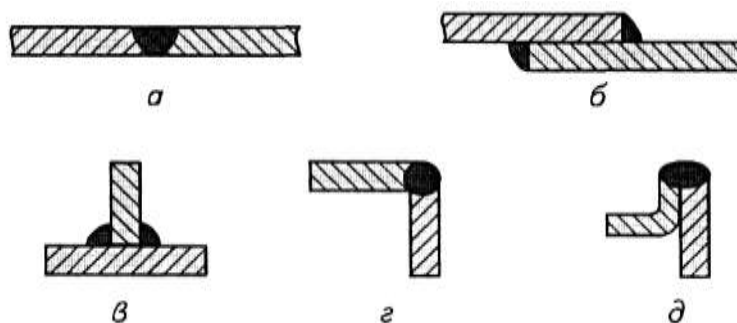


Рис. 4.3 – Основні типи зварних з'єднань:
а – встик; б – унахлест; в – таврові; г – кутові; д – торцеві.

Важливими показниками при зварюванні є:

- напруга холостого ходу трансформатора $U_{х.х.}$;
- напруга зварювання $U_{зв.}$;
- струм зварювання $I_{зв.}$;
- струм короткого замикання $I_{к.з.}$.

Слідкуючи за змінами цих параметрів у процесі виконання зварювання, для отримання достовірних даних про роботу джерела зварювального струму, будують його вольт-амперну характеристику. Ця залежність напруги від струму зварювання дає інформацію для вибору джерела струму під конкретні умови зварювання та слугує характеристикою його можливостей.

Дослідна частина, порядок виконання роботи.

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом роботи. Вивчити технологічні особливості ручного електродугового зварювання.

2. Замалювати принципову електричну схему зварювального трансформатора. Засвоїти принципи та методику регулювання струму зварювання зварювального трансформатора.

3. За безпосередньої присутності на ділянці зварювання та за вказівками викладача і інженера-техніка засвоїти основні навички виконання ручного електродугового зварювання. Уважно слідкувати за правилами роботи та техніки безпеки.

4. Виконати зварювання підготовлених сталевих заготовок. Оцінити особливості виконання процесу.

5. З показами електроприладів визначити напругу холостого ходу зварювального трансформатора, струм короткого замикання,

силу струму і напругу електричної дуги під час зварювання. Отримані результати занести у таблицю.

d_e , мм	$U_{x.x.}$, В	$U_{зв.}$, В	$I_{зв.}$, А	$I_{к.з.}$, А

6. Засвоїти принципи вибору діаметра зварювальних електродів та основних параметрів зварювання.

7. Провести аналіз якості зварних з'єднань. Встановити та описати дефекти зварювання, за наявності.

8. Зробити висновки. Навести фото прикладів зварювальних роботи (заготовки для зварювання, матеріали зварювання, виконання процесу зварювання, зварні з'єднання, тощо), додати до висновків по роботі.

Питання для підготовки.

1. Що таке зварювання?
2. Який вид зварювання відноситься до електричного дугового?
3. Що впливає на стійкість горіння дуги?
4. Які джерела живлення застосовують для дугового зварювання?
5. Яку зовнішню характеристику повинні мати джерела живлення для ручного дугового зварювання?
6. Як підбирають діаметр електроду за ручного електродугового зварювання?
7. Що впливає на якість зварних з'єднань?

Лабораторна робота 5 "Дослідження геометрії ріжучого інструменту для виконання процесу точіння на токарних верстатах"

Мета: вивчити конструкцію і геометричні параметри різців для обробки на токарно-гвинторізальних верстатах, набути навички вимірювання основних геометричних параметрів токарного різця та оцінки їх впливу на режим різання.

Обладнання та матеріали: токарно-гвинторізальний верстат 1К62; різьці токарні; інструмент слюсарний; інструмент вимірювальний, кутоміри настільні та універсальні, масштабна лінійка, штангенциркуль.

Теоретичний матеріал.

Точіння належить до основних методів обробки різанням, який характеризується обертовим рухом заготовки (головній рух) та поступальним рухом інструменту (рух подачі) (рис. 5.1). Рух подачі здійснюється паралельно осі обертання заготовки – поздовжня $S_{пд}$, перпендикулярно до осі обертання заготовки – $S_{п}$, під кутом до осі обертання заготовки – S_{γ} (нахил).

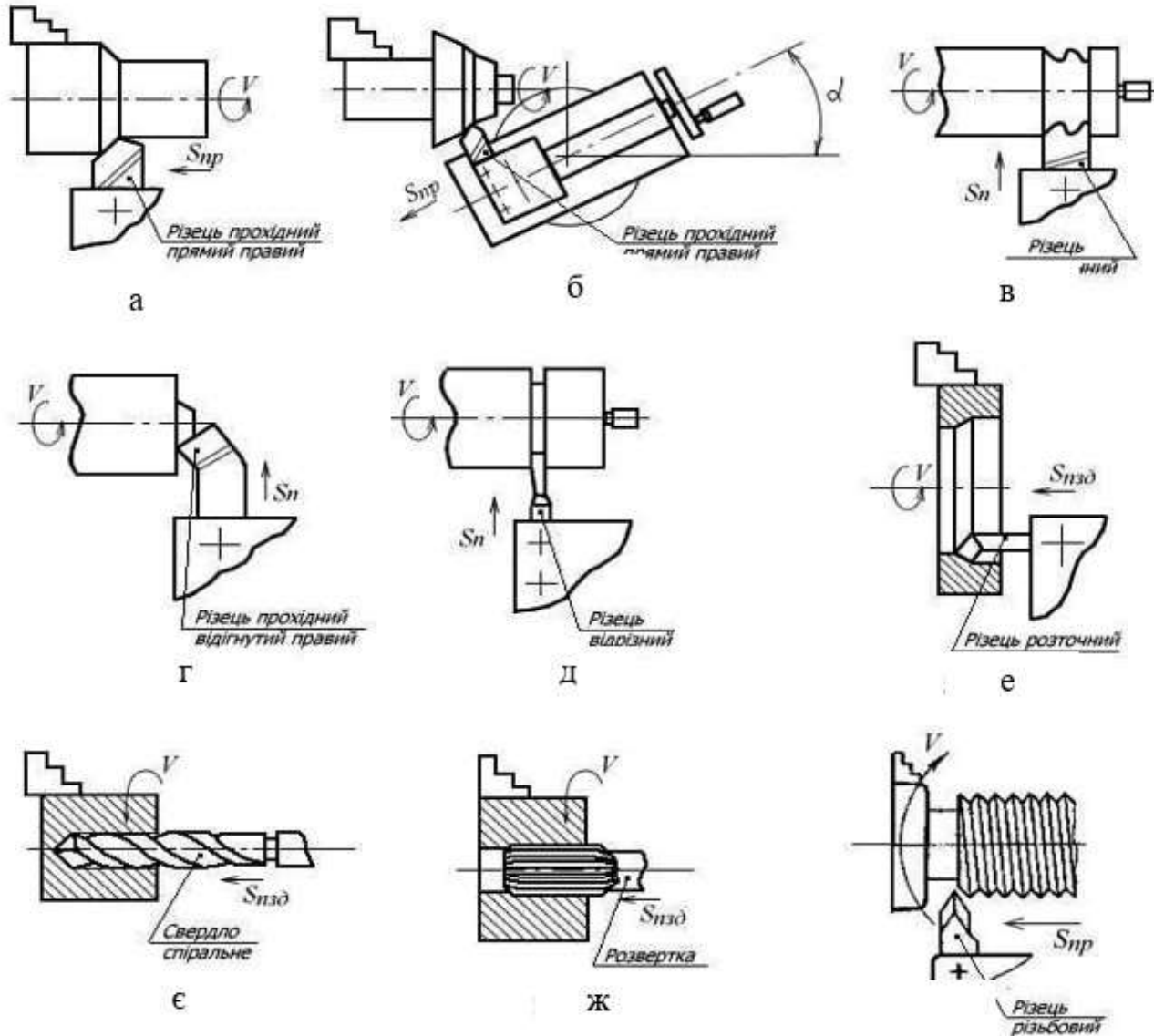


Рисунок 5.1 – Схеми основних операцій токарної обробки
 а – обробка циліндричної поверхні; б – обробка конічної поверхні; в – обробка фасонної поверхні; г – підрізання торця; д – прорізання канавки і відрізання деталі; е – розточування отвору; є – свердління; ж – розвертування;
 з – нарізання різьби (різьбове різання)

Основними операціями, які виконуються на токарних верстатах, є точіння зовнішніх циліндричних (рис. 5.1 а), конічних (рис. 5.1 б) та

фасонних (рис. 5.1 в) поверхонь, а також галтелів різцями; підрізання торців різцем (рис. 5.1 г); розточування канавок або відрізання різцем (рис. 5.1 д); розточування внутрішніх циліндричних поверхонь різцем (рис. 5.1 е); свердління свердлом (рис. 5.1 є); розвертування розверткою (рис. 5.1 ж); зенкерування зенкером; зенкування зенківкою; розточування отворів та нарізання різьби різцем (рис. 5.1 з).

