

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра будівельної механіки



МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
для виконання лабораторних робіт з курсу

**«ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ ТА
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

РОЗДІЛ
**«ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ»**

для здобувачів бакалаврського ступеня вищої освіти
за спеціальностями

131 «Прикладна механіка» (групи МП)

133 «Галузеве машинобудування» (групи ММ)

274 «Автомобільний транспорт» (групи МА)

208 «Агроінженерія» (групи МГ)

УДК 621.7(07)

М54

УКЛАДАЧ

кандидат технічних наук, доцент Ковальчук Я.О.

РЕЦЕНЗЕНТ

кандидат технічних наук, доцент Крамар Г.М.

М54 Методичний посібник для виконання лабораторних робіт з курсу «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство» Розділ «Технологія конструкційних матеріалів» для здобувачів бакалаврського ступеня вищої освіти за спеціальностями 131 «Прикладна механіка» (групи МП) 133 «Галузеве машинобудування» (групи ММ) 274 «Автомобільний транспорт» (групи МА) 208 «Агроінженерія» (групи МГ)/Уклад. Ковальчук Я.О.–Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя,2024.–108 с.

Методичний посібник розглянуто й схвалено на засіданні кафедри будівельної механіки, протокол № 6 від «16» лютого 2024 року

Схвалено й рекомендовано до друку науково-методичною комісією факультету інженерії машин, споруд та технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 6 від «22» лютого 2024 року

Посібник складено з урахуванням методичних розробок інших вищих закладів освіти, а також матеріалів літературних джерел, перелічених у списку.

ЗМІСТ

Вступ	4
Правила техніки безпеки	5
Лабораторна робота № 1. Визначення механічних властивостей матеріалів	7
Лабораторна робота № 2. Технологія механічної обробки матеріалів	36
Лабораторна робота № 3. Технологія ручного дугового та контактного зварювання	79
Література	104

ВСТУП

Лабораторні роботи виконуються для закріплення теоретичних знань, отриманих під час лекцій і самопідготовки, вироблення у студентів навичок і вмінь самостійної роботи при визначенні механічних характеристик конструкційних матеріалів, виконанні необхідних розрахунків режимів обробки та виборі їх оптимальних значень, налагодженні технологічного устаткування згідно з завданнями обробки.

Методичний посібник призначено для студентів, які згідно з навчальними планами вивчають курс «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство».

Метою посібника є допомога студентам при підготовці й виконанні лабораторних робіт за темами, які ввійшли до цього видання. На початку збірника подано основні вимоги правил техніки безпеки при виконанні робіт. Ознайомлення студентів з ними проводиться на вступному лабораторному занятті з обов'язковим підписом кожного студента у відповідному журналі. Структурно опис кожної лабораторної роботи містить короткі теоретичні відомості, опис матеріальної бази, порядок проведення експерименту, обробки його результатів і оформлення звіту про роботу за формою, поданою в додатку. Перелік літератури, рекомендованої для поглибленого вивчення матеріалу, подано у кінці збірника.

Навчальний посібник забезпечує студентам можливість самостійно підготуватися до виконання лабораторної роботи, а викладачеві – звести до мінімуму вступні пояснення.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторні роботи з курсу технології конструкційних матеріалів проводяться в лабораторії ТКМ кафедри будівельної механіки. **Дотримання правил техніки безпеки є обов'язковою умовою виконання робіт.** Для забезпечення цього кожен студент повинен ознайомитися з вимогами правил техніки безпеки та отримати допуск до виконання роботи у викладача.

Забороняється приступати до виконання робіт у верхньому одязі. Студенти, які тимчасово не залучені до роботи з обладнанням, повинні знаходитися в місці, вказаному викладачем.

Все устаткування, яке використовується для виконання лабораторних робіт, обладнане електроприводами з напругою живлення 380 Вольт, тому загальними вимогами при їх використанні є дотримання правил експлуатації промислового електроустаткування, щоб попередити ураження електричним струмом. Для цього студентам забороняється вмикати обладнання, не призначене для виконання поточної лабораторної роботи, відкривати дверцята електричних шаф та рубильників. Без вказівки викладача або лаборанта забороняється вмикати або вимикати вимикачі та рубильники.

Всі зайві предмети, які не стосуються виконання даної роботи, необхідно прибрати з робочого місця. Перед запуском верстата необхідно перевірити роботу його механізмів вручну. При виявленні їх заклинювання або утрудненого переміщення не вмикати напругу і повідомити про це викладача або лаборанта, не приймати самому заходів для усунення неполадок. Оброблювана деталь та робочий інструмент повинні бути надійно закріплені. Забороняється притримувати інструмент або деталь руками в процесі обробки.

Забороняється знімати або відкривати захисні екрани та загорожі при роботі верстата. При обробці деталі забороняється торкатися до неї або інструменту, контролюючи їх розміри, шорсткість чи температуру.

При роботі на металообробному обладнанні не дозволяється користуватися рукавицями. З одягу не повинні звисати незащипнуті рукави, пояси тощо, для попередження їх замотування за обертові частини верстата, інструмента чи заготовки.

При обробці матеріалів різанням не можна забирати стружку руками, а потрібно використовувати спеціальні пристосування (щітки, гачки).

Категорично забороняється запускати верстат без дозволу викладача або лаборанта. Порухення правил техніки безпеки може привести до нещасних випадків. **Строго дотримуйтесь цих правил.** Це збереже вам здоров'я та життя. Застерігайте від порушення цих правил своїх друзів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Вивчити показники міцності, пластичності, твердості та ударної в'язкості конструкційних сплавів та їх вплив на експлуатаційні й технологічні властивості матеріалів. Ознайомитися з методикою експериментального визначення механічних властивостей матеріалів.

1.1 Визначення показників міцності та пластичності

Короткі теоретичні відомості

Механічні властивості матеріалу характеризують його поведінку під дією зовнішніх навантажень. Навантаження, прикладені до матеріалу, зумовлюють виникнення в ньому напружень. У найпростішому випадку при одновісному статичному розтягуванні (рис. 1.1) циліндричного зразка діаметром d_0 **напруження** (Па) визначається за формулою

$$\sigma = P/F_0, \quad (1.1)$$

де P – величина зусилля в момент визначення напруження, H ;

$F_0 = (\pi d_0^2)/4$ – початкова площа поперечного перерізу робочої ділянки циліндричного зразка, m^2 (рис. 1.2);

d_0 – початковий діаметр робочої ділянки зразка, m .

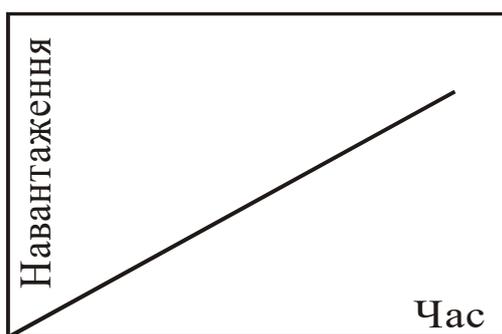


Рис. 1.1. Зміна зусилля впродовж часу при випробуваннях матеріалів статичним розтягуванням

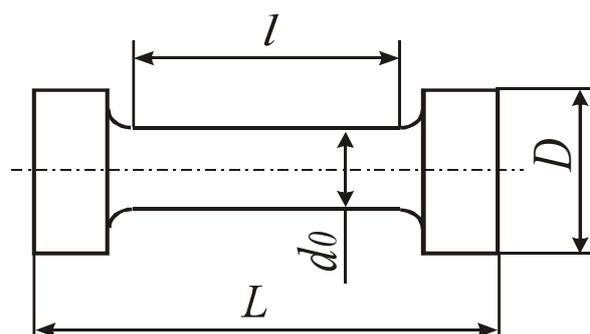


Рис. 1.2. Конструкція зразка для визначення показників міцності при статичному розтягуванні

Напруження називають **умовним**, якщо величину зусилля P відносять до початкової площі поперечного перерізу зразка, і **дійсним**, якщо зусилля відносять до миттєвої площі поперечного перерізу (в певний момент навантажування).

Деформацією називається зміна розмірів і форми тіла під дією навантаження. Вона буває **пружною** (зникає після зняття прикладеного навантаження) або **пластичною** (залишається після зняття навантаження). Величина деформації характеризується її абсолютними та відносними показниками.

Міцність – здатність матеріалів за певних умов і в певних межах не руйнуватися, сприймаючи зовнішнє навантаження. Вона є однією з найважливіших механічних характеристик конструкційних матеріалів. Міцність залежить від природи матеріалу, наявності шкідливих компонентів (домішок) та корисних добавок (легуючих елементів), температури, робочого середовища тощо. Від значення параметрів міцності матеріалу залежать його експлуатаційні та технологічні властивості, вартість і можливе використання в техніці.

Пластичність – властивість матеріалів отримувати залишкову (пластичну) деформацію без руйнування під дією зовнішнього механічного навантаження або внутрішніх напружень. Наявність високої пластичності матеріалу є обов'язковою для обробки матеріалів тиском (кування, вальцювання, штампування тощо). Пластичність матеріалів залежить від багатьох чинників. Як правило, вона підвищується при нагріванні й зменшується при охолодженні. Збільшення вуглецю в сталі знижує її пластичність. Суттєво зменшується пластичність сталей під дією радіоактивного опромінення.

Жорсткість – властивість матеріалу або конструкції чинити опір деформуванню під дією прикладених навантажень.

При випробуванні матеріалів за умов статичного розтягу визначають такі **характеристики міцності**:

- межу пропорційності σ_{nc} ;
- межу пружності σ_{np} ;
- межу текучості (фізична) σ_m (для пластичних матеріалів);
- межу текучості (умовна) $\sigma_{0,2}$ (для крихких матеріалів);
- межу міцності (тимчасовий опір) σ_m ;
- межу руйнування σ_p ;
- дійсні напруження руйнування S_k

а також **характеристики пластичності**:

- відносне видовження δ ;
- відносне звуження ψ .

Для випробовувань на розтяг використовують, як правило, циліндричні зразки. Їх форма та розміри стандартизовані. Найпоширеніша конструкція зразка для випробувань на статичний розтяг зображена на рис. 1.2.

Розрізняють «п'ятикратні» та «десятикратні» циліндричні зразки, в яких відношення l/d_0 дорівнює відповідно 5 та 10.

Дослідження матеріалів на розтяг виконують на випробувальних машинах різних типів (гвинтових, гідравлічних), які дають можливість фіксувати миттєве навантаження і відповідну деформацію зразка.

Лабораторна робота виконується на сучасному випробувальному комплексі на базі сервогідравлічної машини СТМ-100 з керуванням і записом отриманої інформації за допомогою комп'ютера.

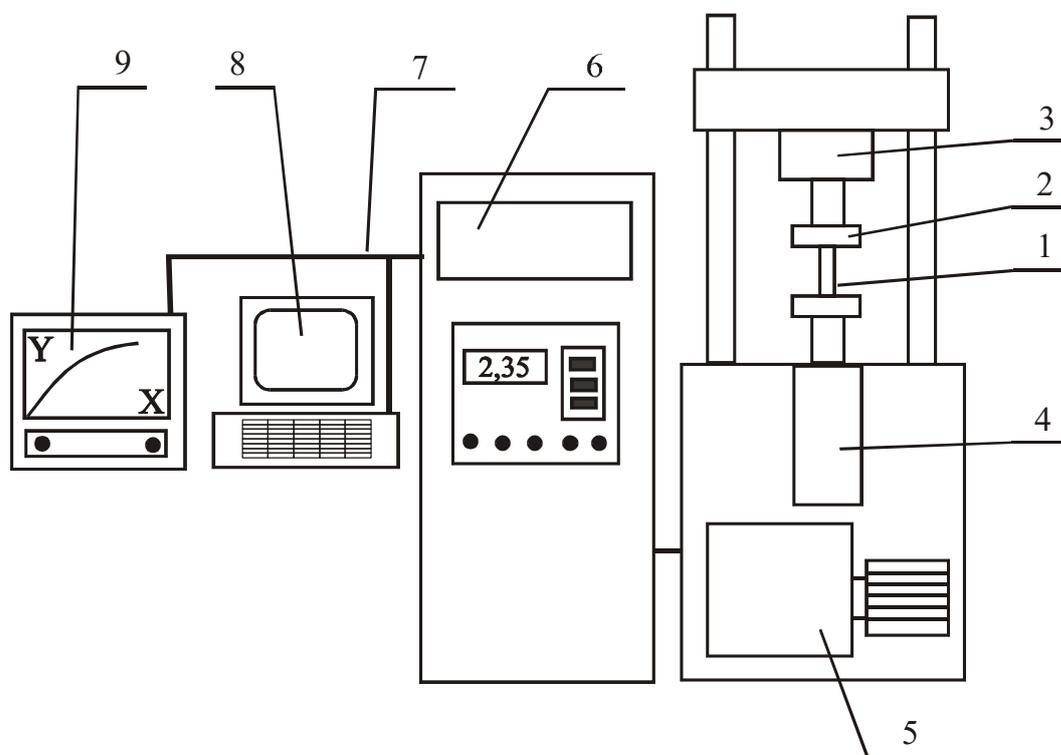


Рис. 1.3. Структурна схема випробувального комплексу на базі сервогідравлічної машини СТМ-100

При випробуваннях зразок 1 (рис. 1.3) закріплюють у захватах 2, верхній з яких нерухомо з'єднаний з динамометром 3, а нижній – з рухомим штоком силового гідроциліндра 4. Переміщення цього штока забезпечується тиском робочої рідини, яка потрапляє в гідроциліндр 4 від гідростанції 5. Керування процесом в ручному режимі, контроль за робочими параметрами випробувань та аварійне блокування системи здійснюється за допомогою АЦПУ (аналогово-

цифрового перетворюючого устаткування) 6. Для програмного керування випробуваннями, записування результатів експерименту та їх математичної обробки інформація з АЦПУ по інтерфейсу 7 поступає на ПЕОМ 8. Для візуалізації процесу «Навантаження – деформація» в режимі реального часу використовується двокоординатний самопишучий потенціометр 9, на якому будується діаграма розтягу за встановленими дослідником масштабами.

Випробувальна машина забезпечує статичні зусилля розтягу до 100 кН. Тиск робочої рідини в гідросистемі при цьому становить 27,5 МПа. Максимальне переміщення штока – 100 мм. Проведення експерименту можливе як в режимі ручного керування, так і програмно від комп'ютера. При керуванні випробувальної машини від ПЕОМ, крім того, вся інформація фіксується в пам'яті комп'ютера з часовою дискретністю 0,055 секунди. Режим навантаження (приріст зусилля за одиницю часу) також задається програмно. За бажанням дослідника машина може одночасно фіксувати результати за чотирма інформаційними каналами: зусилля, переміщення штока із захватами, поздовжня та поперечна деформація зразка в місцях встановлення відповідних тензодавачів (рис. 1.4).