Основним інструментом для виконання основних робіт на токарних верстатах є різець. Їх застосовують і на інших видах верстатів механообробки: стругальних, револьверних тощо.

Загалом, різці, які застосовуються у машинобудуванні для механічної обробки поверхонь, можна класифікувати за такими ознаками.

– вид верстатів: токарні, стругальні, довбальні, автоматноревольверні, розточувальні для горизонтально-розточувальних верстатів, спеціальні;

– напрям подачі: праві та ліві (рис.5.2: 1, 2);

– вид обробки: прохідні (рис.5.2: 4, 7, 8, 9, 11) для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь, підрізні, відрізні (рис.5.2: 3) для обробки площин та відрізання, розточувальні (рис.5.2: 12, 13) для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь, різенарізні (рис.5.2: 10, 14) для нарізання різі, фасонні (рис.5.2: 15), канавкові (рис.5.2: 5, 6);

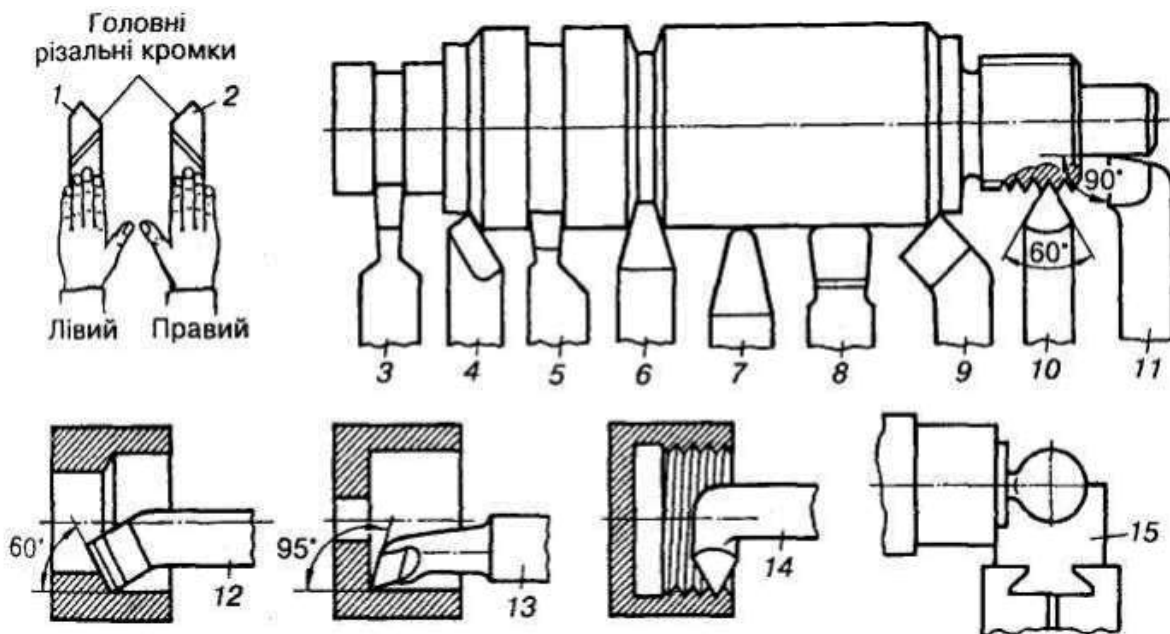


Рисунок 5.2 – Види різців для токарної обробки

– за розташуванням осі головки різця в плані розрізняють різці прямі (рис.5.2: 1...8, 10, 11, 15) і відігнуті (рис.5.2: 9, 12, 14);

– за способом виготовлення: із робочою частиною, що становить одне ціле з кріпильною; із робочою частиною, привареною до стику; із наплавленою напайною, клеєною пластинкою; із механічним кріпленням пластинок або вставок;

– за видом інструментального матеріалу: із надтвердих сплавів, із пластинками з твердого сплаву, із швидкорізальної сталі тощо.

Різець (рис. 5.3) складається з державки *I*, що служить для закріплення в різцетримачі верстата, і головки (робочої частини) *II*. Головка, одержана заточуванням, має такі елементи: передню поверхню *3*, по якій сходить стружка; головну задню поверхню *5*, звернену до поверхні різання; допоміжну задню поверхню різання *6*, головну різальну кромку *4*, утворену перетином передньої і головної задньої поверхонь; допоміжна різальна кромка *1*, утворена перетином передньої і допоміжної задньої поверхонь; вершину різця *2* – місце з'єднання різальних лез.

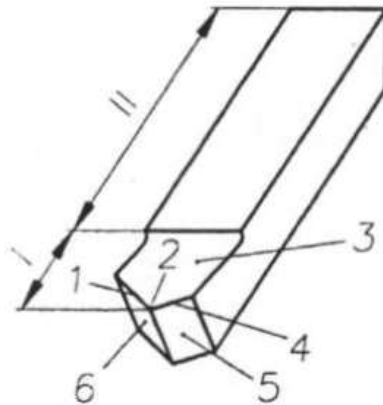


Рисунок 5.3 – Елементи токарного різця:

I – робоча частина; *II* – державка; *1* – допоміжна різальна кромка; *2* – вершина різця; *3* – передня поверхня; *4* – головна різальна кромка; *5* – головна задня поверхня; *6* – допоміжна задня поверхня

Форма різальної частини різця визначається конфігурацією і розташуванням у просторі його поверхонь і кромки, тобто за допомогою кутів, названих геометричними параметрами. Для визначення геометрії різця беруть такі координатні площини: основна площина, площина різання, головна січна площина (рис. 5.4).

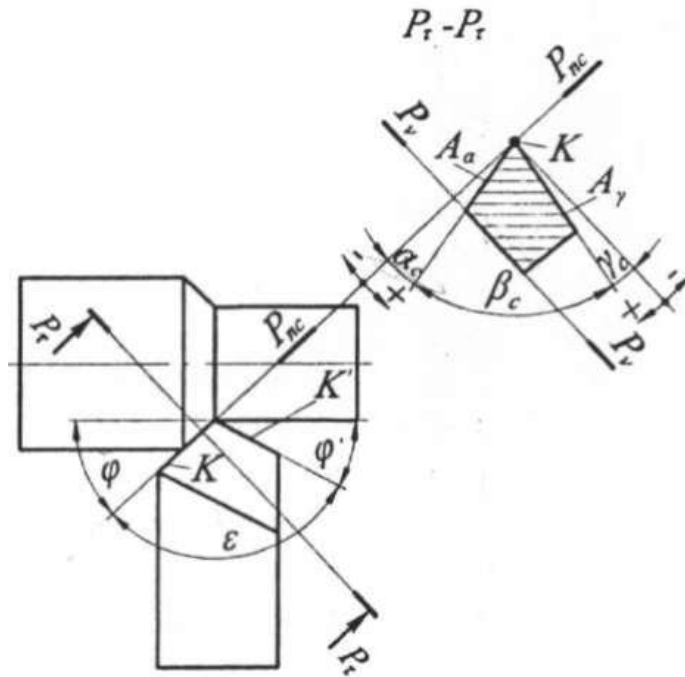


Рисунок 5.4 – Геометричні параметри токарного різця:

P_v – основна площина; P_τ – головна січна площина; $P_{лс}$ – статична площина різання; K – головне і K' – допоміжне різальні ребра; A_γ – передня поверхня; A_α – головна поверхня; α_c – головний задній кут; β_c – головний кут загострення; γ_c – головний передній кут; φ – головний кут у плані; ε – кут при вершині; φ' – допоміжний кут у плані

Основною площиною називається площина, паралельна напрямку поздовжньої та поперечної подач різця.

Площиною різання називають площину, що дотична до поверхні різання і проходить через головну різальну кромку.

Головна січна – площина, перпендикулярна проекції головної різальної кромки на основну площину.

Допоміжна січна – це площина, перпендикулярна проекції допоміжної різальної кромки на загальну площину.

Геометричні параметри різців розглядаються в головній і допоміжній січних площинах, у поперечному і поздовжньому розрізах, проекції на основну площину і фронтальному вигляді з боку головної та допоміжної різальних кромки.

Кути, вимірювані в головній січній площині:

Головний передній кут γ – це кут між передньою поверхнею різця і площиною, перпендикулярною площині різання, проведеною через головну різальну кромку. Він може бути позитивним, негативним або дорівнювати нулю.

Головний задній кут α – це кут між головною задньою поверхнею різця і площиною різання.

Кут загострення β – це кут між передньою і головною задньою поверхнею різця.

Кут різання δ – це кут між передньою поверхнею різця і площиною різання.

В основній площині вимірюються такі кути в плані:

Головний кут у плані φ – це кут між проекцією головної різальної кромки і напрямом подачі.

Кут у плані при вершині різця ε – це кут між проекціями різальних кромки на основну площину.

Між головними кутами різця існує таке співвідношення:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ, \quad \beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma).$$

Кути заточування інструменту вимірюють за допомогою настільного кутоміра (рис. 5.5, 5.6).

Якщо значення λ відрізняється від нуля, то слід звернути увагу, в який бік від нульової поділки шкали (у правий чи лівий) відхилена стрілка пластини. У разі відхилення стрілки вліво кут λ має плюсові значення.

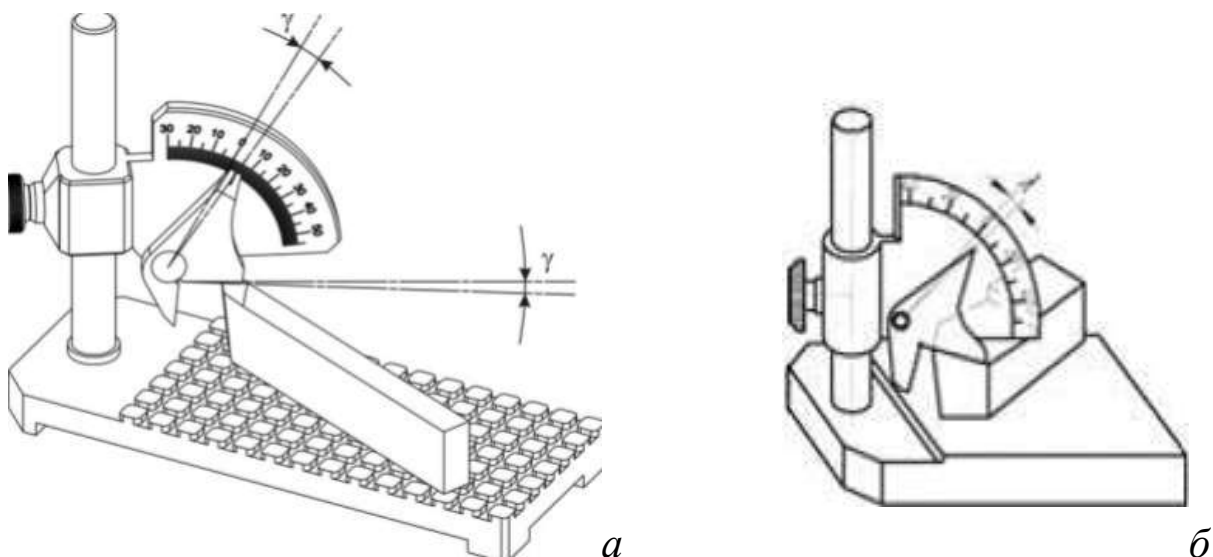


Рисунок 5.5 – Схема вимірювання: *а* – кута нахилу переднього кута γ ; *б* – головного різального ребра λ

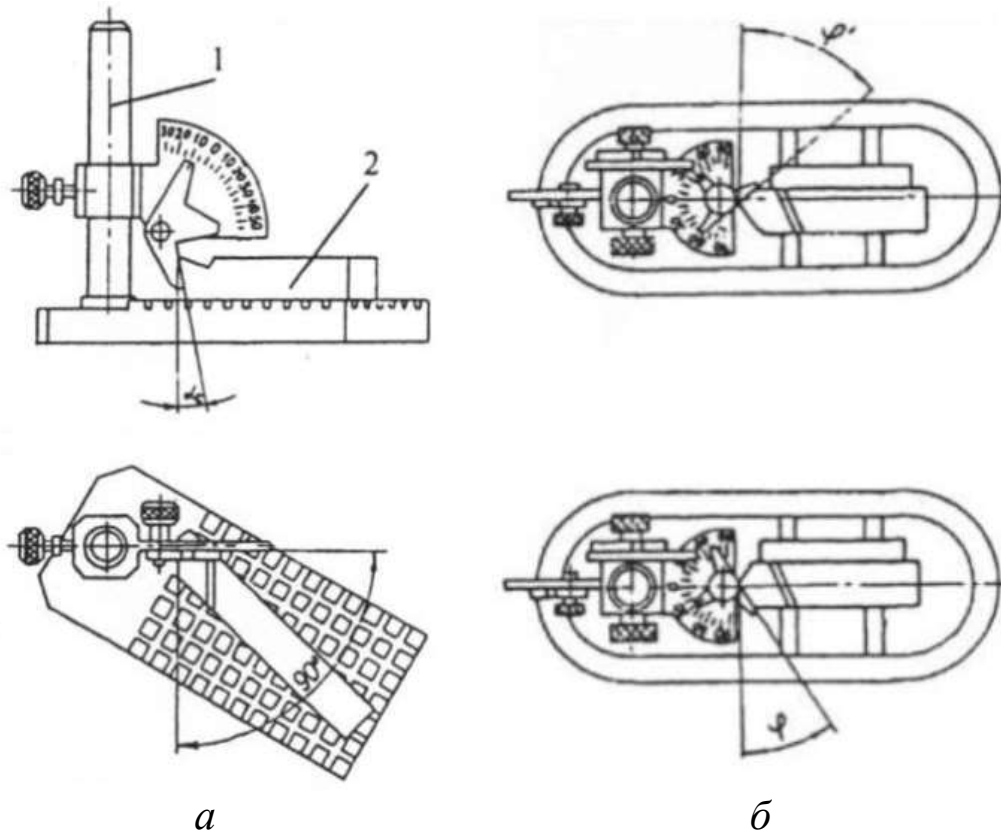


Рисунок 5.6 – Схема вимірювання: *a* – головного заднього кута α , де *1* - настільний кутомір, *2* – різець; *б* – головного φ та допоміжного φ' кутів

Під час виконання вимірювань необхідно уважно слідкувати за положенням різця на предметній плиті.

Дослідна частина, порядок виконання роботи.

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом роботи. Вивчити конструкцію, основні типи, призначення і геометричні параметрами різців для точіння токарних верстатах.

2. Виміряти за допомогою штангенциркуля та масштабної лінійки основні геометричні розміри токарного різця та занести їх у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Розміри токарного різця, мм

Загальна довжина	Робоча частина	Державка	Ширина	Висота державки	Висота робочої частини

3. Виміряти за допомогою універсального кутоміра величини основних кутів заточки різця та занести їх у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Кути токарного різця, °

Головні кути			Кути в плані			Кут нахилу головного різального ребра
α_c	V_c	γ_c	φ	ε	φ'	λ

4. Оцінити отримані значення. Дати висновки щодо впливу параметрів геометрії різця на умови точіння на токарному верстаті 1К62.

Питання для підготовки.

1. Дайте класифікацію різців для механічної обробки.
2. Назвіть частини й елементи токарного різця та дайте їм визначення?
3. Які кути можна виміряти за допомогою настільного кутоміра?
4. Як виміряти настільним кутоміром головний задній кут різця?
5. Як виміряти головний передній кут?
6. Як виміряти кут нахилу головного різального ребра?
7. Які кути можна виміряти за допомогою універсального кутоміра?

Лабораторна робота 6 "Дослідження процесу абразивної обробки поверхні металевих виробів на плоскошліфувальному верстаті"

Мета: отримати практичні навички вибору абразивного інструменту для чистової обробки поверхонь металевих виробів та оцінки якості шліфування поверхонь, вибору режимів шліфування на плоскошліфувальних верстатах.

Обладнання та матеріали: верстат плоскошліфувальний 3Г71; круги абразивні різного типу та марки для плоского шліфування; профілометр оптичний; слюсарний інструмент; інструмент вимірювальний.

Теоретичний матеріали.

Шліфування – процес обробки заготовок різанням *шліфувальним кругом (абразивним матеріалом)* – інструментом, в якому хаотично розташовані абразивні зерна втримуються в'язучим матеріалом.

Шліфувальним називають абразивний матеріал (абразивні зерна), твердість якого перевищує твердість оброблюваного матеріалу і який здатний у здрібненому стані здійснювати обробку різанням. Залежно від виду використовуваного шліфувального матеріалу розрізняють алмазні, ельборові, електрокорундові, карбідкремнієві й інші абразивні інструменти (шліфувальні круги).

Під час обертового руху шліфувального круга в зоні його контакту із заготовкою частина зерен зрізує матеріал у вигляді дуже великої кількості тонких стружок (до 100 тис. за хвилину). Шліфувальні круги зрізують стружки на дуже великих швидкостях – від 30 до 125 м/с. Процес різання кожним зерном здійснюється майже миттєво. Оброблена поверхня являє собою сукупність мікрослідів абразивних зерен і має малу шорсткість. За такої швидкості різання відбувається інтенсивний нагрів металу у зоні обробки, що вимагає застосування обов'язкового охолодження зони шліфування.

Шліфування дозволяє отримувати шліфовані поверхні на деталях з високою чистотою та точністю обробки. Його застосовують як кінцеве (фінішне) оброблення різних за профілем поверхонь заготовок із усіх металів і сплавів, обдирних робіт (зачищення відливок, поковок тощо), загострювання різальних інструментів. Шліфування забезпечує точність розмірів 11...5 квалітетів і шорсткість поверхні від $R_z 40$ до $R_a 0,16$ мкм.