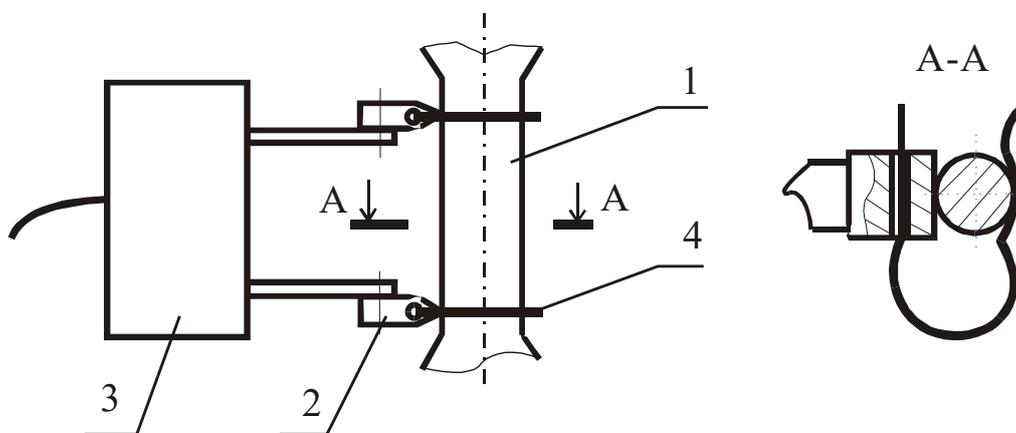


Рис. 1.4. Схема встановлення тензодавача для визначення поздовжньої деформації зразка: 1 – зразок; 2 – опорний ніж тензодавача; 3 – тензодавач;

4 – пружинний затискач

Програмний пакет опрацювання результатів експерименту забезпечує можливість практично миттєво отримати перелічені вище характеристики міцності та пластичності матеріалів.

Описана випробувальна машина є складним і досить дорогим науковим експериментальним комплексом, який дає можливість проводити широкий спектр досліджень, включаючи випробування на втому матеріалу (під впливом циклічних

навантажень), повзучість (під впливом довготривалих навантажень) за спеціальними комп'ютерними програмами навантажень, включаючи випадкові та реальні експлуатаційні навантаження в широкому інтервалі температур. Однак, у заводських лабораторіях машино- та приладобудівних підприємств, як правило, для визначення характеристик міцності та пластичності використовуються значно простіші розривні машини з гвинтовим приводом захватів. Основним їх недоліком є необхідність ручного опрацювання результатів експерименту за отриманою діаграмою розтягу (рис. 1.5). Саме тому одним із складових пунктів мети роботи є отримання студентами навичок ручного (безкомп'ютерного) опрацювання результатів експерименту за діаграмою розтягу.

На діаграмі (рис. 1.5, а) дослідник проставляє характерні точки, за якими визначає показники механічних властивостей. На ділянці OA зразок деформується пропорційно до прикладеного навантаження (за законом Гука). Точка A є границею, до якої зберігається лінійна (пропорційна) залежність між навантаженням та деформацією зразка, і відповідає **межі пропорційності**. Межа пропорційності визначається за формулою

$$\sigma_{mi} = P_{mi} / F_0, \text{ МПа.} \quad (1.2)$$

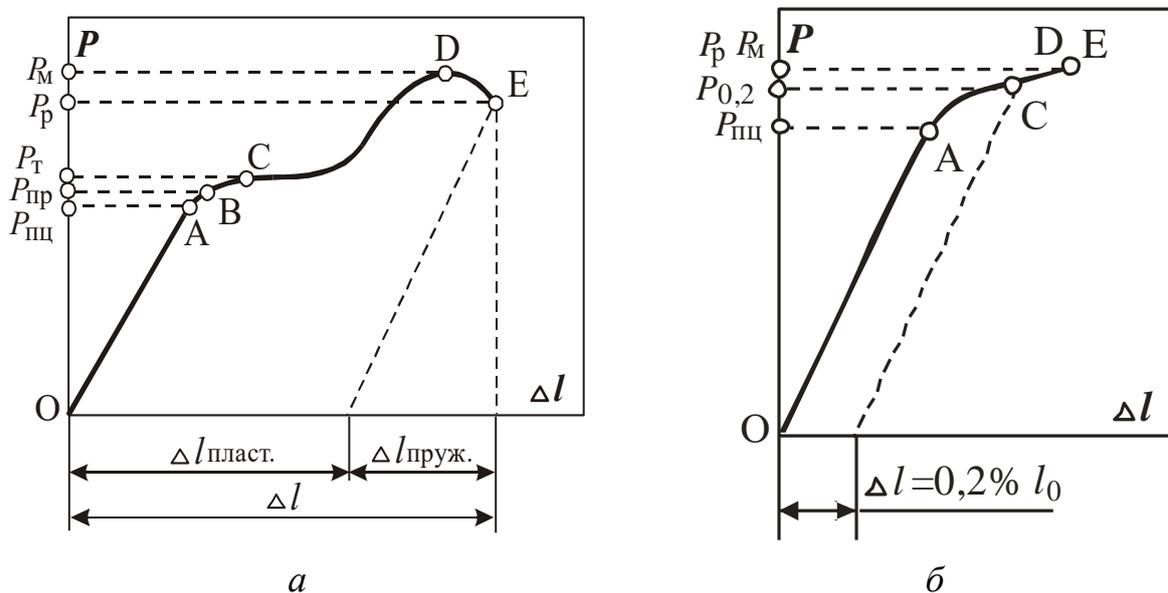


Рис. 1.5. Діаграма розтягу зразків із пластичного (а) та крихкого (б) матеріалів

При навантаженнях, вищих за P_{mi} , порушується пропорційність між навантаженням і деформацією зразка, але зразок продовжує деформуватися пружно, тобто при знятті навантаження він набуває початкових розмірів. Точка

B на діаграмі відповідає граничному зусиллю пружності P_{np} , за якого залишкове видовження зразка досягає 0,05% від початкової розрахункової довжини l_0 .

Межа пружності визначається за формулою

$$\sigma_{np} = P_{np}/F_0, \text{ МПа.} \quad (1.3)$$

При виконанні роботи експериментально визначити положення точки B складно, тому розрахунок межі пружності в лабораторну роботу не включено.

При подальшому збільшенні навантаження криволінійна ділянка BC для більшості пластичних матеріалів переходить в горизонтальну, тобто метал деформується за постійного навантаження P_m .

Фізична межа текучості визначається за формулою

$$\sigma_m = P_m/F_0, \text{ МПа.} \quad (1.4)$$

Для багатьох конструкційних матеріалів (крихкі матеріали) ділянка текучості на діаграмі розтягу відсутня (рис. 1.5, б). В цьому випадку визначають **умовну межу текучості**, тобто таке напруження, при якому відносне видовження зразка складає 0,2% від l_0 .

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2}/F_0, \text{ МПа.} \quad (1.5)$$

Найвища точка на діаграмі розтягу (т. D) відповідає межі міцності матеріалу. Для крихких матеріалів т. D і E співпадають.

Межу міцності (тимчасовий опір) визначають за формулою

$$\sigma_m = P_m/F_0, \text{ МПа.} \quad (1.6)$$

Після точки D в пластичних металах утворюється місцеве звуження поперечного перерізу («шийка»), що спричиняє зменшення навантаження на ділянці DE . Однак дійсні напруження S (навантаження віднесені до миттєвої площі поперечного перерізу) збільшуються.

Після руйнування зразка визначають дійсне напруження руйнування

$$S_k = P_p/F_k, \text{ МПа,} \quad (1.7)$$

де P_p – зусилля в момент руйнування зразка (кінцеве зусилля), F_k – площа поперечного перерізу зразка в місці руйнування (визначається на зруйнованому зразку, кінцева площа).

Після руйнування зразків визначають **показники пластичності** досліджуваного матеріалу:

– відносне видовження (%)

$$\delta = (l_k - l_0) 100 \% / l_0; \quad (1.8)$$

– відносне звуження (%)

$$\psi = (F_0 - F_k) 100 \% / F_0, \quad (1.9)$$

де l_k , F_k – відповідно довжина і площа поперечного перерізу зразка після руйнування (кінцеві значення).

За діаграмою розтягу можна оцінити жорсткість досліджуваного матеріалу. Тангенс кута нахилу прямої OA до осі абсцис характеризує **жорсткість** матеріалу і називається **модулем пружності I-го роду** або модулем Юнга E . Чисельно Модуль Юнга визначають за залежністю

$$E = \sigma_{mf} / \delta, \text{ МПа.} \quad (1.10)$$

Модуль пружності є однією з фізичних констант матеріалу. Він практично не чутливий до структури і залежить лише від сил міжатомного зв'язку.

Обладнання, інструменти та матеріали

- сервогідравлічна випробувальна машина з керуючим комп'ютером;
- тензометричний давач для вимірювання поздовжньої деформації робочої частини зразка;
- штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 з точністю вимірювання 0,05 мм та верхньою межею вимірювання 250 мм;
- зразки для випробування.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію і принцип роботи випробувальної машини.
2. Розмітити базову довжину та виконати обмірювання зразка перед початком експерименту. Встановити зразок у захватах випробувальної машини, прикріпити тензометричний давач.
3. Прослідкувати за ходом експерименту та записом його результатів в пам'ять ПЕОМ (навантажування зразка виконує викладач або науковий

співробітник кафедри). Роздрукувати діаграму розтягу з пам'яті ПЕОМ за результатами експерименту з вказівкою масштабу вздовж координатних осей.

4. З бази раніше досліджених матеріалів вибрати діаграму розтягу згідно з індивідуальним завданням за своїм варіантом.

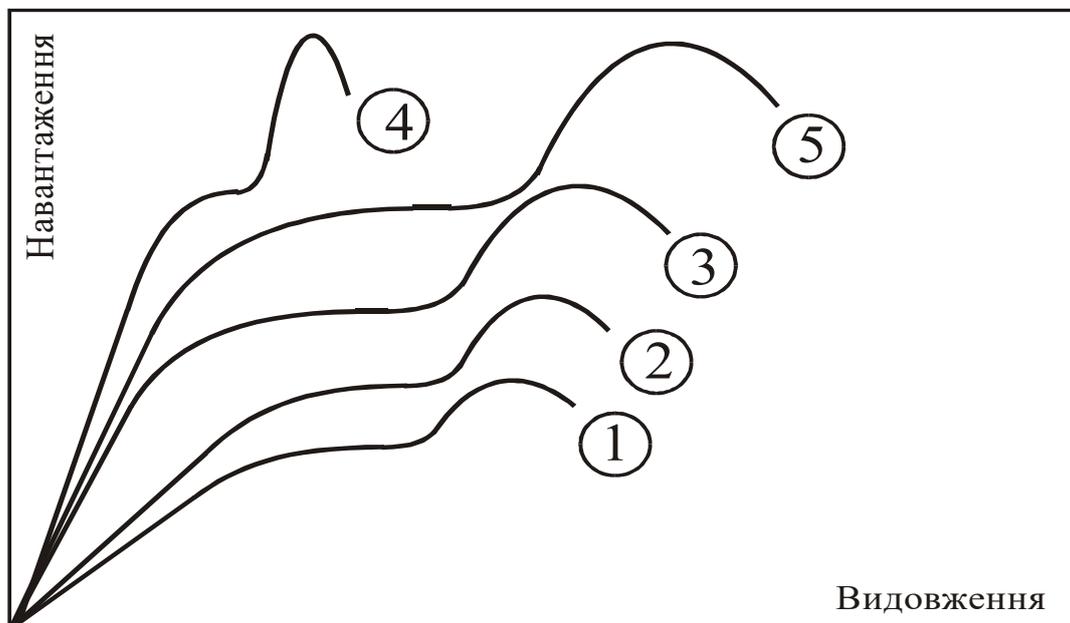
Індивідуальне завдання

(варіант для розрахунку В за номером студента в списку групи)

Масштаб за навантаженням M_p , Н/мм	d_k , мм	Діаграма розтягу				
		1	2	3	4	5
170	4,7	B1	B2	B3	B4	B5
200	4,6	B6	B7	B8	B9	B10
230	4,5	B11	B12	B13	B14	B15
260	4,4	B16	B17	B18	B19	B20
290	4,3	B21	B22	B23	B24	B25

Масштаб за видовженням $M_l = 0,15$ мм/мм для всіх варіантів

Діаграма розтягу (за варіантом)



Поставити характерні точки на діаграмі розтягу, які відповідають показникам міцності.

5. Використовуючи масштаби, визначити зусилля в характерних точках діаграми розтягу.

1.2. Визначення твердості матеріалів

Короткі теоретичні відомості

А) Визначення твердості матеріалів

Твердість – це властивість поверхневого шару матеріалу чинити опір пластичному деформуванню або руйнуванню при місцевій контактній дії. У техніці використовують різноманітні методи вимірювання твердості. Найпоширенішими є **методи Брінелля, Роквелла, та Віккерса**, а також вимірювання мікротвердості. Ці методи ще називають методами втискання. Крім них, використовують методи подряпинок, відбивання, ультразвуковий та ін.

Для багатьох сплавів виявлена залежність між твердістю та іншими механічними, технологічними й експлуатаційними характеристиками матеріалів (міцність, зносостійкість, пластичність, здатність оброблятися тиском, різанням тощо). Наприклад, для деяких пластичних матеріалів залежність між межею міцності та твердістю за Брінеллем записується у вигляді

$$\sigma_s = K \cdot HB, \quad (1.11)$$

де HB – твердість за Брінеллем, МПа; K – коефіцієнт пропорційності ($K=0,35$ – для сталі; $0,55$ – для міді та її сплавів у відпаленому стані; $0,4$ – для міді та її сплавів після наклепування).

Таким чином, знаючи твердість матеріалу, можна оцінити й інші його характеристики.

Суттєвою перевагою експериментальних методів визначення твердості є те, що всі вони неруйнівні, тобто для їх реалізації не потрібно виготовляти спеціальні зразки, а величина твердості визначається на поверхнях готових деталей без їх пошкодження.

Визначення твердості за Брінеллем

Умови визначення твердості за Брінеллем регламентуються державним стандартом. Схема визначення твердості показана на рис. 1.6.

У поверхню зразка за допомогою твердоміра Брінелля втискають сталю загартовану кульку (**індентор**) діаметром D , який може бути рівним 2,5; 5 або 10 мм. Діаметр кульки вибирають у зворотній залежності від очікуваної твердості (див. табл. 1.1). Внаслідок пластичної деформації поверхневих шарів зразка отримується відбиток у вигляді сферичної лунки діаметром d (див. рис. 1.6).

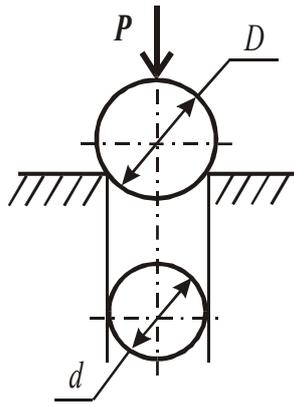


Рис. 1.6. Схема визначення твердості за Брінеллем

Число твердості за Брінеллем HV визначають як відношення величини навантаження P , яким втискали кульку, до площі поверхні отриманого сферичного відбитка (лунки), F :

$$HV = P/F = 2P/\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right). \quad (1.12)$$

Діаметр відбитка визначається за допомогою спеціальної лупи, яка має шкалу з ціною поділки 0,02 мм.

Щоб не проводити аналітичних обчислень за формулою (1.12), на практиці часто користуються стандартною таблицею, в якій наведена залежність числа твердості HV від d , D і P . Якщо використовувати міжнародну систему одиниць SI , приймаючи значення зусилля у H , площі лунки в m^2 , то значення HV отримаємо в $Па$. В такому випадку в конструкторській і технологічній документації вказують значення твердості та її розмірність, наприклад: $HV 4500 МПа$. Допускається позасистемна розмірність зусилля в $кгс$, площі в $мм^2$. Тоді отримують розмірність твердості $кгс/мм^2$. При вказуванні значення твердості таку розмірність умовно упускають, наприклад $HV 270$.

Для пластичних матеріалів, схильних до повзучості (зростання пластичної деформації під дією постійного навантаження), випробування на твердість проводять з *деякою витримкою* при постійному навантаженні. Її час зростає зі зростанням пластичності металу. Для чорних металів витримка становить 10 с, кольорових 30...60 с (табл. 1.1).

Діаметр кульки, навантаження (від 156 до 30000 H) та час витримки під навантаженням (10, 30 і 60 с) вибирають залежно від очікуваної твердості та товщини зразка (табл. 1.1).