Шліфувальний інструмент класифікують за декількома ознаками.

За природою абразивного матеріалу – електрокорунд, карбід силіцію, карбід бору, штучні алмази, кубічний нітрид бору тощо.

За зернистістю абразиву. згідно цієї ознаки абразивні зерна поділяють чотири групи:

- шліфзерна від №200 до №16 (мають зерна основної фракції від 2000 до 160 мкм);
- шліфпорошки від №12 до №3 (мають зерна основної фракції від 125 до 28 мкм);
- мікропорошки від М63 до М14 (мають зерна основної фракції від 63 до 10 мкм);

– тонкі мікропорошки від М10 до М1 (мають зерна основної фракції менше 10 мкм).

За типорозміром шліфувального круга. Абразивні круги за цим параметром бувають (рис. 6.1): плоскі прямого профілю (ПП); плоскі з виточкою (ПВ); диски (Д); тарілчасті (Т); чашкоподібні конічні (ЧК); чашкоподібні циліндричні (ЧЦ); головки циліндричні (ГЦ).

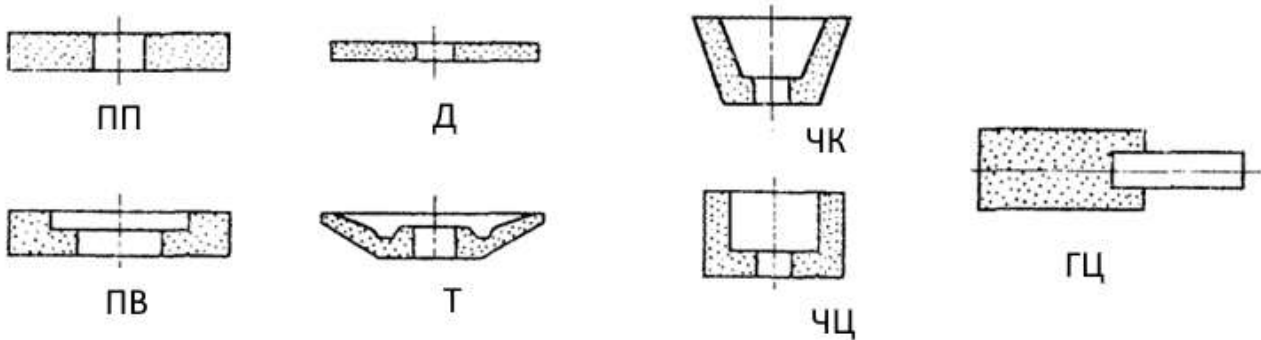


Рисунок 6.1 – Типорозміри шліфувальних кругів

За твердістю. Твердість абразивного інструменту є найважливішим показником. Її значення оцінюють за твердістю в'язучого. Установлено сім класів твердості абразивів: м'який (М), середньої м'якості (СМ), середній (С), середньої твердості (СТ), твердий (Т), достатньо твердий (ДТ), надзвичайно твердий (НТ). М'які круги частіше застосовують для чистового шліфування твердих сплавів, загартованих та сирих сталей, сплавів кольорових металів. Тверді круги застосовують для чорнового шліфування, обдирання поверхонь заготовок, також у випадку обробки заготовок малого діаметру, безцентрового шліфування.

За типом в'язучого. Для виготовлення шліфувальних кругів застосовують в'язуче трьох типів: неорганічні матеріали (керамічні, силікатні, магнезіальні); органічні (бакелітові, гліфталеві, вулканітові); металеві (мідь, алюміній). Найширше застосовують інструменти, виготовлені на керамічному (К), бакелітовому (Б) або вулканітовому (В) в'язучому. Керамічне в'язуче готують із глини, польового шпату, кварцу й інших речовин шляхом їхнього тонкого здрібнювання й змішування в певних пропорціях. Бакелітове в'язуче складається, в основному, зі штучної смоли – бакеліту. Вулканітове в'язуче являє собою штучний каучук, підданий вулканізації для перетворення його на міцний, твердий ебоніт.

Структура абразивного інструменту визначається співвідношенням об'ємів шліфувального матеріалу, в'язучого та пор

(рис. 6.2). Розрізняють 16 основних номерів структур абразивних кругів.

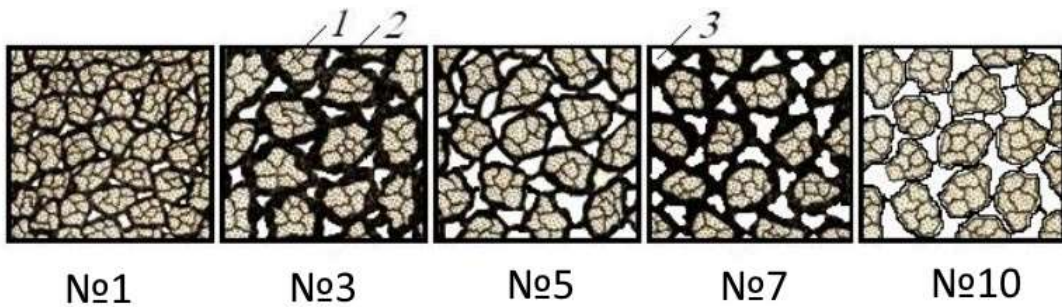


Рисунок 6.2 – Структура абразивного інструменту:
1 – зерно абразиву; 2 – в'язуче; 3 – пора

Для всіх технологічних способів шліфувальної обробки (рис. 6.3) головним рухом різання V_p (м/с) є обертання шліфувального круга.

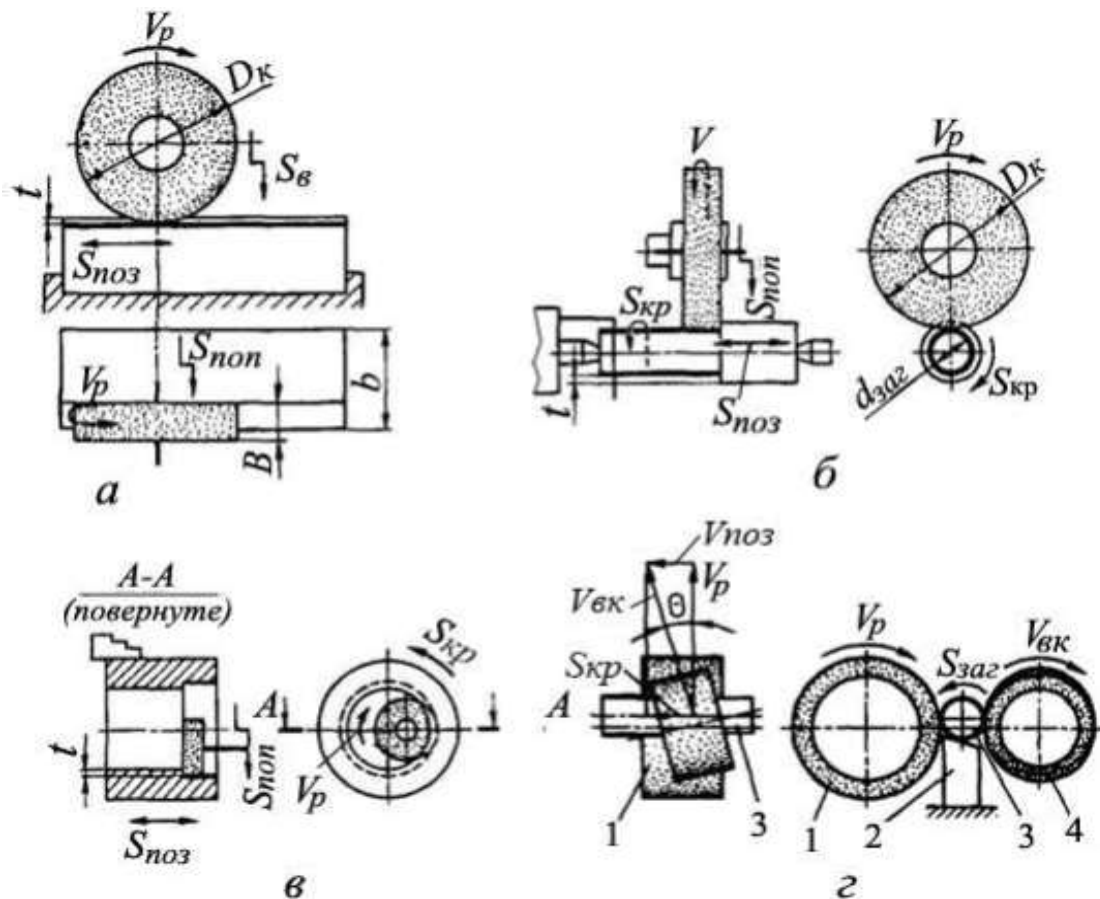


Рисунок 6.3 – Схеми обробки на шліфувальних верстатах

Під час плоского шліфування зворотно-поступальне переміщення заготовки необхідне для забезпечення поздовжньої подачі $S_{поз}$ (м/хв) (рис. 6.3, а). Для обробки поверхні на всю ширину b

заготовка або круг повинні мати, також, рух поперечної подачі $S_{\text{поп}}$. Цей рух відбувається переривчасто (періодично) у крайніх положеннях заготовки наприкінці поздовжнього ходу. Періодично відбувається й рух подачі $S_{\text{в}}$ на глибину різання. Це переміщення здійснюється також у крайніх положеннях заготовки, але наприкінці поперечного ходу.

Крім плоского способу шліфування застосовують також кругле шліфування, внутрішнє та безцентрове.

Під час плоского шліфування оброблюються зовнішні плоскі поверхні деталей та виробів. При цьому, шліфування можуть здійснювати периферійною циліндричною поверхнею шліфувального круга (рис. 6.4, а), або торцем (рис. 6.4, б). Для останнього методу часто застосовують чашкові циліндричні чи конічні шліфувальні круги. У випадку шліфування торцем круга на прямокутному столі (рис. 6.4, б), стіл здійснює лише зворотно-поступальний рух (поздовжня подача) $S_{\text{поз}}$, а круг – головний обертальний рух V_p , рух подачі $S_{\text{поп}}$ і рух осьової (вертикальної) подачі $S_{\text{в}}$ в кінці кожного ходу стола.

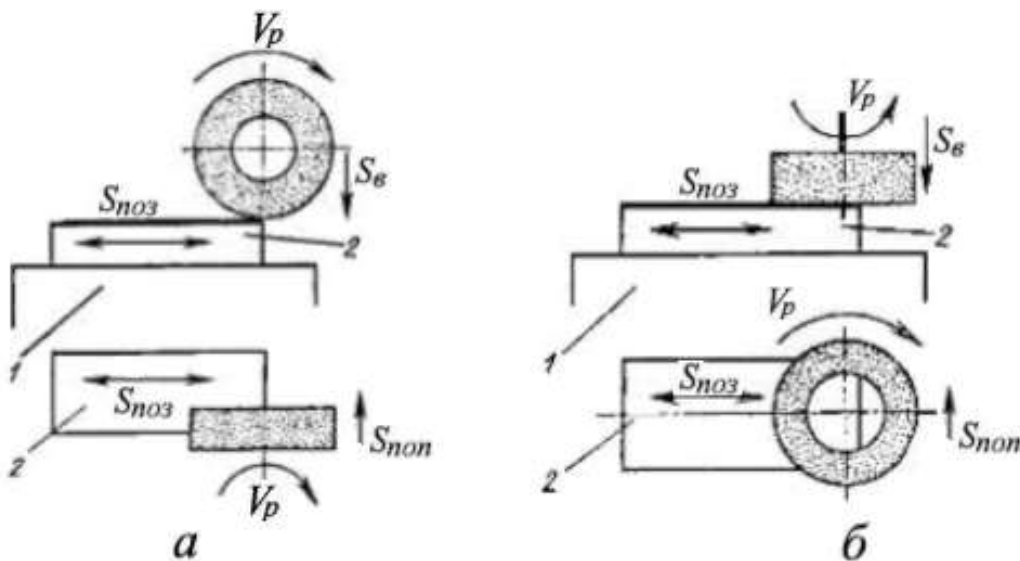


Рисунок 6.4 – Схеми плоского шліфування

За методом шліфування торцем круга можна досягнути більшої точності обробки та кращої якості шліфованої поверхні. Це пов'язано з меншим впливом можливих коливань шпинделя верстату, у порівнянні з методом шліфування циліндричною поверхнею круга.

Будова та робота плоскошліфувального верстату 3Г71.

Плоскошліфувальний верстат високої точності 3Г71 призначений для шліфування плоских поверхонь периферією круга. В

певних межах можливе оброблення поверхонь розміщених під кутом 90° до площини стола.

Технічна характеристика верстата

Найбільші розміри заготовки, яка шліфується: довжина – 630 мм; висота – 320 мм; ширина – 200 мм. Розміри шліфувального круга $D \times T \times d$ – $250 \times 25 \times 76$ мм. Частота обертання шліфувального круга – 2740 хв^{-1} . Колова швидкість шліфувального круга – 35 м/с. Найбільше вертикальне переміщення шліфувальної бабки – 365 мм. Ціна однієї поділки лімба маховика вертикальної подачі – 0,001 мм. Величина автоматичної вертикальної подачі (ступінчастої через 0,005 мм) – 0,005...0,05 мм. Поперечна автоматична подача при найменшому ході стола і швидкості стола 10 м/хв. – не менша 2 мм.

Верстат 3Г71 (рис. 6.4): складається із станини 26 на якій кріпиться колона 17. По напрямних колони може переміщуватися (вертикально) шліфувальна бабка 15. Стіл 21 переміщується вздовж по хрестовому столі 22, якому надається поперечна подача по напрямних станини 21. Охолоджуюча рідина подається і очищається насосною станцією 24 (гідропривід).

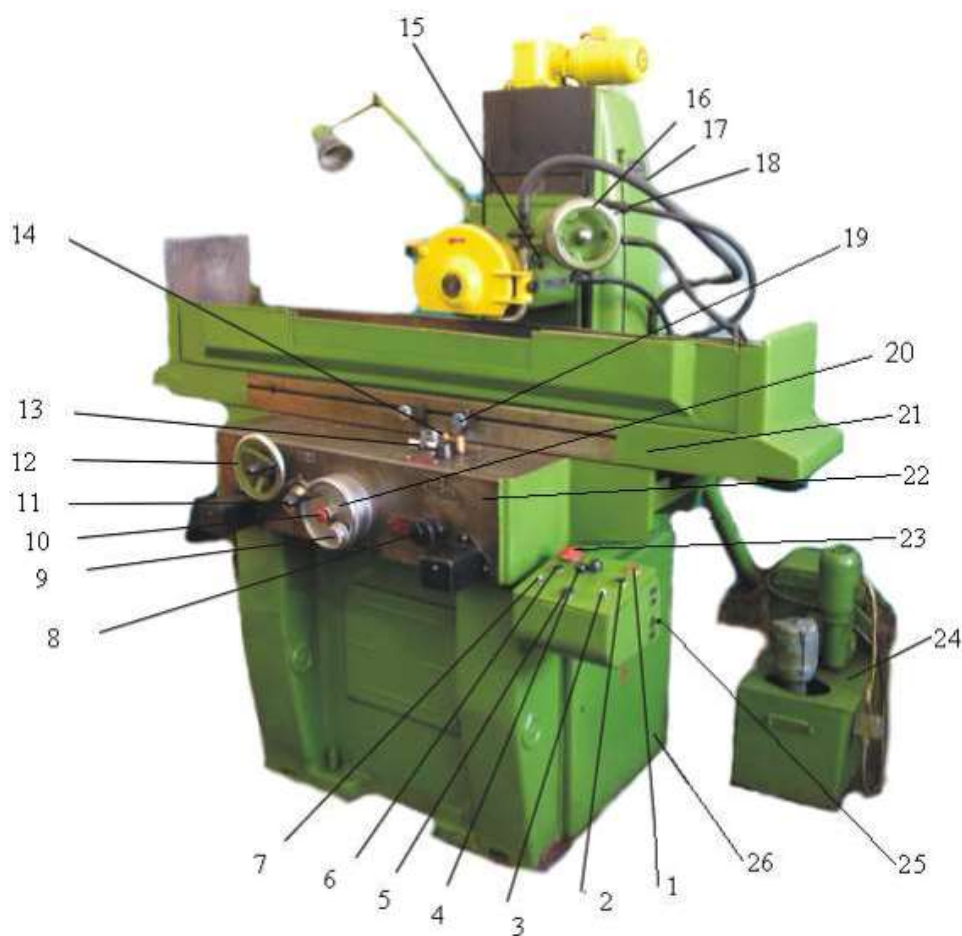


Рисунок 6.4 – Плоскошліфувальний верстат 3Г71

Органи керування:

1 – кнопка “Стоп гідроприводу”; 2 – кнопка “Пуск гідропривода”; 3 – перемикач подачі холодильної рідини; 4 – перемикач пришвидшеного переміщення шліфувальної бабки; 5 – перемикач роботи “з магнітною плитою”; 6 – кнопка “Пуск шпинделя”; 7 – перемикач магнітної плити; 8 – кнопка вимикання і реверсування поперечної подачі; 9 – маховик ручної мікрометричної поперечної подачі стола; 10 – кнопка вмикання маховика ручної поперечної подачі стола; 11 – лімб встановлення величини автоматичної поперечної подачі стола; 12 – маховик повздовжнього переміщення стола; 13 – рукоятка регулювання швидкості повздовжнього переміщення стола; 14 – рукоятка вмикання повздовжнього переміщення стола; 16 – маховик ручної вертикальної подачі шліфувальної бабки; 18 – рукоятка встановлення величини автоматичної вертикальної подачі шліфувальної бабки; 19 – упор встановлення переміщення стола; 20 – маховик ручної поперечної подачі стола; 23 – кнопка “Стоп”; 25 – вмикач верстата.