Переваги методу Брінелля

- простота випробувань і порівняно висока точність отримуваних результатів;
- проста залежність між твердістю HV та границею міцності матеріалів;
- можливість визначення твердості сплавів, які мають неоднорідну макроструктуру, наприклад, чавуну.

Недоліки методу Брінелля

- обмежене застосування (до $HV\ 4500\ МПа$), зумовлене можливою деформацією сталюї кульки;
- неможливість випробування тонких виробів (товщиною менше 2...3 мм) та тонких поверхневих шарів (менше 1 мм);
- наявність на деталі відносно великого відбитка (діаметром до 6 мм), який залишається після випробувань, що може привести до непридатності деталі для подальшої експлуатації.

Таблиця 1.1.

Параметри випробувань при визначенні твердості за методом Брінелля

Матеріал	Інтервал твердості за Брінеллем, МПа	Мінімальна товщина зразка, мм	Діаметр кульки, D, мм	Співвідношення між P, кгс і D, мм	Навантаження P		Час витримки, с
					кгс	H	
Чорні метали	1400...1500	6...3	10	$P=30D^2$	3000	29430	10
		4.2	5		750	7357	
<2		2,5	187,5		1839		
Кольорові метали	<1400	>6	10	$P=10D^2$	1000	9810	10
		6...3	5		250	2452	
	<3	2,5	62,5	613			
	350...1300	9...6	10	$P=10D^2$	1000	9810	30
6...3		5	250		2452		
80...350	<3	>6	10	$P=2,5D^2$	250	2452	60
		6...3	5		62,5	613	
		<3	2,5		15,6	153	

Будова і принцип роботи твердоміра Брінелля

Принципова *схема твердоміра Брінелля* зображена на рис. 1.7. За допомогою поворотного штурвала 1 і гвинта 2 рухомий стіл 3 може здійснювати зворотно-поступальний рух вгору-вниз. На стіл встановлюється випробовуваний зразок 4. Поворотом штурвала стіл піднімається і зразок дотикається до індентора 5.

Навантаження для втискання індентора в досліджувану поверхню створюється за рахунок ваги гир через важільну схему із співвідношенням довжин плечей 1:50. У початковому положенні (коли зусилля до індентора ще не прикладене) вага гир 6 сприймається штоком 7, який приводиться в рух кулачком 8 від черв'ячного редуктора 9 та електродвигуна 10. Для створення нормативного навантаження (див. табл. 1.1) на твердомірі встановлюється необхідна кількість гир. Запуск двигуна 10 здійснюється кнопкою на панелі керування твердоміра. Після повороту кулачка 8 вага гир через важіль сприймається індентором, який проникає в поверхневі шари контрольованого зразка. В момент прикладання навантаження до зразка запалюється сигнальна лампочка, яка гасне при знятті навантаження. Час витримки зразка під навантаженням забезпечує реле часу.

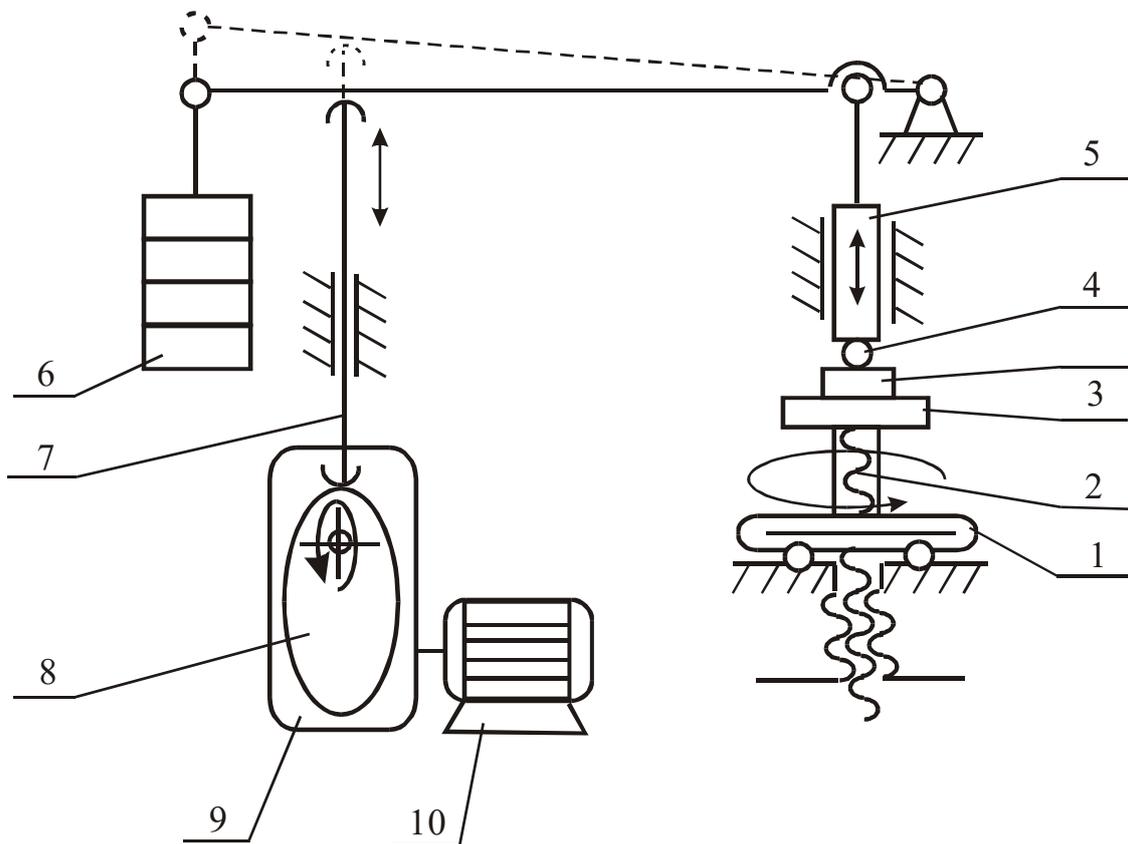


Рис. 1.7. Принципова схема твердоміра Брінелля

Сучасні твердоміри для визначення твердості за Брінеллем можуть бути *універсальними* (один прилад для визначення твердості за Брінеллем та Роквеллом). Як правило, робоче зусилля в ньому створюється також за рахунок ваги гир, однак привід силового механізму здійснюється не від електродвигуна через кулачок, а важелем від руки.

Визначення твердості за Роквеллом

Вимірювання твердості за Роквеллом регламентується державним стандартом. При вимірюванні твердості за Роквеллом *індентором* служить сталевий кулька діаметром 1,588 мм (для м'яких матеріалів) або алмазний конус з кутом при вершині 120° і радіусом заокруглення вершини 0,2 мм.

При визначенні твердості за Роквеллом до індентора прикладається спочатку попереднє навантаження $P_0=100\text{ Н}$, а потім – основне P_1 (рис. 1.8).

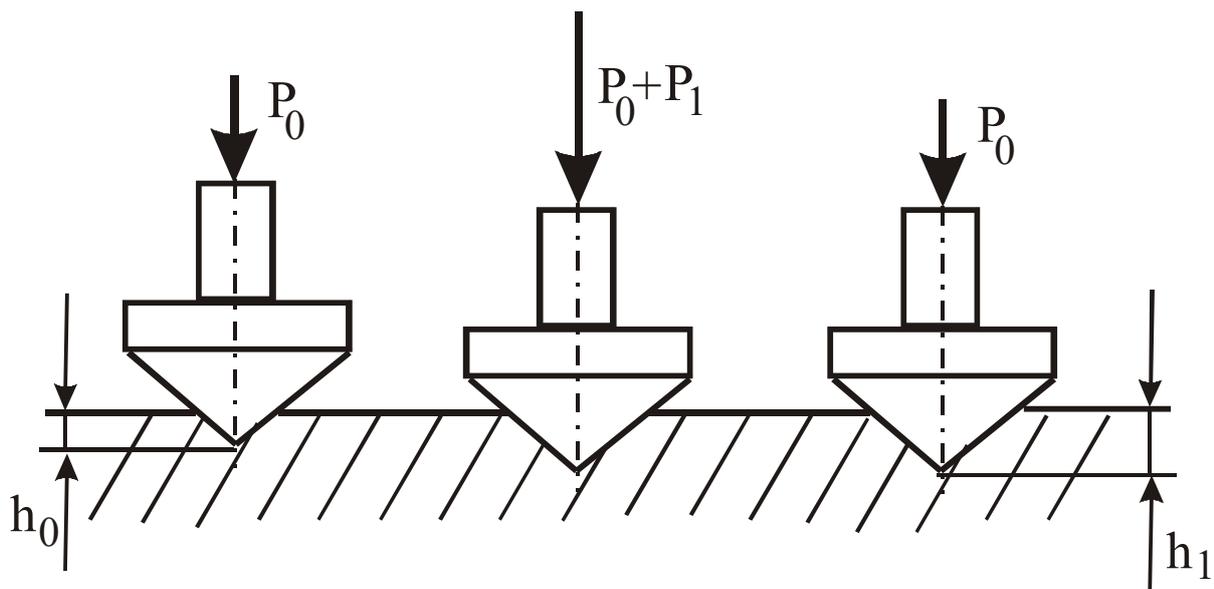


Рис. 1.8. Схема визначення твердості за Роквеллом

P_0 – попереднє навантаження величиною 100 Н;

P_1 – основне навантаження.

Таким чином, загальне навантаження на індентор рівне

$$P = P_0 + P_1 \quad (1.13)$$

і вибирається залежно від типу індентора та очікуваної твердості матеріалу (табл. 1.2). Числом твердості в цьому методі є деяка умовна величина, яку визначають безпосередньо за показами стрілки на циферблатному індикаторі твердоміра.

При використанні алмазного конуса з повним навантаженням 1500 Н або 600 Н твердість визначають за чорною шкалою (С або А) приладу. Отриману твердість позначають відповідно *HRC* або *HRA* та умовним (безрозмірним) числом твердості Роквелла, наприклад *HRC 45*.

Таблиця 1.2.

Умови визначення твердості за Роквеллом

Приблизна твердість за Віккерсом	Шкала Роквелла	Тип індентора	Навантаження, Н	Допустимі межі виміру твердості за Роквеллом
600...2400	В	Стальна кулька	1000	25...100
2400...9000	С	Алмазний конус	1500	20...67
3900...9000	А	Алмазний конус	600	70...85

При використанні стальної кульки із сумарним навантаженням 1000 Н, твердість визначається за червоною шкалою В. Конструктивно ця шкала зміщена відносно нульового положення чорної на 30 поділок.

Про твердість матеріалу роблять висновок за різницею глибин втискання індентора під дією двох послідовно прикладених навантажень P_0 і P_1 .

За одиницю твердості e прийнято величину, яка відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002 мм.

$$e = (h_1 - h_0) / 0,002, \quad (1.14)$$

де h_1 і h_0 – глибина втискання індентора при прикладанні відповідно повного ($P_0 + P_1$) та попереднього P_0 навантаження.

Стрілка приладу вказує на величину твердості за Роквеллом на вибраній шкалі.

Товщина матеріалу при визначенні твердості за Роквеллом повинна бути не менше 8-кратної глибини втискання індентора, що складає 0,5...1 мм.

Конструктивна **схема твердоміра Роквелла** подібна до твердоміра Брінелля (навантаження електромеханічне або важільне, піднімання зразка за допомогою гвинта). Відмінність полягає лише в тому, що конструкцією передбачений спеціальний відліковий прилад (**індикатор**), на якому розміщено три шкали і який безпосередньо показує величину твердості. Ціна поділки шкали 0,002 мм.

Індикатор має дві стрілки. *Велика стрілка* вказує на твердість, а *мала* служить для контролю величини попереднього навантаження (співпадання

стрілки з крапкою циферблату вказує на досягнення попереднього навантаження в 100 Н).

Нульова поділка чорної шкали співпадає з початковим положенням стрілки. Червона шкала зміщена відносно нульової поділки чорної шкали на 30 поділок у напрямку, протилежному до руху стрілки індикатора при збільшенні навантаження.

При підніманні стола після контакту зразка з індентором мала стрілка почне повертатися. Підіймання стола закінчують, коли мала стрілка співпадає з крапкою. Це відповідає величині попереднього навантаження 100 Н. При цьому велика стрілка також буде переміщатись і зупиниться приблизно у вертикальному положенні з відхиленням до 5 поділок від нуля чорної шкали. Точне встановлення великої стрілки на нуль здійснюють поворотом циферблату з допомогою тросів, які приводяться в рух гофрованим сектором.

Форму індентора вибирають за табл. 1.2.

Переваги методу Роквелла

- висока продуктивність контролю;
- можливість без будь-яких розрахунків (відразу за шкалою приладу) визначити твердість досліджуваного зразка;
- простота обслуговування;
- висока точність вимірювання в порівнянні з іншими методами;
- збереження якісної поверхні після вимірювання (мало помітні сліди від індентора);
- можливість автоматизації процесу.

Недоліки методу Роквелла:

- не можна випробовувати неоднорідні за структурою сплави, крихкі вироби з раковинами на поверхні, криволінійні поверхні при радіусі кривизни менше ніж 15 мм, зразки товщиною менше 8-кратної глибини втискування індентора.

Визначення твердості за Віккерсом

Умови контролю твердості за методом Віккерса регламентуються державним стандартом. Застосовується для визначення твердості тонких деталей з мінімальною товщиною 0,3...0,5 мм і тонких поверхневих шарів з мінімальною товщиною 0,03...0,05 мм.

Схема визначення твердості зображена на рис. 1.9.

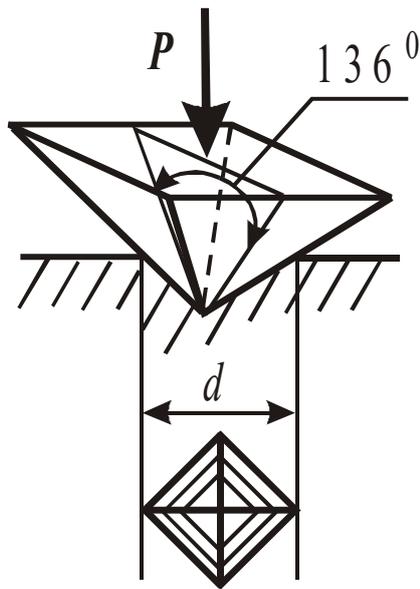


Рис. 1.9. Схема визначення твердості за Віккерсом

У поверхню зразка за допомогою твердоміра втискають *індентор* у формі алмазної чотиригранної піраміди з кутом між протилежними гранями 136° . Число твердості, як і за Брінеллем, визначають відношенням навантаження, що діє на індентор, до площі поверхні утвореного відбитка:

$$HV = P/F = 2P \sin(\alpha/2) b^2. \quad (1.15)$$

У випадку, коли сила виражена в H ,

$$HV = 0,189 P/b, \quad (1.16)$$

де b – середнє арифметичне обох діагоналей відбитка.

Як і у випадку випробування за методом Брінелля, при визначенні твердості за Віккерсом, зазвичай, користуються стандартними таблицями, які пов'язують P , b з HV .

Навантаження на індентор вибирають залежно від товщини поверхневих пластів та очікуваної твердості, воно становить 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500 і 1000 H . Це дозволяє вимірювати твердість металів в широкому діапазоні – від найм'якших до найтвердіших. Як і у випадку випробування за методом Брінелля, твердість за Віккерсом вимірюється в $кгс/мм^2$ і залишається без указування одиниці, наприклад, HV200. Дозволяється вимірювати твердість в $МПа$. В цьому випадку одиницю вимірювань *вказують*, наприклад, HV 2000 $МПа$.