Вибір абразивних кругів і призначення режиму шліфування.

Характеристики абразивних кругів і режим шліфування залежать від виду і властивостей оброблюваного матеріалу, вимог до точності та шорсткості обробленої поверхні, виду і характеру операцій шліфування.

Залежно від конкретних факторів встановлюють такі характеристики шліфувального круга, які рекомендовані до застосування згідно даних табл. 6.1 і 6.2:

а) форма і розміри абразивного інструменту – вибираються зовнішній діаметр і ширина круга максимально допустимі для даного верстата, обов'язково стандартних розмірів;

б) вид абразивного матеріалу – залежно від виду і властивостей оброблюваного матеріалу, виду абразивного оброблення;

в) зернистість абразивного матеріалу залежно від шорсткості обробленої поверхні. Так зернистість складає:

- ✓ 50, 63 – для попереднього круглого і плоского шліфування до $Ra=2,5...0,63$ мкм;
- ✓ 40, 32 – для попереднього і чистового шліфування до $Ra=2,5...0,32$ мкм;
- ✓ 25, 20, 16 – для чистового шліфування до $Ra=1,25...0,16$ мкм;
- ✓ 12, 10 – заключне шліфування до $Ra=0,63...0,16$ мкм;

Таблиця 6.1 - Характеристики шліфувальних кругів для круглого шліфування

Оброблюваний матеріал	Кругле шліфування					Внутрішнє шліфування		
	Марка абразиву	Зернистість	Твердість	Зв'язка	Зв'язка	Марка абразиву	Зернистість	Зв'язка
Конструкційна сталь	12А-16А	32-63	С2-СМ2	К	К	12А-16А	32-50	К
Загартована сталь	12А-16А 22А-25А	32-80	СМ1-М3	КБ	КБ	12А-16А 22А-25А	40-63	К;Б
Інструментальна сталь	12А-16А	32-63	СМ2-СМ1	КБ	КБ	12А-16А	40-63	К;Б
Чавун	52С-55С	32-63	СМ1-М2	К	К	52С-55С	32-50	К
Алюмінієві сплави	52С-55С	32-50	СМ1-М3	К	К	52С-55С	32-50	К
Латунь	52С-55С	32-50	СМ1-С1	К	К	52С-55С	40-63	К
Тверда бронза	12А-15А	32-63	СМ1-М3	К	К	12А-15А	40-63	К
Тверді сплави	62С-64С	40-100	СМ1-М3	К	К	62С-64С	63-80	К

Таблиця 6.2 – Характеристики абразивних кругів для плоского шліфування периферією круга

Оброблюваний матеріал	Шорсткість поверхні $R_a, \mu\text{м}$	Характеристики круга				
		марка абразиву	номер зернистості	категорія твердості	номер структури	марка зв'язки
Незагартована сталь	1,2...2,5	13A, 14A	40...63	C2-CT1	3,4	K1, K5, K8
	0,63...1,25		16...32			
Загартована сталь	1,2...2,5	23A, 24A	40...63	CM1-CM2	5,6	K1, K5, K8
	0,63...1,25		16...32			
Чавун	1,2...2,5	53C, 54C	40...63	CM2-C1	3,4	K2, K3
	0,63...1,25		16...32			
Алюмінієві сплави, латуні	1,2...2,5	54C, 55C	40...63	M2-CM2	7,8	K2, K3
	0,63...1,25	25A	16...32			K5, K8
Тверда бронза	1,2...2,5	54C, 55C	40...63	M2-CM2	4,5	K2, K3
	0,63...1,25	14A	16...32			K5, K8

г) вид зв'язки залежно від способу шліфування. Керамічна K1, K2, K3, K4, K6, K8, K10 – для всіх видів шліфування крім прорізування пазів і відрізування; K2, K3 – для інструменту із карбиду кремнію, для загострювання інструментів із твердих сплавів; K1, K2, K8 – для інструменту із електрокорунду; вулканітові B1, B2, B3, B5 – для ведучих кругів безцентрового шліфування.

д) категорію твердості залежно від виду і властивостей оброблюваного матеріалу, довговічності інструменту. Тверді матеріали оброблюють м'якими кругами (M, CM, C) м'які – твердими. В'язкі мідь, свинець обробляють м'якими кругами.

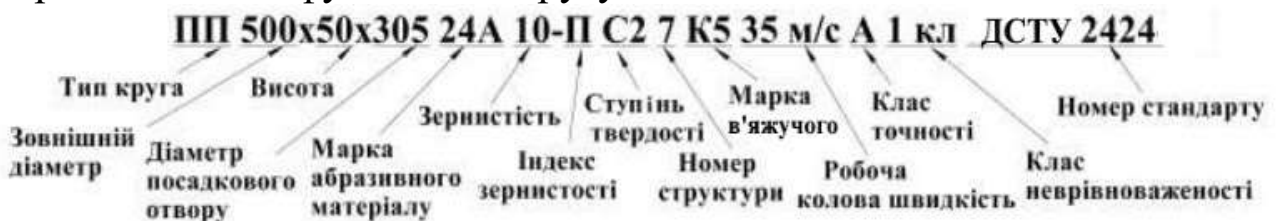
е) структуру абразивного інструменту залежно від виду оброблюваного матеріалу і способу шліфування. Рекомендуються номери структури: 3, 4 – для шліфування твердих і крихких матеріалів; 5, 6 – для круглого зовнішнього, безцентрового, плоского шліфування периферією круга металів з високим опором розтягу; 7, 8 – шліфування в'язких матеріалів з низьким опором розриву, внутрішнього шліфування, плоского шліфування торцем круга; 9, 12 – швидкісного шліфування.

Параметри режиму різання для різних видів шліфування визначають користуючись даними таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Параметри режиму різання для шліфування конструкційних матеріалів

Матеріал оброблюваної заготовки	Характер обробки	Швидкість поздовжньої подачі, мм/хв	Поперечна подача, у частках ширини круга на хід стола	Глибина різання, мм
Інструментальні, жароміцні та нержавіючі сталі	Чорнове	3...8	0,04...0,10	0,05...0,15
	Чистове	3...8	0,02...0,06	0,010...0,015
Конструкційні сталі	Чорнове	8...30	0,4...0,7	0,02...0,06
	Чистове	15...20	0,2...0,3	0,015...0,02
Чавуни та бронза	Чорнове	20...85	0,5...0,8	0,015...0,10
	Чистове	15...30	0,2...0,3	0,005...0,020

На шліфувальні круги наносять позначення, називані маркуванням. Воно необхідне для правильного вибору інструмента під час виконання конкретної роботи. Приклади позначення абразивного шліфувального круга



Для шліфування заготовок із твердих сплавів і надтвердих матеріалів успішно застосовують алмазні круги. Алмазний круг складається з корпусу й алмазоносного шару. Корпус виготовляють із алюмінію, пластмас або сталі. Товщина алмазоносного шару в більшості кругів становить 1,5...3 мм. Частіш за все для виготовлення таких інструментів використовують синтетичні алмази.

Дослідна частина, порядок виконання роботи.

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом роботи. Вивчити конструкцію та осовні органи керування плоскошліфувального верстату 3Г71.

2. Дослідити отримані від викладача шліфувальні круги, встановивши їх тип за маркуванням. Описати призначення кожного круга.

3. Відповідно до завдання вибрати шліфувальний круг за розмірами і характеристиками. Користуючись даними таблиць 6.1, 6.2 та 6.3 призначити режим шліфування.

4. Підібравши тип круга та режим обробки виконати шліфування пласкої поверхні деталі на плоскошліфувальному верстаті 3Г71.

Для цього:

Встановити і закріпити заготовку на магнітній плиті. Для закріплення заготовки перемикач 7 (рис. 6.4) повертають у положення „Плита увімкнена”. Встановити упори 15 повздовжнього реверса стола так, щоб хід стола був більший від довжини заготовки на 80...100 мм. Увімкнути почергово шліфувальний круг (кнопкою 6) і гідропривід (кнопкою 2). Дросельний кран гідропанелі встановити у положення „Пуск”. Рукоятку 13 „Швидкість стола” повільно перевести з положення „менше” вліво поступово збільшуючи швидкість стола. Підвести шліфувальний круг до заготовки, при швидкості стола 8...10 м/хв., рукояткою 4, а маховиком 16 встановити глибину шліфування. Встановити необхідну швидкість стола рукояткою 13. Встановити необхідну величину поперечної подачі маховиком 10. Увімкнути кнопкою 8 автоматичну поперечну подачу в ту чи іншу сторону залежно від того з якої сторони починається шліфування. Прощліфувати поверхню заготовки.

5. Використовуючи еталони шорсткості, визначити шорсткість обробленої поверхні за параметром Ra .

6. Сфотографувати прошлифовану поверхню. Зробити висновки щодо виконання процесу плоского шліфування периферією шліфувального круга.

Питання для підготовки.

1. Що таке шліфування та для чого його проводять?
2. Які абразивні матеріали застосовують для шліфування?
3. В чому полягає суть абразивної обробки, що нею досягають?
4. Які є способи шліфування та типи шліфувальних верстатів?