Конструктивно твердомір Віккерса подібний до твердоміра Брінелля. Відмінність полягає лише в тому, що він обладнаний вимірювальним мікроскопом для визначення довжини діагоналей відбитка.

В табл. 1.3 наведено співвідношення між значеннями твердості визначеними різними методами. Еталоном порівняння взята твердість за Брінеллем.

Таблиця 1.3

Співвідношення між числами твердості, визначеними різними методами

Брінелль,	Роквелл,			Брінелль,	Роквелл,		
	HRC	HRA	HRB		HRC	HRA	HRB
183	8	56	90	235	21	61	101
197	9	57	91	241	23	62	102
192	11	57	92	246	24	62	-
197	12	58	93	255	25	63	-
201	13	58	94	262	26	63	-
207	14	59	95	269	27	64	-
212	15	59	97	277	28	64	-
217	17	60	98	285	29	65	-
223	19	60	99	293	30	65	-
229	20	61	100	302	31	66	-

Визначення мікротвердості

Цей метод застосовують для визначення твердості тонких покриттів, окремих структурних складових сплавів, а також дрібних деталей.

У поверхню зразка втискають алмазну піраміду під навантаженням 0,05...5 Н. Мікротвердість H , як і твердість за Віккерсом, визначають за формулою

$$H=0,189P/b^2, \text{ МПа}, \quad (1.17)$$

якщо P вимірювати в Н, b – в мм.

Приклад позначення мікротвердості: Н 200 або Н 2000 МПа.

Прилад для визначення мікротвердості складається з механізму для втискання індентора під невеликим навантаженням і металографічного мікроскопа для вибору місця заміру, а також вимірювання розмірів відбитка. Поворотний столик, на якому закріплюється зразок, дозволяє легко переміщувати його із зони навантаження в зону вимірювання.

Обладнання, інструменти та матеріали

1. Твердомір Брінелля – 1 шт.
2. Лупа з ціною поділки 0,02 мм – 1 шт.
3. Твердомір Роквелла
4. Зразки для визначення твердості – 3 шт.

А) Визначення твердості за Бріннелем

1. Підготувати зразки до вимірювання. Товщина зразка повинна бути не менше 10-кратної глибини втискання і ширина не менше 20 мм. Поверхня повинна бути чистою і плоскою. Зразки використовують з алюмінієвих сплавів.

2. Встановити на універсальний твердомір (Бріннель – Роквелл) індентор (сталйна кулька діаметром 5 мм) та налагодити гирі для створення нормативного навантаження на зразок $P=612,9 \text{ Н}$.

3. Встановити на столик досліджуваній зразок, обертаючи маховичок, підняти його до контакту з індентором. Піднімати зразок до моменту, коли мала стрілочка на відліковому індикаторі займе положення навпроти мітки на швалі (на шкалі є єдина мітка у вигляді крапки).

4. Важіль керування навантаженням повернути вправо (від себе) і відпустити. Внаслідок цього гирі через важільну схему створять нормоване навантаження на індентор і втиснуть його у поверхню досліджуваного зразка.

5. Після витримки зразка під навантаженням і його розвантаження опустити столик, зняти зразок, виміряти діаметр відбитка (лунки) за допомогою спеціальної лупи зі шкалою.

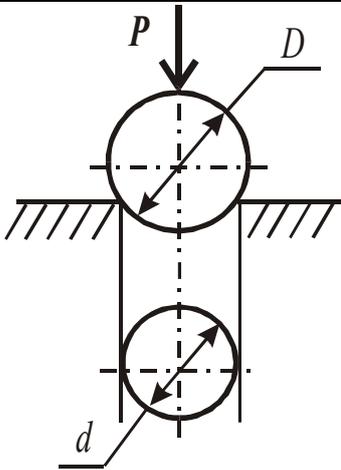
6. За величинами діаметрів лунки і кульки та робочим зусиллям розрахувати число твердості HB (див. формулу 1.12).

7. Аналогічно визначити твердість інших зразків.

8. Результати дослідів записати в протокол (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Протокол визначення твердості за Брінеллем

Схема втискання індентора	Індентор	
	Матеріал	
	Форма	
	Розмір D , мм	
	Навантаження P , Н	
	Діаметр лунки d , мм	
	Розрахунок твердості HB $HB = P/F = 2P/\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)$	

Б) Визначення твердості за Роквеллом

1. В залежності від очікуваної твердості досліджуваного зразка за табл. 1.2 вибрати форму індентора (кулька, конус) і величину навантаження.

2. Закріпити оправку з індентором у шпинделі приладу і встановити необхідні гирі для створення нормативного навантаження.

3. Підібрати опорний стіл згідно з профілем досліджуваного зразка. Для циліндричних зразків використовують стіл з V-подібними пазами, перевірити співпадання осі індентора з центром стола.

4. Встановити на столик твердоміра досліджуваний зразок і повертанням маховичка за годинниковою стрілкою піднімати його, поки мала стрілка індикатора не співпаде з червоною крапкою, а велика – з похибкою до 5 поділок з нульовою поділкою шкали «С». При більших відхиленнях великої стрілки необхідно обертанням маховика проти годинникової стрілки опустити стіл (зняти попереднє навантаження) і провести попереднє навантаження в іншому місці зразка.

5. Обертанням циферблата сумістити нульову поділку шкали С із великою стрілкою індикатора.

6. Створити основне навантаження, ввімкнувши подачу від двигуна (для твердоміра з електромеханічним приводом), чи важелем (для твердоміра з ручним приводом).

7. Після закінчення циклу навантаження провести відлік за відповідною великою шкалою індикатора. Результати записати в протокол (табл. 1.5).

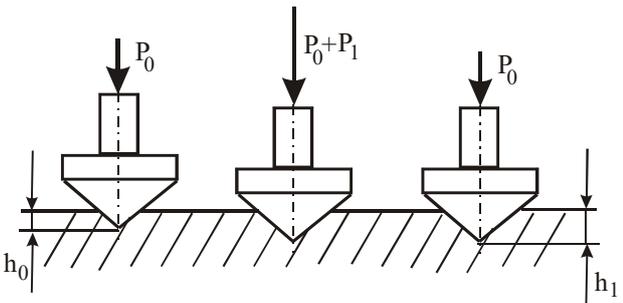
8. Обертанням маховика проти годинникової стрілки опустити стіл (зняти попереднє навантаження), зразок пересунути на 2...3 мм і повторити випробування в іншому місці зразка. На кожному зразку потрібно зробити не менше 3-х вимірювань.

9. Аналогічно визначити твердість інших зразків.

10. Результати вимірювань занести в протокол (табл. 1.5).

Таблиця 1.5.

Протокол вимірювання твердості за методом Роквелла

Схема втискання індентора	Індентор	
	Матеріал	
	Форма	
	Розмір α , град.	
	Навантаження P , Н	
	Покази індикатора HRC 1	
	HRC 2	
	HRC 3	
	Розрахунок твердості HRC (HRC1 + HRC2 + HRC3)/3	

1.3. ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Ударна в'язкість характеризує поведінку матеріалу під дією ударних (динамічних) навантажень і чисельно рівна роботі, затраченій на деформацію та руйнування зразка цими навантаженнями, приведений до одиничної площі поперечного перерізу зразка в місці руйнування ($\text{Дж}/\text{м}^2$). *Динамічними* називають навантаження, при яких зусилля прикладається з високою швидкістю (миттєво).

За допомогою динамічних випробувань визначають схильність сплавів до крихкого руйнування. Це особливо важливо для будівельних і конструкційних сталей. При випробуванні зразків з надрізом виявляються багато інших видів крихкості сталей: холодноламкість, зворотня і незворотня відпускна крихкість тощо. Всі ці види крихкості виявляють випробуванням великої кількості зразків при поступовому зниженні їх температури. Сплави, які мають достатній запас пластичності при статичному навантаженні, можуть руйнуватися крихко при динамічному навантаженні. *Схильність металів до крихкого руйнування* зростає зі збільшенням швидкості навантаження, зниженням температури, збільшенням розміру зерна, збільшенням умісту шкідливих домішок, таких як фосфор, сірка, кисень, водень та інших.

Слід ураховувати, що за умов високоміцного стану, в сталі зони в'язкої й крихкої складових не локалізовані в зламі. Вони присутні в межах одного й того ж зерна, тому не вдається виявити особливості руйнування таких зразків при візуальному огляді або при їх оптичному фотографуванні. Поріг холодноламкості сталей виявляють фрактографічними методами з використанням растрової електронної мікроскопії. За такими фрактограмами можна знайти температуру, при якій змінюється вид зламу та визначити схильність сталі до крихкого руйнування. Це дуже важливо для оцінювання конструктивної міцності сталі.

Основні *схеми навантаження* при ударних випробуваннях – це розтяг, стиск, згин та кручення. Вибір конкретної схеми навантаження для випробувань проводять згідно з умовами реальних експлуатаційних навантажень матеріалу в конструкції. Динамічні навантаження сприймають деталі штамсів, ручний слюсарний інструмент (молоток, зубило, кернер, пробійник, наковальня), молоти в ковальсько-пресовому обладнанні тощо.

Найпоширеніші ударні випробування зразків з надрізом на згин. Такі випробування регламентуються державним стандартом. Метод ґрунтується на руйнуванні зразка з концентратором посередині при одноразовому ударному навантаженні на маятниковому копрі. За результатами випробувань визначають ударну в'язкість, а також відносне звуження зразка після руйнування.

На рис. 1.10 зображена залежність навантаження, прикладеного до зразка, від часу.

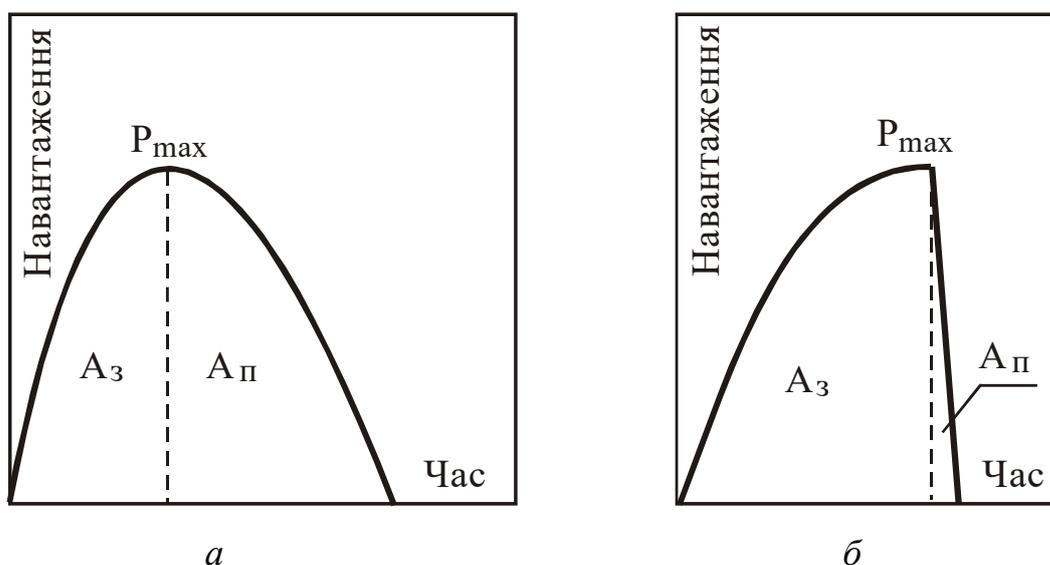


Рис. 1.10. Схематичне зображення діаграми руйнування

Всю площу під кривою можна розділити на дві частини. Ліва частина відповідає роботі $A_з$, яка витрачена на зародження тріщини, права – роботі $A_н$, яка витрачена на поширення тріщини. Якщо ці роботи співрозмірні, то руйнування називають *в'язким* (рис. 1.10, а). Якщо в точці P_{max} спостерігають зрив кривої $P - t$, тобто площа правіше P_{max} прямує до нуля (рис. 1.10, б), то руйнування називають *крихким*.

Повна робота при дії ударних навантажень

$$A = A_з + A_н. \quad (1.18)$$

Ударну в'язкість визначають відношенням роботи руйнування A до площі поперечного перерізу зразка в місці руйнування (надрізу).

Прилад для експериментального визначення ударної в'язкості називається *копер*. Копри бувають маятникові, з падаючим вантажем, ротаційні, пневматичні тощо. Найпоширенішим є *маятниковий копер*, в якому швидкість руху маятника не перевищує 5...10 м/с. Для реалізації випробувань при вищих швидкостях застосовують ротаційні, пневматичні копери та копери вибухової дії. В практиці випробувань частіше використовують маятникові копери моделей МК-15 та МК-30, які дають можливість виконувати випробування зразків при зосередженому згині за різного запасу енергії. Для випробувань великих зразків застосовують копери із запасом енергії 7500...2500 Дж, для випробувань неметалевих матеріалів – копери з максимальним запасом енергії 10 Дж.

Згідно зі стандартизованою методикою випробувань ударної в'язкості на згин використовують призматичні зразки розмірами 10x10x55 мм із концентраторами трьох типів (рис. 1.11): V-подібним із радіусом заокруглення 0,25 мм і кутом 45°; U-подібним із радіусом заокруглення 1 мм; концентратором у вигляді втомної тріщини. Відповідно ударну в'язкість позначають KCV , KCU , KCT .

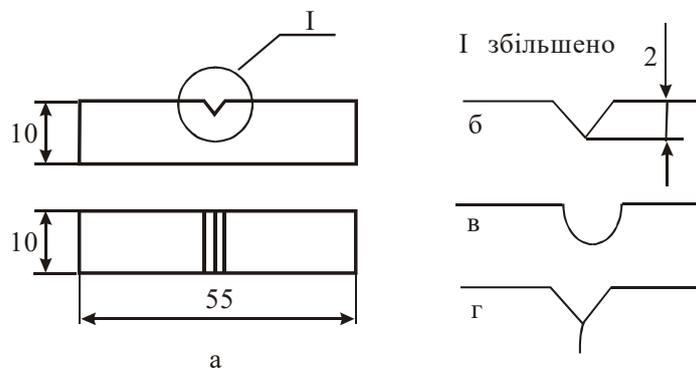


Рис. 1.11. Форма і розміри зразків для випробування на ударний згин (а) з V-подібним концентратором (б), U-подібним концентратором (в) і концентратором, який закінчується тріщиною (г)

Схема маятнікового копра, який використовують у роботі, зображено на рис. 1.12.

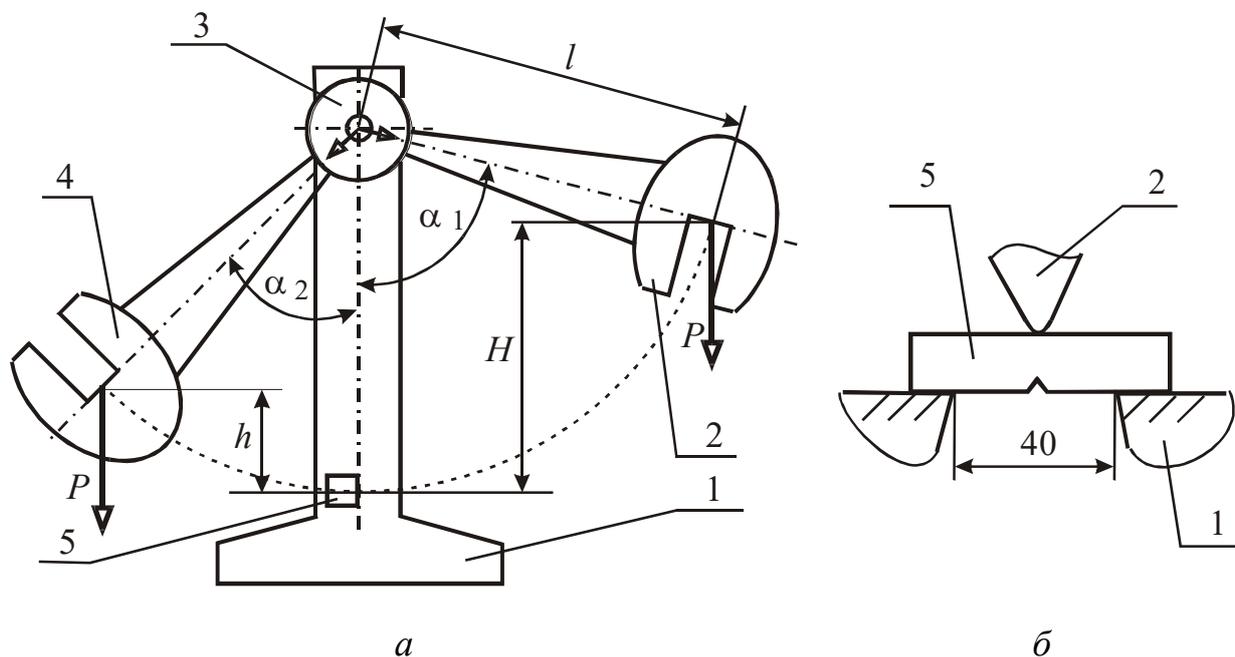


Рис. 1.12. Маятніковий копер (а) та схема випробування матеріалу на ударну в'язкість (б): 1 – станина; 2 – положення молота до удару; 3 – відлікова шкала зі стрілками; 4 – положення молота після удару; 5 – зразок

Потенціальна енергія маятника масою m у верхньому положенні (до удару, позиція 2 на рис. 1.12, а) визначають за формулою

$$E_1 = PH = mgH, \quad (1.19)$$

де H – висота центра мас молота 2 над віссю зразка 5 перед ударом, m ; t – маса молота, $кг$; P – вага молота, H .

Падаючи, маятник руйнує зразок, витрачаючи при цьому частину енергії E_1 , і піднімається на висоту h за рахунок залишку (не витраченої) енергії E_2 .

При цьому очевидно, що залишкова енергія маятника після удару (позиція 4 на рис. 1.12, а)

$$E_2 = Ph = mgh, \quad (1.20)$$

Робота руйнування визначається як витрачена енергія за формулою

$$A = E_1 - E_2 = PH - Ph = mg(H - h) \quad (1.21)$$

Конструктивно маятниковий копер обладнаний шкалою 3, на якій стрілки вказують кути відхилення маятника: початковий α_1 та кінцевий α_2 . Тому в розрахунках зручніше користуватися не значеннями висот до та після удару, а відповідних кутів. Після простих тригонометричних перетворень із формули (1.21) отримаємо:

$$A = mgl(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1), \quad (1.22)$$

де l – довжина маятника від осі обертання до центра мас молота, м;
 α_1, α_2 – кути підймання маятника відповідно до і після удару (руйнування зразка).

Величина $mgl = Pl$ є постійною величиною для маятникового копра.

При проведенні випробувань маятник піднімають на кут α_1 , а після руйнування зразка фіксують кут α_2 . Знаючи постійну маятника Pl і кути α_1 та α_2 , за таблицями або обчисленням (формула 1.22) знаходять роботу руйнування.

Ударну в'язкість визначають за формулою:

$$KC = A/F, \quad (1.23)$$

де F – площа поперечного перерізу зразка в місці надрізу (рис. 1.13).

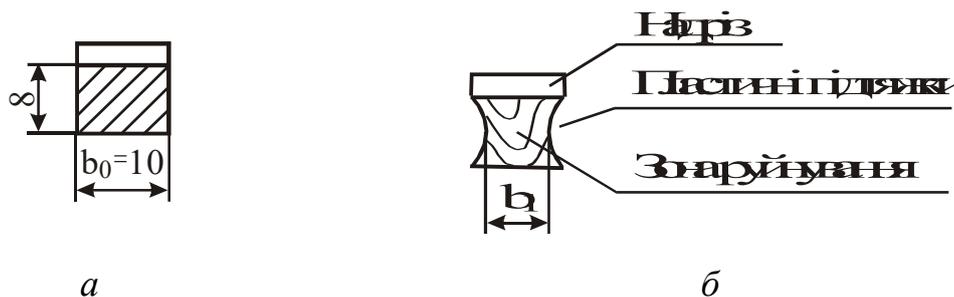


Рис. 1.13. Поперечний переріз зразка до (а) та після (б) руйнування

За результатами ударних випробувань визначають також **відносне звуження** зразка після руйнування

$$\psi = (b_0 - b_1)100\% / b_0, \quad (1.24)$$

де b_0 і b_1 – відповідно ширина зразка до і після випробувань.

Варто зауважити, що матеріали, особливо високоміцні, які не проявляють крихкості при відносно м'яких умовах навантаження, стають крихкими при дії таких чинників, як наявність тріщин або надрізів, дво- чи тривісного напруженого стану, зниження температури, радіаційного середовища, тиску тощо.

Величина ударної в'язкості при ударному згині зразка з тріщиною недостатньо характеризує схильність конструкційних матеріалів до крихкого руйнування. Це зумовлено тим, що КСТ є характеристикою опору руйнуванню конкретного зразка при заданих навантаженнях у лабораторних умовах. Крім того, ударна в'язкість є інтегральною характеристикою, яка враховує енергію зародження та енергію поширення тріщини, тоді як у реальному анізотропному металі завжди є готові тріщини, для зародження яких не потрібно затрат енергії. Тому експериментально визначені характеристики ударної в'язкості можуть бути використані лише в якості порівняльних для різних матеріалів, а не розрахункових характеристик, які б гарантували безпеку від руйнування під дією динамічних навантажень.

В) Визначення ударної в'язкості матеріалів

1. Ознайомитися з конструкцією маятникового копра та правилами техніки безпеки при визначенні ударної в'язкості.

2. Встановити зразок на опорах копра.

3. Перевірити, чи виставлені обидві стрілки шкали у вихідне положення (стрілка для α_1 та для α_2). При необхідності повернути їх до нульової позначки.

4. Відвести маятник на кут α_1 близько 120 градусів. Натиснувши на важіль, запустити копер.

5. Після руйнування зразка й зупинки маятника, визначити кут α_2 за відхиленням відповідної стрілки (рис. 1.12, а).

6. Аналогічно провести випробування інших зразків.

7. Визначити ударну в'язкість кожного зразка за поданими вище залежностями 1.22 та 1.23.

8. Обміряти ширину кожного зруйнованого зразка й визначити відносне звуження за залежністю 1.24.

9. Виконати розрахунки ударної в'язкості досліджених зразків згідно з індивідуальним завданням (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

Індивідуальне завдання

(варіант для розрахунку В за номером студента в списку групи)

Характеристика маятникового копра та зразка	Кут піднімання маятника					
	Після удару, α_2 , град	До удару, α_1 , град.				
		130	125	120	115	110
Довжина маятника $l = 1\text{ м}$	45	B1	B2	B3	B4	B5
Маса молота $m = 30\text{ кг}$	50	B6	B7	B8	B9	B10
Зразок призматичний	55	B11	B12	B13	B14	B15
Розміри 10x10x55 мм	60	B16	B17	B18	B19	B20
Надріз V-подібний, 2 мм	65	B21	B22	B23	B24	B25

10. Результати дослідів записати в протокол (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Протокол визначення ударної в'язкості матеріалів

Марка сталі	№ зразка	Розміри зразка				$\alpha_1, ^\circ$ град.	$\alpha_2, ^\circ$ град.	A, Дж	KCV, Дж/м ²	Ψ , %
		b_0 , мм	b_1 , мм	a , мм	F , мм ²					
	1									

Зміст звіту

1. Тема роботи.
2. Діаграма розтягу.
3. Ескізи зразків до і після руйнування з вказівкою розмірів.
4. Розрахункові формули й розрахунки характеристик механічних властивостей.
5. Результати досліджень і розрахунків:
 - протокол визначення ударної в'язкості матеріалів (табл. 1.7).

Примітка: Для перевірки правильності отриманих результатів в звіті повинні бути виконані всі розрахунки, а не лише вказані кінцеві значення показників в протоколах.

6. Висновок за результатами роботи.

Контрольні запитання

1. Що називають міцністю матеріалу, якими показниками вона характеризується та за якими залежностями їх можна визначити?
2. Що називають деформацією, які види деформації розрізняють?
3. Що розуміють під пластичністю матеріалу, якими показниками вона характеризується та за якими залежностями їх можна визначити?
4. Що таке діаграма розтягу та як її експериментально отримати?
5. Як визначають фізичну та умовну межу текучості? Для яких матеріалів вони характерні?
6. Яке випробувальне устаткування використовується при визначенні характеристик міцності та пластичності? Які можливості цього устаткування?
7. Як експериментально визначити модуль Юнга та як його величина впливає на властивості матеріалів?
8. Як за експериментально отриманою діаграмою розтягу визначити пластичним чи крихким є матеріал зразка?
9. Поясніть причину загину вниз діаграми розтягу пластичного матеріалу на ділянці від межі міцності до руйнування зразка.
10. Які чинники впливають на міцність та пластичність металів та сплавів?
11. Що розуміють під поняттям «твердість матеріалу»?
12. Назвіть основні методи вимірювання твердості. В яких випадках доцільно використовувати той чи інший метод?

13. Суть методу Брінелля. Які переваги і недоліки даного методу порівняно з іншими?
14. Суть методу Роквелла. Які переваги і недоліки даного методу порівняно з іншими?
15. Суть методу Віккерса. Які переваги і недоліки даного методу порівняно з іншими?
16. Які індентори і величини навантажень використовують при вимірюванні твердості за методом Роквелла?
17. В яких випадках при вимірюванні твердості за Роквеллом використовують кульку, а в яких – алмазний конус, і як вибирають величину навантаження?
18. В яких одиницях вимірюється твердість за Брінеллем, Роквеллом та Віккерсом?
19. Як вибирають параметри випробувань (діаметр кульки, величина навантаження, час витримки під навантаженням) при визначенні твердості за Брінеллем?
20. Як вибирають параметри випробувань при визначенні твердості за Роквеллом?
21. Який фізичний зміст ударної в'язкості?
22. На яких зразках визначають ударну в'язкість?
23. Які типи копрів використовують для експериментального визначення ударної в'язкості?
24. Які схеми навантаження використовують при випробуваннях на удар?
25. За якою формулою визначають роботу руйнування зразка?
26. За якою формулою визначають ударну в'язкість?
27. За якою формулою визначають відносне звуження зразка при ударному навантаженні?
28. Як впливає температура і швидкість навантаження на ударну в'язкість?
29. Як впливає вуглець та домішки (фосфор, сірка, водень, кисень) на ударну в'язкість сталі?
30. Чим відрізняється діаграма руйнування $P=f(t)$ при крихкому та в'язкому руйнуванні?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ТЕХНОЛОГІЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи

Ознайомитися з технологічними можливостями різних методів механічної обробки матеріалів, режимами їх виконання, перевагами та недоліками, верстатами, інструментами та пристосуваннями для їх реалізації.

2.1. ТЕХНОЛОГІЯ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ ТА ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Короткі теоретичні відомості

Листове штампування і поверхнєве пластичне деформування належать до обробки матеріалів тиском. Фізичною основою цих методів є пластичність матеріалу заготовки. Обидва технологічні методи мають багато спільних моментів, однак і суттєво відрізняються між собою.

А) Листове штампування

Листовим штампуванням називається технологічний процес обробки тиском листових заготовок шляхом повного чи часткового їх розділення або зміни просторової форми.

Листове штампування в машинобудівному виробництві посідає важливе місце поряд з іншими методами обробки матеріалів тиском (ОМТ) (об'ємним штампуванням, вальцюванням, пресуванням, волочінням та куванням). Листовому штампуванню *характерна* висока продуктивність, значний коефіцієнт використання матеріалу, можливість порівняно просто механізувати та автоматизувати виробничий процес й отримувати високу якість штампованих деталей незалежно від рівня кваліфікації робітника-штампувальника. Однак для здійснення методу необхідне складне й дороге технологічне устаткування: силовий агрегат – *прес* і спеціальний інструмент – *штамп*. Ці чинники роблять доцільним використання штампування в умовах масового виробництва й обмеженим при малій програмі випуску деталей.

Заготовкою при листовому штампуванні може бути вальцьований лист, смуга або стрічка, скручена в рулон. Товщина заготовки при холодному штампуванні звичайно не більше 10 мм і лише в окремих випадках – понад 20 мм. Як правило, деталі із заготовки товщиною понад 20 мм штампують із нагріванням до кувальних температур (гаряче листове штампування). Це забезпечує значно менші зусилля при деформуванні в порівнянні з холодним штампуванням. Однак холодне листове штампування отримало більше поширення, ніж гаряче.

Здатність матеріалу пластично деформуватися в умовах листового штампування визначають спеціальними випробуваннями. **Найпоширенішими випробуваннями** листового матеріалу є випробування на розтяг (визначення границі міцності, границі текучості, відносного видовження до появи шийки, відносного зменшення площі поперечного перерізу й ступеня анізотропії), на втискання (визначення глибини лунки, витиснутої округленим пуансоном) тощо.

Найпоширенішими матеріалами для листового штампування є низьковуглецеві сталі, пластичні леговані сталі, мідь, латунь з умістом міді понад 60%, алюміній і його сплави, магнієві сплави, титан та ін.

Усі прості операції листового штампування поділяються на **роздільні й формозмінні**. При роздільних операціях проходить розділення заготовок по *замкнутому контуру* (вирубання, пробивання, вирізування) або *розімкнутому контуру* (підрізка, відрізка). Для цього в зоні деформування створюється певний напружено-деформівний стан, який спричиняє деформацію зрізання. Для забезпечення високої якості поверхні зрізу і створення задовільних умов роботи інструменту та обладнання необхідно правильно вибрати геометрію робочих частин штампа й, особливо, зазор між його основними робочими елементами – **пуансоном** і **матрицею**. Найвища якість поверхні зрізу і найменше зусилля деформування отримують при зазорі, що становить 0,05...0,1 від товщини заготовки.

Формозмінні операції листового штампування (рис 2.1) *а* – згинання; *б* – витягування без потоншення стінок; *в* – згинання з потоншенням стінок; *г* – відбуртовування; *д* – обтискання характеризують складнішим і різним по перерізу виробу напружено-деформівним станом.