Вкажіть основні види шліфування та їх застосування.

5. Які є типи шліфувальних кругів? Поясніть особливості застосування кожного типу.

6. Які є схеми плоского шліфування? Чим вони відрізняються.

7. Опишіть основні частини і органи керування плоскошліфувального верстата.

8. Поясніть основні принципи вибору абразивних кругів і режиму шліфування.

9. Поясніть послідовність налагодження круглошліфувального верстата на шліфування циліндричної і конічної поверхонь.

Лабораторна робота 7 "Дослідження процесу обробки плоских металевих поверхонь деталей на CNC верстатах"

Мета: вивчити основні функції та параметри програмування лінійної та кругової інтерполяції, навчитися складати кадри керуючої програми для обробки плоских металевих поверхонь деталей на фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням (CNC).

Обладнання та матеріали: фрезерний CNC верстат; персональний комп'ютер; заготовки для обробки зі сплаву алюмінію; набір CNC фрез; затискачі призматичні; інструмент слюсарний; інструмент вимірювальний.

Теоретичний матеріал.

Розглядаючи деталі, які обробляються на металорізальних верстатах, як геометричні об'єкти, можна зрозуміти певну закономірність переміщення деталі та інструменту один відносно одного. Таке переміщення має відбуватись по деякій траєкторії (рис. 7.1, а), згідно геометрії деталі. Траєкторію руху можна розбити на опорні точки (рис. 7.1, б), які розділятимуть її на елементарні прості рухи інструменту.

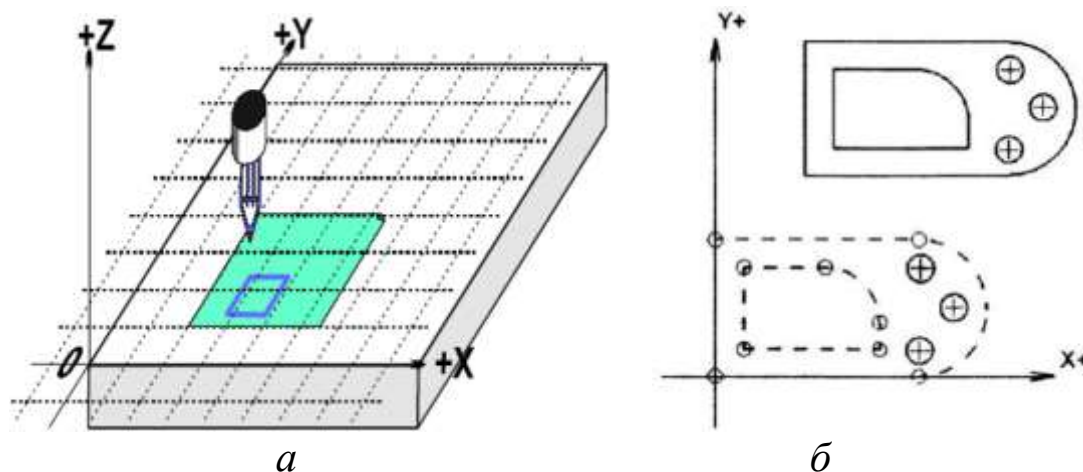


Рисунок 7.1 – Схема координатної системи верстата (а) та схема координат опорних точок (б)

Якщо оцифрувати дані геометрії деталі та інструменту, стає зрозумілим, що керувати таким рухом інструменту можна за допомогою команд комп'ютерної системи. Керуюча програма описує рух визначеної точки інструменту – його центру. Траєкторію

інструменту представляють складовою із окремих перехідних одна в одну ділянок. Ці ділянки можуть бути прямими лініями, колами, дугами кіл, криві другого і вищих порядків. Точки перетину цих ділянок називаються опорними або вузловими точками. Як правило, координати саме опорних точок містяться в керуючій програмі. Для верстатів з числовим програмним керуванням (CNC верстатів) керуючою програмою є G-код.

G-код (G-code) – умовна назва мови програмування пристроїв із числовим програмним керуванням. G-code було створено американською компанією Electronic Industries Alliance на початку 1960-х років. У 1980 році комітет ISO затвердив G-код у міжнародному стандарті ISO 6983-1:2009. Код використовували для CNC верстатів. Його універсальність для багатьох цифрових апаратних систем зумовила подальше застосування G-коду для CNC та CO₂ верстатів (лазерних систем) та, згодом, для 3D принтерів. Всі головні команди у файлі G-коду починаються літерою "G", звідси і назва мови програмування.

Програма, написана з використанням G-code, має жорстку та послідовну структуру. На відміну від інших мов програмування, в G-code немає циклів, функцій і логічних команд, тобто обладнання послідовно виконує вказані команди (рис. 7.2). Файл з G-кодом можна переглядати та редагувати як в спеціальних програмах, так і в звичайних *txt*-редакторах, оскільки їх вміст являє собою звичайний текст. Кожен окремий рядок коду називається кадром.

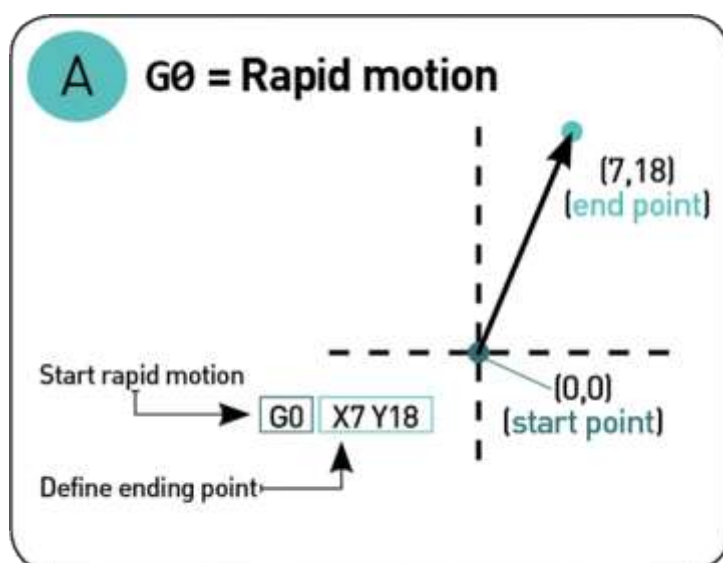


Рисунок 7.2 – Елементарна команда G-коду та її виконання

Розглянемо основні керуючі команди G-коду, що застосовуються для програмування механообробних CNC верстатів.

Лінійна інтерполяція G00 та G01

Лінійна інтерполяція передбачає переміщення по прямій лінії в 3-х координатному просторі. На початку інтерполяційних розрахунків система CNC визначає довжину шляху на основі запрограмованих координат. В процесі переміщення інструменту здійснюється контроль контурної подачі та її допустимих величин. Переміщення по всім координатам повинно завершитись одночасно.

Код G00 – це прискорене переміщення до кінцевої точки або до безпечної позиції, здійснюється по прямій лінії з максимальною швидкістю подачі. Прискорене переміщення ніколи не використовується для виконання обробки, так як швидкість руху виконавчого органу верстата дуже висока. Код G00 скасовується кодами G01, G02 та G03.

Код G01 використовується для виконання прямолінійних переміщень з початкової точки в кінцеву точку із заданою швидкістю подачі (F) (рис. 7.3).

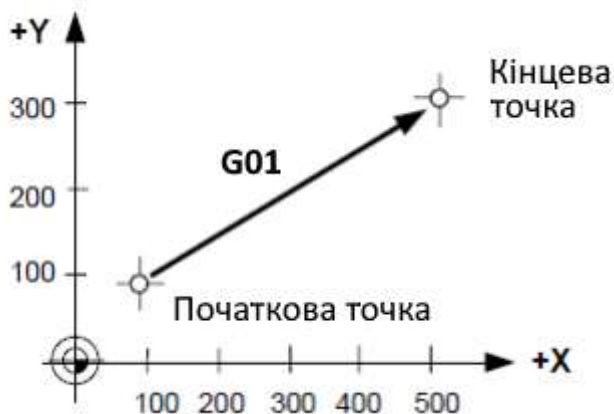


Рисунок 7.3 – Лінійна інтерполяція за командою G01

У процесі програмування задаються координати кінцевої точки в абсолютних (G90) або відносних (G91) значеннях з відповідними адресами переміщень (наприклад X, Y, Z). Код G01 скасовується кодами G00, G02 та G03.

Кругова інтерполяція G02 та G03

Коди G02 та G03 призначені для виконання кругової інтерполяції. Код G02 використовується для переміщення по дузі за годинниковою стрілкою, а G03 – проти годинникової стрілки.