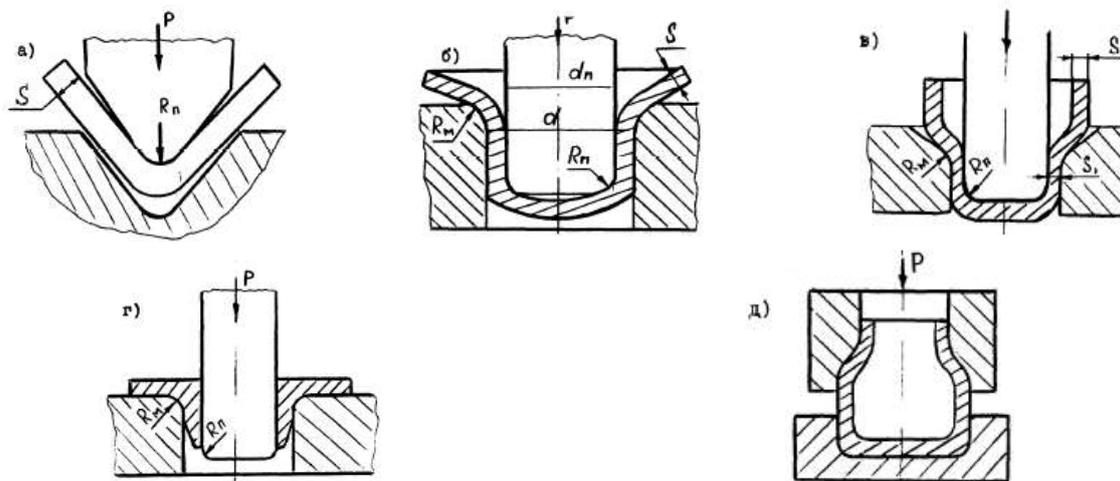


Рис. 2.1. Операції листового формозмінного штампування:
а – згинання; *б* – витягування без потоншення стінок; *в* – згинання з потоншенням стінок; *г* – відбуртовування; *д* – обтискання

Існування розтягуючих напружень у схемі напруженого стану призводить до місцевих змін товщини заготовки. Одночасне зміцнення металу внаслідок пластичної деформації призводить до зниження його пластичності й можливого руйнування. Ці обставини обмежують ступінь формозміни заготовки і при необхідності подальшого деформування потребують використання спеціальних заходів до підвищення пластичності металу і попередження його руйнування (використання мастил, зміна геометрії й шорсткості робочих поверхонь інструменту, підігрівання заготовок, проміжний відпал тощо).

При *згинанні* формозміна обмежується мінімальним радіусом інструменту r_{min} у зоні гнуття. Залежно від пластичних властивостей металу його приймають рівним 0,1...2 від товщини листової заготовки.

При *витягуванні* ступінь формозміни оцінюється коефіцієнтом витягування $K_e=d/D$, де d – діаметр витягнутого виробу; D – діаметр вихідної заготовки. Залежно від механічних властивостей металу й умов деформування допустимі значення коефіцієнта витягування становлять 0,47...0,6.

При *відбуртовуванні* коефіцієнт відбуртовування $K_o=D_n/d_o$, де d_o – діаметр отвора заготовки; D_n – діаметр отвора бурта. Максимально допустимий коефіцієнт відбуртовування, що забезпечує формозміну без руйнування, 1,2...1,8.

Обробку заготовок листовим штампуванням здійснюють спеціальними інструментами – *штампами*, які призначені для одночасного виконання однієї (прості штампи) або кількох (комбіновані штампи) операцій. Залежно від виконуваних операцій прості штампи поділяють на штампи формозмінної (рис. 2.2) та роздільної (рис. 2.3) дії.

Штамп для листового штампування – відносно складний інструмент і складається з багатьох деталей (рис. 2.2). Базовими деталями штампа є дві плити (верхня 5 та нижня 9), на яких закріплюють робочі елементи – матрицю 4 та пуансон 12. Співвісність переміщення пуансона 12 відносно матриці 4 забезпечується точністю переміщення повзуна преса, направляючими втулками 1 та колонками 8, запресованими відповідно у верхню і нижню плити штампа. Для здійснення зворотно-поступального переміщення пуансона відносно матриці нижня частина штампа кріпиться нерухомо до стола преса, а верхня – до його повзуна за допомогою хвостовика 2 або спеціальних прихватів.

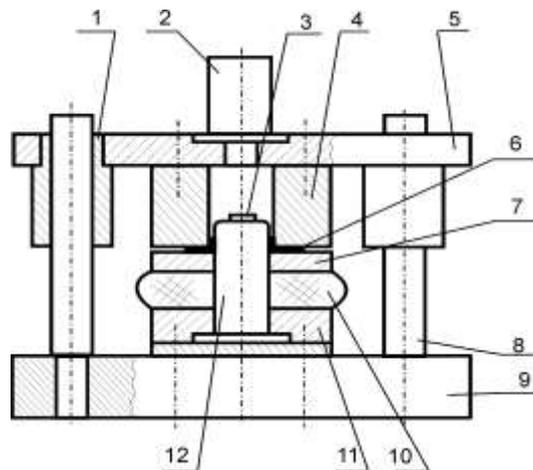


Рис. 2.2. Конструкція штампа для відбуртовування отворів: 1 – направляюча втулка; 2 – хвостовик; 3 – фіксатор; 4 – матриця; 5 – плита верхня; 6 – заготовка; 7 – кільце притискне; 8 – колонка; 9 – плита нижня; 10 – гумовий демпфер; 11 – пуансонотримач; 12 – пуансон

Функціональне призначення конструктивних елементів штампа роздільної дії (рис. 2.3) аналогічне вищеприведеному описові штампа формозмінної дії. Додатково введені знімач 8 та направляюча лінійка 9 відповідно для утримування заготовки при виході пуансона з утвореного отвору та орієнтації заготовки (смуги) відносно матриці та пуансона.

У дрібносерійному виробництві часто використовують *універсальні переналагоджувальні штампи* із змінними пуансонами і матрицями. Змінюючи їх налагодження, можна виготовляти різні деталі. Однак, це знижує точність обробки і зменшує ресурс роботи штампа.

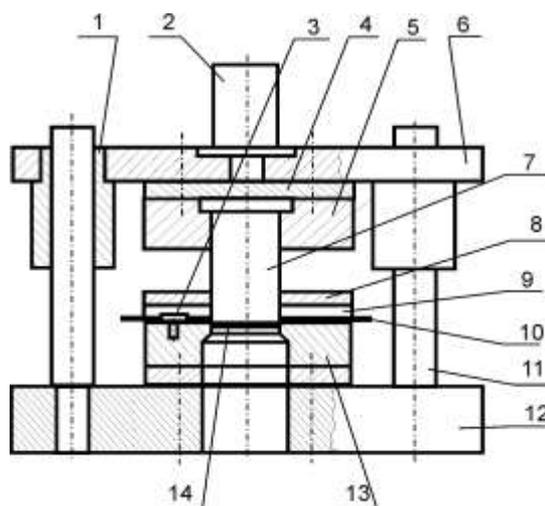


Рис. 2.3. Конструкція штампа для пробивання отворів: 1 – направляюча втулка; 2 – хвостовик; 3 – фіксатор; 4 – плита підкладна; 5 – пуансонотримач; 6 – плита верхня; 7 – пуансон; 8 – знімач; 9 – направляюча лінійка; 10 – заготовка; 11 – колонка; 12 – плита нижня; 13 – матриця; 14 – виштамповка

В якості силових агрегатів при штампуванні використовують *преси* з гідравлічним, пневматичним, гвинтовим, кривошипно-інерційним та іншими приводами повзуна.

Для виконання лабораторної роботи використовується кривошипно-інерційний прес, конструктивна схема якого зображена на рис. 2.4.

Такий прес забезпечує перетворення високошвидкісного безперервного обертового руху вала електродвигуна 1 у дискретний зворотно-поступальний рух повзуна 9 зі створенням при цьому значних зусиль. Здійснюється це за рахунок використання накопиченої кінетичної енергії, отриманої при обертанні масивного диска (маховика) 5. Привід обертання забезпечується клиноремінною передачею 2. Перетворення обертового руху маховика в зворотно-поступальний рух повзуна реалізується за класичною схемою: кривошип 7, шатун 8 та повзун 9. Увімкнення переміщення повзуна в необхідний момент часу (після встановлення заготовки в штамп) проводить робітник-штампувальник, натискаючи ногою на педаль 11. Рух педалі 11 переміщує тягу 4 приводу зчпної муфти 6. Муфта передає обертання від маховика 5 до кривошипа 7, обертає кривошип 7 на 1 оберт (360°) і автоматично вимикає зчеплення кінематичного ланцюга між шківом 5 та кривошипом 7. Отже, маховик 5 обертається безперервно, а повзун 9 – дискретно на 1 подвійний хід (від крайнього верхнього положення до крайнього нижнього положення і знову в крайнє верхнє положення) після натискання на педаль 11. Всі згадані конструктивні елементи змонтовані на масивній станині 3.

На ній закріплений стіл 10 із Т-подібними пазами для встановлення штампів.

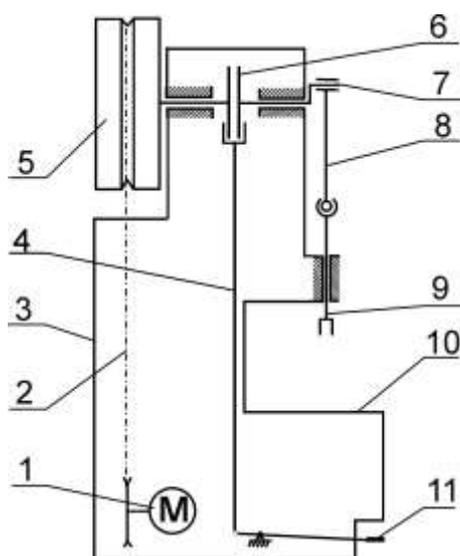


Рис. 2.4. Конструктивна схема кривошипного преса: 1 – електродвигун;

2 – клиновий ремінь; 3 – станина; 4 – тяга приводу муфти; 5 – маховик-шків; 6 – муфта; 7 – кривошип; 8 – шатун; 9 – повзун; 10 – стіл; 11 – педаль приводу муфти

Враховуючи надзвичайно великі зусилля в зоні штампування і високі швидкості переміщення рухомих частин штампувального устаткування, ставляться високі вимоги до *техніки безпеки* при роботі на штампувальному обладнанні. Серед них дворуке ввімкнення робочого руху штампа, захисні щити і екрани навколо робочої зони, спеціальні затискачі і пінцети для введення і виведення поштучних заготовок у зону обробки, шумоізолюючі навушники для обслуговуючого персоналу та ін. Однак найбільший ефект у плані безпечних умов праці дає автоматизація штампувального процесу. Як правило, це здійснюють шляхом автоматичної подачі заготовки у вигляді стрічки з рулону або поштучне встановлення заготовок програмованим маніпулятором. У такому разі прес працює повністю в автоматичному режимі й обслуговується одним налагоджувальником на 10...15 одиниць обладнання (штампувальна дільниця).

Б) Поверхнєве пластичне деформування

Обробка поверхневим пластичним деформуванням *призначена* для:

- надання заготовці необхідної форми і розмірів (замість в багато разів трудомісткішої й матеріалоемкішої обробки шляхом зняття стружки);
- зміцнення поверхневого шару оброблених деталей без суттєвої зміни розмірів із покращенням їх експлуатаційних властивостей.

При деяких методах зміцнюючої обробки можна досягнути підвищення точності й зменшення шорсткості поверхонь та замінити ними інші методи кінцевої обробки (шліфування, хонінгування й ін.). Обробка поверхневим пластичним деформуванням забезпечує покращення експлуатаційних характеристик: збільшення втомної міцності, стійкості проти зношування, зменшення впливу надрізів й інших концентраторів напружень на міцність деталей.

Використовують багато різноманітних методів обробки поверхневим пластичним деформуванням, які можна розділити на дві групи: *формозмінні* і *зміцнюючо-калібруючі*. З першої групи методів у промисловості широко використовують накатування різьб і зубів шестерень. З другої групи методів найбільш поширені обкочування зовнішніх і розкочування внутрішніх поверхонь, калібрування отворів, дробоструменеве оброблення.

При *накочуванні різьби* її профіль утворюється не вирізанням (зняттям шару матеріалу), а витисканням витків завдяки вмінанню в обертову заготовку профілю інструменту. Принцип утворення різьби накочуванням полягає в тому, що заготовка прокочується між двома плоскими різьбовими плашками (рис. 2.5, а) або між круглими обертовими плашками (роликами) (рис. 2.5, б).

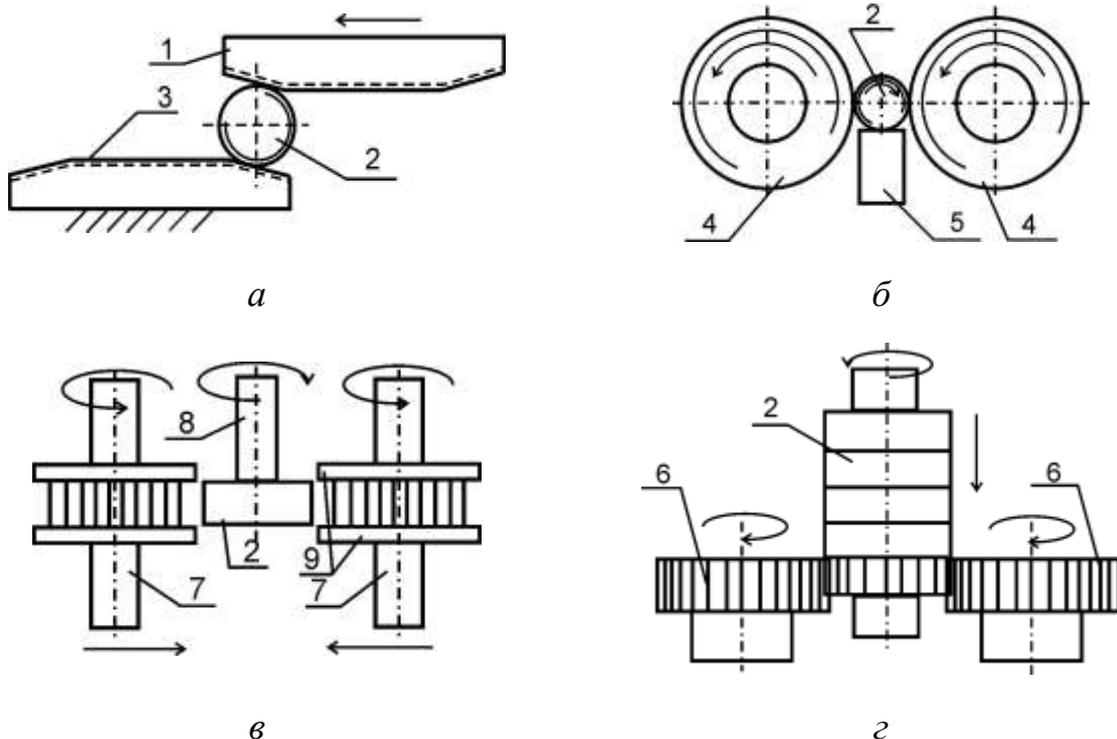


Рис. 2.5. Схеми формозмінних методів обробки

При накочуванні різьби плоскими плашками одна з них 3 нерухома, а друга 1 рухається зворотно-поступально. На робочих поверхнях плашок нанесена розгортка гвинтової поверхні накочуваної різьби на площині. Різьба на одній плашці зміщена на 0,5 кроку відносно другої. Заготовка 2 розміщується між плашками і рухома плашка заставляє її прокочуватись між ними. При цьому на заготовці витискається різьбовий профіль. Після досягнення рухомою плашкою крайнього положення оброблена заготовка скочується в тару і цикл обробки повторюється з новою заготовкою.

У випадку накочування різьби роликami 4 (рис. 2.5, б) заготовка 2 розміщується на спеціальній підтримці 5 між роликami, які зміщені один відносно одного вздовж осі на половину кроку різьби. Накочування різьби здійснюється на спеціальних різьбонакочувальних верстатах.

Отримання різьби накочуванням має такі *переваги*:

- продуктивність в 15...20 разів збільшується в порівнянні з нарізанням;
- внаслідок відсутності перерізання волокон металу при накочуванні і завдяки наклепуванню при пластичному деформуванні підвищується міцність різьбових деталей;
- поверхня накоченої різьби гладка й чиста без задирів і виривів, які часто утворюються при нарізанні різьби;

– забезпечується значна економія металу (при нарізанні різьби діаметр заготовки дещо більший за зовнішній діаметр різьби, а при накочуванні - приблизно рівний середньому діаметру різьби);

– накочуванням можна отримати різьбу на заготовках з деяких важкооброблюваних матеріалів, наприклад, аустенітних сталей;

– різьбонакочувальний інструмент має значно більшу стійкість проти зношування.

Накочування різьби широко використовується в масовому виробництві болтів, гвинтів, шурупів, шпильок.

При **накочуванні зубів** зубчастих коліс використовують три методи: холодне, гаряче та комбіноване (гаряче та холодне). В холодному стані накочують зуби дрібномодульних (до 1 мм) шестерень. При гарячому накочуванні заготовки нагрівають струмами високої частоти до температури 1000–1200⁰С, після чого їх накочують двома валками, які являють собою зубчасті колеса. На спеціальних станах можуть бути накочені зуби з модулем до 10 мм.

Гаряче накочування виконують як із радіальною (рис. 2.5, в), так і з поздовжньою (рис. 2.5, г) подачею. В першому випадку валки (накатники) встановлені на шпинделях 7, які можуть переміщатися по напрямку до заготовки 2, встановленої на валу 8. Після встановлення і нагрівання заготовки валки отримують обертовий рух і обертають заготовку. Для отримання заданого евольвентного профілю з обох боків зубів валкам надають поперемінно обертовий рух спочатку в одному, а потім в зворотному напрямку. Щоб обмежити осьову текучість металу на обох торцях валків є обмежуючі реборди 9. Коли валки дійдуть до встановленої міжосьової віддалі, подача автоматично вимикається. При гарячому накочуванні з поздовжньою подачею встановлені пакетом 2 і нагріті струмами високої частоти в індукторі заготовки переміщуються зверху вниз. Міжосьова віддаль валків і пакета заготовок постійна. Накатні валки 6 мають спереду конічну забірну частину, в межах якої висота зубів постійно збільшується і виконує основну роботу при формуванні зубів. Циліндрична ділянка зразка калібрує профіль зубів. При накочуванні здійснюється синхронізоване обертання валків і заготовок.

Підвищити точність зубів шестерень можна, використовуючи спочатку гаряче накочування, а потім холодне калібрування трьома калібрувальними валками на іншому стані, тобто **комбінований або гарячо-холодний метод**.

Після гарячого накочування на холодне залишають припуск 0,05...0,07 мм на сторону. Холодне калібрування може замінити чистове зубофрезерування і навіть шевінгування.

Переваги методу накочування зубів шестерень такі:

- значно вища продуктивність обробки в порівнянні із зубофрезеруванням;
- досягається значна економія матеріалу, оскільки діаметр заготовки приймають приблизно рівним діаметру початкового кола шестерні;
- зуби зміцнені і волокна матеріалу при їх формуванні не перерізаються.

Фізична суть **зміцнюючо-калібруючих методів** поверхневим пластичним деформуванням полягає в наклепуванні поверхневого шару на різну глибину і його зміцнення. Волокна металу при цьому набувають більш сприятливого розміщення, не перетинаються й усувається можливість появи в ньому концентрації напружень. В більшості випадків зміцнюючо-калібруючою обробкою завдяки пластичному деформуванню згладжуються мікронерівності, зменшується шорсткість поверхні і прискорюється припрацювання поверхонь тертя.

При динамічних методах зміцнюючої обробки (дробоструменева обробка), якій піддаються загартовані деталі, проходить повніше зняття внутрішніх напружень на поверхневому шарі. Все це приводить до покращення експлуатаційних властивостей, особливо підвищення втомної міцності.

Обкочування зовнішніх і внутрішніх поверхонь роликami (рис. 2.6, а) здійснюється на поширених металорізальних верстатах (токарних, револьверних й ін.) з використанням простого устаткування.

Поверхню обертової деталі обкочують притиснутими до неї одним, двома чи трьома гладкими роликami, виготовленими із загартованої сталі. В процесі обкочування поверхня вигладжується й наклепується. Обкочуванням часто замінюють менш продуктивну фінішну обробку шліфуванням. В залежності від оброблюваного матеріалу і режимів процесу глибина наклепаного шару може змінюватися в межах від 0,2 до 20 мм, а твердість поверхневого шару збільшується на 40...50%.

Границя втоми обкочених деталей зростає на 80% і більше. В багатьох випадках для кінцевої обробки отворів використовується розкочування із спеціальними пристосуваннями – розкатками, яке замінює інші методи чистової обробки, наприклад хонінгування.

Найпоширенішим методом калібрування отворів є їх дорнування (рис. 2.6, б, в) і калібрування кулькою (рис. 2.6, г), які виконують на протяжних верстатах і пресах.

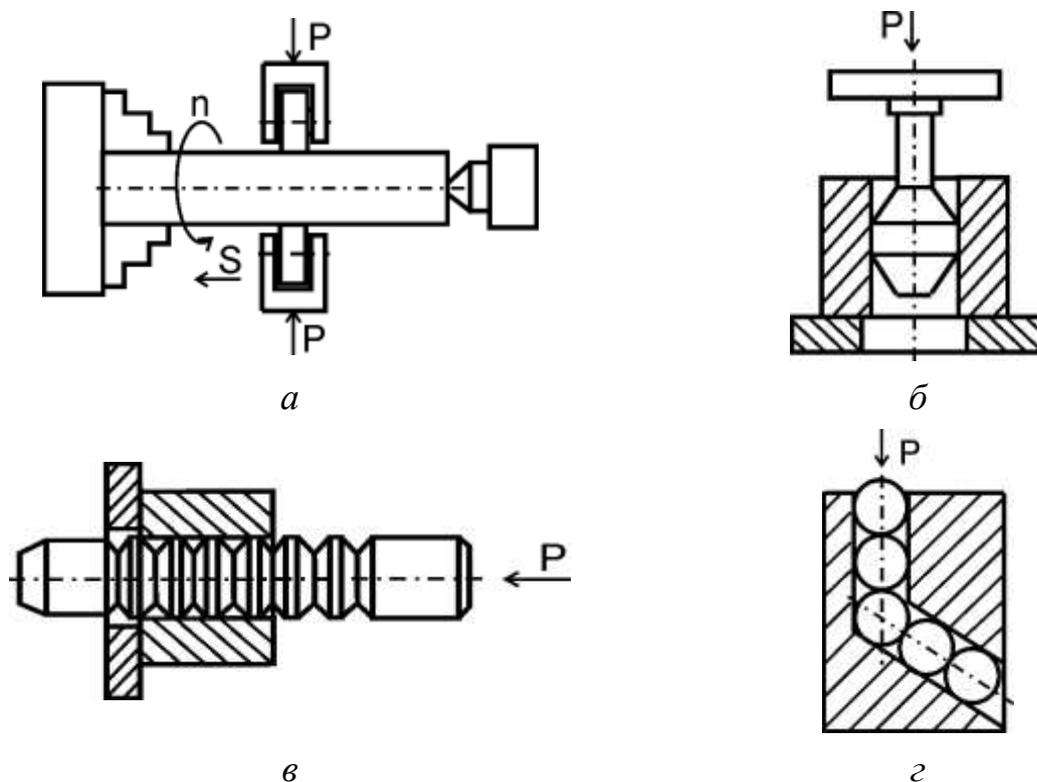


Рис. 2.6. Схеми зміцнюючо-калібруючих методів обробки

Процес **дорнування** (рис. 2.6, б, в) полягає в тому, що калібруючий інструмент дорн. Конструктивно він подібний до прошивки або протяжки, але без ріжучих зубів. Дорн проштовхують або протягують через оброблюваний отвір. Цей отвір повинен мати дещо менший розмір, ніж калібруючий дорн. При дорнуванні за рахунок пластичного деформування діаметр отвору збільшується, поверхневий шар металу в отворі зміцнюється і шорсткість згладжується.

Калібрування кулькою (рис. 2.6, г) полягає в проштовхуванні через попередньо отриманий отвір сталюї гартованої кульки. Діаметр цієї кульки повинен бути дещо більший за діаметр отвору, отриманого після проходження кульки через отвір, оскільки в цьому випадку проходить пружне відновлення металу. Особливу цінність цей метод має при калібруванні отворів із криволінійною віссю.

Дробоструменева обробка полягає в тому, оброблювана поверхня піддається ударам сталюїх або чавунних дробинок (кульок), які

спрямовуються на неї із спеціального дробомету. В результаті на поверхневому шарі здійснюється пластичне деформування (наклепування). В залежності від режимів обробки глибина його буває в межах 0,1...1 мм. В поверхневому шарі створюються сприятливі напруження стиску. Уся поверхня деталі покривається дрібними лунками від ударів дробинок. Дробоструменева обробка досить ефективна при виготовленні деталей, що працюють при знакозмінних навантаженнях, так як втомна міцність їх значно зростає. Дробоструменевій обробці піддаються деталі складної форми після механічної і термічної обробки. Хороші результати отримані при дробоструменевій обробці ресор, пружин, шатунів, колінчастих валів, зубчастих коліс й ін.

Обладнання, інструменти та матеріали

- кривошипний прес;
- штамп роздільної дії;
- штамп формозмінної дії;
- заготовка зі смуги низьковуглецевої сталі;
- складальне креслення штампа (за варіантом);
- токарно-гвинторізний верстат;
- накатники;
- заготовка для обкочування;
- лупа.

Порядок виконання роботи

А) Технологія листового штампування

1. Ознайомитися з конструкцією, принципом роботи, технологічними можливостями та правилами безпечної експлуатації кривошипного преса.
2. Пояснити функціональне призначення деталей у штампах простої дії для формозмінних та роздільних операцій.
3. Пояснити принцип дії штампа для листового штампування по запропонованому складальному кресленні (згідно з варіантом).
4. Виконати відбуртовування на листовій заготовці.
5. За параметрами заготовки і деталі (див. рис. 2.7) обчислити коефіцієнт відбуртовування

$$K_o = d_o / (D_u - 2S) \quad (2.1)$$

і висоту бурта

$$H=0,5(D_u+2(R+S)-d_o-\pi(R+0,5S)), \quad (2.2)$$

якщо товщина листа $S = 1,2$ мм, $R = 1$ мм. Значення D_u та d_o вибрати з табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Індивідуальне завдання для розрахунку
(варіант В за номером студента в списку групи).

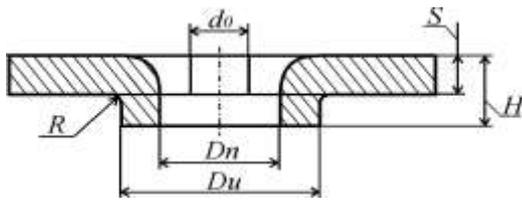


Рис. 2.7. Деталь після
відбуртовування з накладеним
контуром заготовки

d_o , мм	Діаметр D_u , мм				
	10	10,5	11	11,5	12
5	B1	B2	B3	B4	B5
5,5	B6	B7	B8	B9	B10
6	B11	B12	B13	B14	B15
6,5	B16	B17	B18	B19	B20
7	B21	B22	B23	B24	B25

Б) Технологія поверхневого пластичного деформування

1. Ознайомитися із запропонованими деталями, в яких є поверхні, отримані поверхневим пластичним деформуванням і викреслити ескізи цих деталей у звіті по роботі. Пояснити технологію їх отримання.

2. Проточити циліндричний стержень діаметром 20...40 мм в напівчистовому режимі на довжину 30...50 мм. Виконати обкочування отриманої поверхні на половину довжини накатником з гладким циліндричним роликком.

3. Розглянути через лупу поверхню обробленого стержня до і після накочування та зробити висновок про зміну шорсткості в результаті обкочування.

4. Розрахувати припуск на обкочування в обробленій деталі:

$$\delta=(D_0-D_1)/2, \quad (2.3)$$

де D_0 і D_1 – відповідно діаметр обробленої поверхні після точіння і після обкочування.

5. Виміряти твердість обробленої поверхні після точіння і після обкочування. Зробити висновок про вплив обкочування на поверхневу твердість деталей.

2.2. ТЕХНОЛОГІЯ ТОКАРНОЇ ТА СВЕРДЛИЛЬНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Короткі теоретичні відомості

Токарна і свердлильна обробка належать до лезових методів обробки і застосовуються для отримання поверхонь типу тіл обертання.

А) Токарна обробка матеріалів

Токарна обробка – найпоширеніший вид обробки матеріалів різанням. Частка токарних верстатів у загальному парку металорізального обладнання становить 30...40%.

Формоутворення поверхні при точінні відбувається при обертанні заготовки (*головний рух*) і поступальному русі інструмента (*рух подач*). Точінням отримують зовнішні і внутрішні поверхні типу тіл обертання (циліндричні, конічні, сферичні, тороїдні, фасонні), плоскі поверхні (підрізання торців), нарізають зовнішні й внутрішні різьби.

Усі токарні верстати поділяють на такі *типи*:

- універсальні токарно-гвинторізні;
- напівавтомати й автомати одношпиндельні;
- напівавтомати й автомати багатошпиндельні;
- токарно-револьверні;
- токарно-карусельні;
- лоботокарні;
- багаторізцеві.

За рівнем універсальності токарні верстати поділяють на *універсальні, спеціалізовані й спеціальні*. На універсальних верстатах виконують різноманітні операції обробки деталей різної форми та розмірів. Їх використовують на підприємствах одиничного та дрібносерійного виробництва, в ремонтних майстернях. Універсальні верстати поділяють на токарні та токарно-гвинторізні.

Спеціалізовані верстати призначені для обробки однотипних деталей, подібних за формою, але з різними розмірами, наприклад, ступінчастих валів, муфт, труб й ін. Використовують їх переважно в серійному виробництві.

На спеціальних верстатах обробляють одну певну деталь, наприклад, корпус світильника, важіль редуктора й ін. Такі верстати доцільно використовувати на підприємствах крупносерійного і масового виробництва.

Режими різання при точінні визначають швидкістю різання V , подачею S та глибиною різання t .

	<p>Швидкість різання V, м/хв., – це лінійна швидкість точки заготовки, розміщеної на оброблюваній поверхні і найбільш віддаленої від осі заготовки.</p> $V = \pi D n / 1000, \text{ м/хв.}, \quad (2.4)$ <p>де D – діаметр заготовки, мм; n – частота обертання заготовки, об/хв.</p>
<p>Рис. 2.8. Елементи перерізу зрізуваного шару при точінні</p>	<p>Шлях, пройдений ріжучим лезом інструмента відносно заготовки за одиницю</p>

часу або за один оберт заготовки, називають **подачею S** (мм/хв., мм/об). Подача буває поздовжньою S_{nz} (уздовж осі заготовки) і поперечна S_n (перпендикулярно до осі заготовки).

Глибина різання t , мм визначається як віддаль між оброблюваною 1 і обробленою 3 поверхнями (рис. 2.8), виміряна перпендикулярно до останньої. При токарній обробці глибина різання визначається за формулою:

$$t = 0,5(D - d), \quad (2.5)$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні 1; d – діаметр обробленої поверхні 3. Окрім цього, виділяють ширину зрізуваного шару b та товщину зрізуваного шару a .

Ширина зрізуваного шару b – це віддаль між обробленою 3 (рис. 4.1) і оброблюваною 1 поверхнями, яка виміряна по поверхні різання 2.

$$b = t / \sin \varphi. \quad (2.6)$$

Товщина зрізуваного шару a – це віддаль між двома послідовними положеннями вершини різця за час одного повного оберту заготовки, виміряна перпендикулярно до ширини зрізуваного шару (рис. 4.1).

$$a = s \sin \varphi. \quad (2.7)$$

Параметри режиму різання суттєво впливають на якість виконання технологічних операцій і якість обробленої поверхні. Так швидкість різання

визначає кількість теплоти, яка виділяється під час різання, інтенсивність наростоутворення, рівень зміцнення поверхневого шару металу, характер стружки, інтенсивність зношування інструмента.