Є два способи для формування кадру кругової інтерполяції:
G02 X__ Y__ Z__ I__ J__ K__ F__ (параметри інтерполяції I, J, K)

G02 X__ Y__ Z__ R__ F__ (радіус R)

У першому варіанті для виконання кругової інтерполяції переміщення вказують: код G02 (G03); координати кінцевої точки дуги; I, J, K – числові дані (параметри інтерполяції), і швидкість робочої подачі F. Параметри інтерполяції вказують розміщення центра дуги чи кола по відношенню до початкової точки дуги (рис. 7.4), з координатами X, Y. Параметр I це відстань від центра до початкової точки по осі X, J – по осі Y, K – по осі Z.

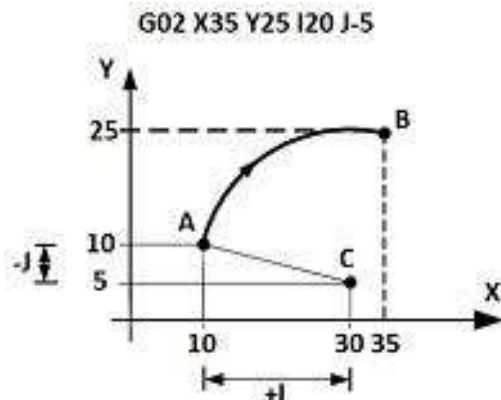


Рисунок 7.4 – Кругова інтерполяція командою G02:
A – початкова точка; B – кінцева точка; C – центр дуги

На відміну від першого варіанту, в другому варіанті замість I, J, та K вказують радіус R. Вибір варіанту запису кадру кругового переміщення залежить від можливостей CNC і звички оператора. Більшість сучасних CNC верстатів підтримують обидва варіанти.

В кадрі з кодом кругової інтерполяції необхідно вказувати координати кінцевої точки переміщення (дуги). Якщо крім X і Y в кадрі є координата Z з не нульовими даними, то це означає, що виконується гвинтова інтерполяція. Гвинтова інтерполяція, яка підтримується не всіма системами CNC, дозволяє виконувати фрезерування різьби та забезпечує плавне гвинтове врізання інструменту в матеріал заготовки.

Для прикладу розглянемо конкретний G-код схема виконання якого представлена на рисунку 7.5:

- N05 G00 X5 Y5; точка B
- N10 G01 X0 Y20 F200; точка C
- N15 X20 Y0; точка D
- N20 G02 X10 Y-10 I0 J-10; точка E
- N25 X-4 Y-8 I-10 J0; точка F
- N30 G01 X-26 Y-2; точка B


```
N05 G00 X10 Y25 Z1 S1250 M3  
N10 G01 Z-5 F100  
N15 G02 X10 Y25 I20 J0 F125  
N20 G00 Z100 M5  
N25 X-20 N30 M30
```

У прикладі цього коду бачимо нові команди: M3 – вмикання шпинделя верстату з обертанням за годинниковою стрілкою (проти – M4) зі швидкістю 1250 об/хв (команда S1250); M5 – шпиндель стоп: M30 – кінець виконання програми.

Дослідна частина, порядок виконання роботи.

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом роботи. Вивчити основні команди G-коду для виконання обробки на CNC верстатах.

2. Згідно отриманого завдання від викладача (*видається індивідуально*), на основі геометрії та розмірів контуру обробки деталі, виконати побудову G-коду для виконання руху фрези вертикально фрезерного верстата.

3. Перевірити правильність написання коду виконавши його симуляцію у програмному симуляторі CNC обробки "GWizard". За необхідності здійснити корекцію команд. Визначити час обробки згідно даних підготовленого коду.

4. Завантажити перевірений G-код у апаратне середовище "FANUC" вертикально фрезерного CNC верстата. Підготувати верстат до роботи.

5. Запустити виконання G-коду верстатом без заготовки. Після перевірки правильності рухів робочих органів верстату. Зупинити та вимкнути верстат.

6. Закріпити підготовлену заготовку зі сплаву алюмінію на столі верстату. Ввімкнути верстат та перевіривши безпечність роботи запустити виконання G-коду. Засікти та виміряти реальний час обробки заготовки. Після завершення обробки зупинити та вимкнути верстат.

7. Зняти оброблену заготовку зі столу. Виконати заміри основних розмірів обробленого контуру. Оцінити якість та точність обробки поверхонь. Порівняти виміряний час обробки контуру з часом, що розрахований програмою обробки. Сфотографувати оброблену заготовку, зробити висновки та заключення.

Питання для підготовки.

1. Що таке G-код, у CNC системах механічної обробки? Чим зумовлена його назва?
2. Яка структура G-коду та чим він відрізняється від інших мов програмування?
3. Поясніть виконання основної команди та її запис.
4. Як виконується лінійна інтерполяція G00 та G01? Наведіть приклади виконання.
5. В чому полягає кругова інтерполяція згідно команд G-код G02 та G03. Як вони виконуються та чим відрізняються?
6. Що таке параметри інтерполяції у командах G02 та G03?
7. Як виконати кругову інтерполяцію за командами G02 та G03 за гвинтовою лінією?
8. Що таке модальні команди у структурі G-коду?

4 Вимоги до оформлення звіту з виконання робіт

Звіт до кожної роботи лабораторного практикуму слід оформлювати в електронному варіанті або на окремих аркушах білого паперу формату А4 (за згодою викладача). Текст звіту має бути машинописним, підготовлений з дотриманням загальних вимог до оформлення електронних текстових документів згідно ДСТУ 3008:2015, ДСТУ ISO 7573:2018.

Звіт має включати такі обов'язкові розділи: титульний аркуш з даними здобувача освіти, мету роботи та задачі досліджень, короткі теоретичні положення, матеріал та обладнання для досліджень, результати досліджень та їх аналіз (фото дослідів, обладнання, виробів, рисунки, таблиці результатів, графіки тощо), висновки.

Усі рисунки та таблиці у звіті повинні бути оформленими згідно зі стандартами. Текст звіту повинен бути написаний розбірливою мовою, стисло та технічно грамотно.

Під час редагування файлу та додавання власного матеріалу слідкуйте за культурою подання інформації: дотримуйтесь академічної доброчесності; інформацію подавайте стисло, без зайвого; залишайте (або позначайте) номер та зміст завдань, на які даєте відповіді; дотримуйтесь початкової структурованості роботи. Особливо це стосується студентів, які працюють у дистанційному форматі та виконують дослідження віртуально, користуючись засобами

відеозв'язку та відеоресурсами. Бали за кожне завдання виставляються у відповідності до ступеня наповненості інформації у звіті.

Файл звіту можна надіслати в електронній формі на адресу викладача, або додати у систему moodl (Електронний освітній портал ЛНТУ) за профілем здобувача освіти на курсі. У звіті необхідно вказати ваше прізвище та ім'я, а також номер вашої групи на титульному аркуші практичної роботи. Файл звіту бажано зберегти у форматі *.pdf з назвою, в якій вказати прізвище, ініціали та академічну групу.

5 Рекомендована література та ресурси

1. Пахаренко В. Л. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство : навч. посіб. / В. Л. Пахаренко, М. М. Марчук, О. В. Пахаренко. – 2-е вид., перероб. і доповн. – Рівне : НУВГП, 2018. – 252 с.

2. Говорун Т. П. 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

3. Технологія конструкційних матеріалів [Текст] : навч. посіб. / П. І. Літовченко, Л. П. Іванова. – Х. : НА НГУ, 2016. – 306 с. : іл.

4. Матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Є.Г.Афтанділянц, О.В.Зазимко, К.Г.Лопатько. – К.: "Гельветіка", 2020. – 612 с.

5. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів: Світ, 2016. – 624 с.

6. Прикладне матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV ступенів акредитації / Авт. колектив: Сушко О.В., Посвятенко Е.К., Кюрчев С.В., Лодяков С.І. - Мелітополь: ТПЦ «Forward press», 2019. – 352 с.

7. Михайлов В. М. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Лабораторний практикум: навч. Посібник / Михайлов В. М., Лебединець І. В. – Х: ХДУХТ, 2017. – 196 с.

8. Кюрчев С.В., Колодій О. С., Сушко О. В., Ковальов О. О., Верхоланцева В. О. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів розділ “Обробка матеріалів різанням”. Посібник-практикум

для виконання лабораторних робіт. – ТОВ “Видавничий будинок ММД”, 2021. – 112с.

9. Металознавство: навчальний посібник / І. В. Прокопович. – Одеса: Екологія, 2020. – 308 с.

10. Електронний ресурс: <http://Industry.com>.

11. Електронний ресурс: <https://www.astm.org/COMMITTEE/F42.htm>.

ТЗ8 **Технології матеріалів** : методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійних програм спеціальності 132 "Матеріалознавство" галузі знань 13 "Механічна інженерія" денної та заочної форм навчання / уклад. Д.А. Гусачук, С.В. Мисковець. – Луцьк: ЛНТУ, 2024. – 56 с.

Комп'ютерний набір
Редактор

Д.А. Гусачук
Д.А. Гусачук

Підп. до друку _____ 2024 р.
Формат 60x84/16. Папір офс. Гарнітура Таймс. Ум. друк.
арк. ____ Тираж ____ прим. Зам. _____

Луцький національний технічний університет
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75