Виходячи з конструктивних вимог до деталі й технологічних можливостей устаткування, призначають оптимальні значення режимів різання, тобто такі, які забезпечують необхідну якість обробки при максимальній продуктивності процесу.

Основний час при точінні визначають за залежністю:

$$T_o = (L_{вр} + L_{точ} + L_{вих})i/Sn, \quad (2.8)$$

де $L_{вр}$ – довжина врізання (для плавного входу різця в матеріал заготовки), мм;
 $L_{точ}$ – довжина точіння, мм; $L_{вих}$ – довжина виходу різця з ділянки обробки, мм;
 i – кількість проходів різця; S – подача, мм/об; n – частота обертання шпинделя, об/хв.

Для формування передбаченого конструкторською документацією контуру деталі точінням використовують різноманітні різці. Конфігурація токарних різців (вигляд зверху) і приклади їх використання зображена на рис. 2.9.

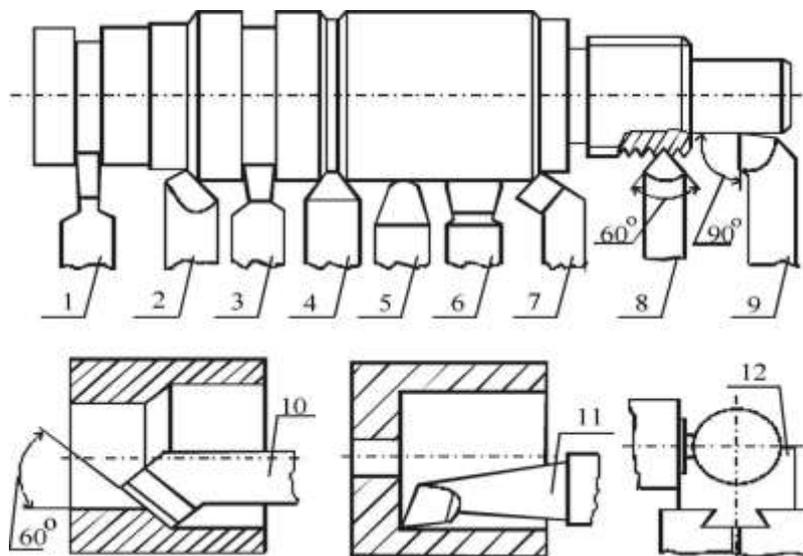


Рис. 2.9. Типи токарних різців:

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1 – відрізний; | 7 – прохідний відігнутий; |
| 2 – прохідний (лівий); | 8 - різьбовий зовнішній; |
| 3 – канавочний прямий; | 9 – прохідний упорний; |
| 4 – канавочний трапецевидний; | 10 – розточний для наскрізних отворів; |
| 5 – із закругленою вершиною; | 11 – розточний для глухих отворів; |
| 6 – широкий чистовий; | 12 – фасонний. |

Для забезпечення процесу стружкоутворення при виготовленні ріжучої частини різців необхідно використовувати матеріали, які твердіші, ніж в оброблюваний матеріал. Крім цього, матеріал різця повинен зберігати цю твердість при підвищених температурах (*теплостійкість*), які виникають у зоні різання. Такі матеріали називають *інструментальними*.

Вуглецеві інструментальні сталі У8, У10, У10А, У11А, У12А містять 0,7...1,3% вуглецю. Після термообробки мають твердість HRC 60...62. Добре загострюються абразивними інструментами. Однак мають обмежене використання, оскільки максимально допустима швидкість різання 15...18 м/хв. Це зумовлено низькою теплостійкістю (200...250 °С). Їх використовують для виготовлення невеликих різців.

Леговані інструментальні сталі 6ХС, 9ХС, 9ХВГ, ХВГ, ХГ та ін. містять 0,6...1,0% вуглецю і приблизно по 1% хрому, кремнію, марганцю і вольфраму. Після термообробки мають твердість HRC 62...64 і теплостійкість 250...300 °С.

Швидкорізальні сталі Р18, Р12, Р6М5, Р9Ф5 містять 6...18% вольфраму, завдяки йому їх теплостійкість становить 600...630 °С. Твердість після гартування HRC 60...64. Використовують для виготовлення суцільних різців (відрізних, фасонних й ін.)

Для виготовлення пластинок, які закріплюють механічно або припаюють до головки різця, використовують *тверді сплави*: вольфрамокобальтові (ВК3, ВК8, ВК10М), титановольфрамові (Т5К10, Т15К6, Т30К4), титанотанталовольфрамові (ТТ7К12, ТТ8К10). Їх основу становить карбід вольфраму, титану й танталу, в якості в'язучої речовини використовується кобальт. Їм характерна висока твердістю HRA 86...90 і теплостійкість 800...1000°С. Це забезпечує можливість обробляти деталі зі швидкістю до 800 м/хв.

Знаходять широке використання пластинки з *мінералокераміки* на основі оксиду алюмінію Al₂O₃ або нітриду кремнію Si₃O₄.

Полікристалічні *синтетичні надтверді матеріали* (СТМ) марок композит 01 (ельбор РМ0), композит 02 (белбор), композит 05 й ін., а також природні (марки А) і синтетичні алмази (АСО, АСР, АСВ) використовують при виготовленні ріжучих вставок для інструментів.

Лабораторну роботу виконують на універсальному токарно-гвинторізному верстаті ЛТ 160 (рис. 2.10).

Технічна характеристика верстата ЛТ160

Найбільший діаметр оброблюваної деталі

- над станиною – 160 мм;
- над супортом – 100 мм;
- віддаль між центрами 740 мм;
- діаметр отвору в шпинделі 42 мм;
- частота обертання шпинделя, об/хв. 20...1500;
- границі подач, мм/об:
 - поздовжніх 0,05...2,8;
 - поперечних 0,05...1,4;
- крок різьби для нарізання 0,5...100 мм;
- потужність електродвигуна 7 кВт.

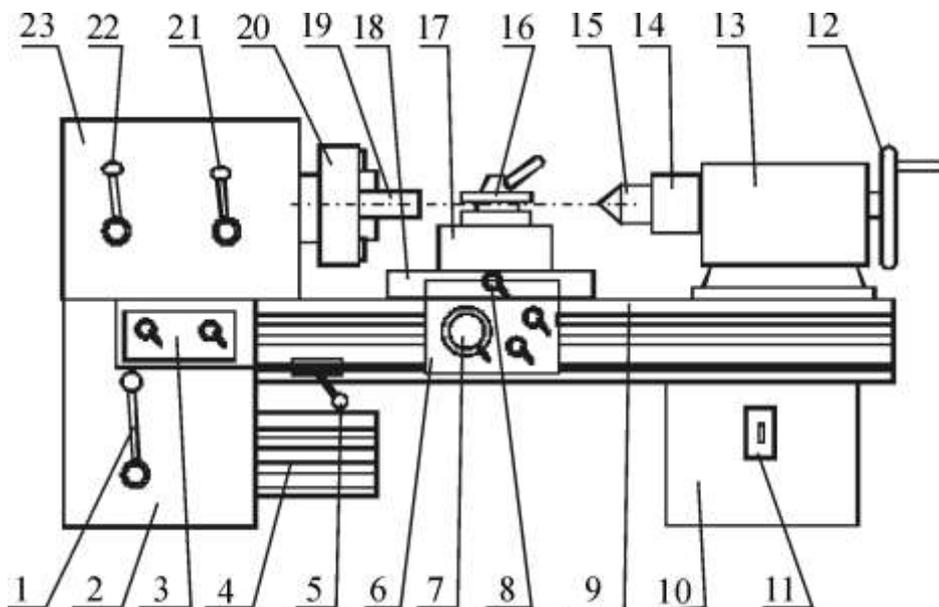


Рис. 2.10. Загальний вигляд універсального токарно-гвинторізного верстата ЛТ 160:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1 – важіль перемикання числа обертів; | 13 – задня бабка; |
| 2 – коробка передач; | 14 – піноль задньої бабки; |
| 3 – коробка подач; | 15 – задній центр; |
| 4 – електродвигун; | 16 – різцетримач; |
| 5 – важіль увімкнення обертів; | 17 – поперечний супорт; |
| 6 – фартух; | 18 – поздовжній супорт; |
| 7 – маховик поздовжньої подачі; | 19 – заготовка; |
| 8 – маховик поперечної подачі; | 20 – патрон; |
| 9 – станина; | 21 – важіль механізму перебору; |
| 10 – тумба; | 22 – важіль реверсу подачі; |
| 11 – вимикач; | 23 – шпиндельна бабка |
| 12 – маховик затиску заднього центра; | |

Найпоширенішим базуючим пристосуванням для універсального токарно-гвинторізного верстата є *трикулачковий самоцентруючий патрон* (рис. 2.11), який складається з корпусу 1, конічного зубчастого колеса 2 з спіраллю Архімеда 3, яка входить в зачеплення з і спіральною поверхнею на кулачках 4, 6. Конічну зубчасту шестерню 5 обертає ключем токар. Це зумовлює обертання конічного зубчастого колеса 2, переміщення трьох кулачків (поз. 4 і 6) і затиск деталі.

Оброблення деталей значної довжини при малому діаметрі виконують з використанням *люнета* (рис. 2.12). Люнет забезпечує збільшення жорсткості оброблюваної деталі, а, отже, і підвищення точності обробки. На направляючих станини між патроном і заднім центром люнет затискається гвинтовою парою 1.

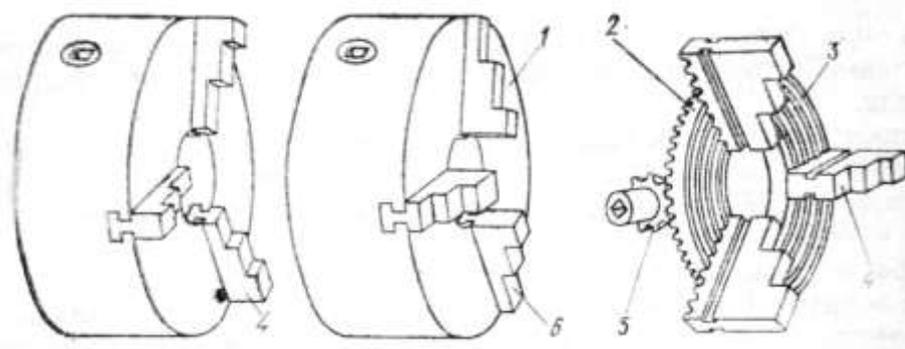


Рис. 2.11. Конструкція трикулачкового самоцентруючого патрона

Конструктивно люнет складається з корпусу 5, в якому за рахунок шарніра 4 відкривається верхня частина для встановлення заготовки і фіксується гвинтом 9 при обробленні. Опори 3, 6 і 10 безпосередньо контактують з оброблюваною деталлю 8 і попереджують її деформування під дією радіальних сил різання. Налаштування опор на діаметр деталі 8 виконують гвинтами 2, 7, 11.

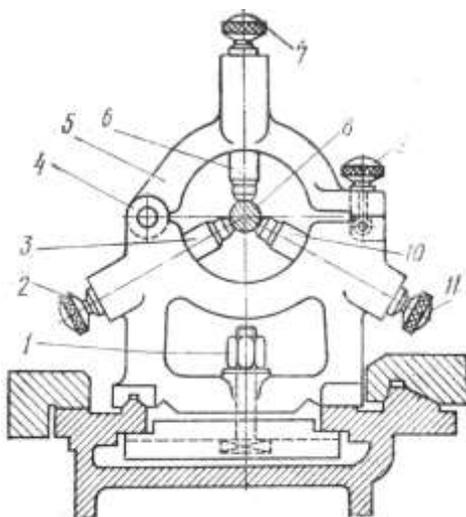


Рис. 2.12. Люнет

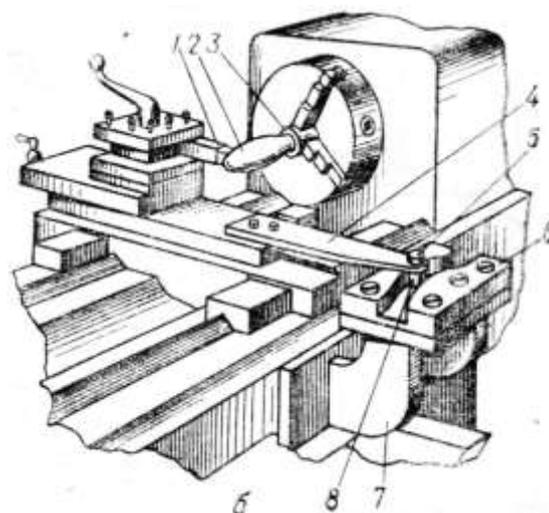


Рис. 2.13. Копірувальне пристосування

Для підвищення продуктивності праці та якості оброблення на токарному верстаті застосовують різноманітне технологічне устаткування. На рис. 2.13 подано конструкцію копірувального пристосування для оброблення поверхонь типу тіл обертання з криволінійними твірними (фасонних поверхонь). Оброблення фасонної поверхні 2, закріпленої в патрон 3, виконується різцем 1, встановленим в різцетримачі, який здійснює поздовжні переміщення від механізму поздовжньої подачі верстату, а поперечні – від копірувального шаблону 5 через ролик 8 і тягу 4. Копірувальний шаблон 6 нерухомо закріплений на станині верстата через тримач 7.

Отримати фасонну поверхню можна ще за допомогою фасонного різця або на верстатах з числовим програмним керуванням.

Б) Свердлильна обробка матеріалів

Обробка заготовок на свердлильних верстатах – поширений метод отримання отворів з різною точністю розмірів, форми та шорсткістю поверхні. Процес зняття стружки з оброблюваної поверхні при свердлінні здійснюється за рахунок обертового руху інструменту (*головного руху*) і одночасного переміщення інструменту вздовж осі (*рух подачі*).

Для обробки отворів використовують такі *інструменти*: спіральне свердло, зенкер, зенківку, розвертку, цековку, мітчик. Їх виготовляють з вуглецевих (У10, У10А, У12), легованих (Х, 9ХС, Х12М) і швидкорізальних (Р9, Р12, Р18) сталей. Інструмент для обробки отворів великого діаметра виготовляють збірним із вставними ріжучими пластинками з твердих сплавів (ВК6, ВК8, Т15К6). Вибір матеріалу інструментів залежить від його розмірів, матеріалу оброблюваної деталі. В свою чергу матеріал інструменту визначає режими різання і *стійкість інструменту* (час між переточками).

За видом виконуваних робіт *свердлильні верстати* поділяють на вертикально-свердлильні, настільно-свердлильні, радіально-свердлильні, багатшпindelні і одношпindelні півавтомати, горизонтально-свердлильні й ін. Найбільш поширеними є перших три типи верстатів. Вертикально-свердлильні верстати використовують в одиничному і серійному виробництві для обробки отворів в невеликих деталях, настільно-свердлильні – для дрібних деталей, а радіально-свердлильні – для великогабаритних деталей.

На свердлильних верстатах виконують такі *види робіт* (рис. 2.14): свердління глухих і наскрізних отворів (а), розсвердлювання наскрізних отворів (б), зенкерування циліндричних отворів (в), розвертування (г, д), цекування поверхонь

під головки гвинтів (*е, ж, з*), нарізання різьби (*и*), обробка ступінчастих отворів (*к*). Свердління дає можливість отримати отвори в суцільному матеріалі, однак не забезпечує високої точності розмірів, форми та якості обробленої поверхні. Зенкерування та розвертування виконують по попередньо просвердленому отворі. При цьому послідовно підвищується точність обробки і знижується шорсткість.

Найвищу якість обробки забезпечує розвертування, виконане після зенкерування. Для досягнення високої якості та продуктивності обробки на свердлильному верстаті необхідно провести раціональний вибір режимів різання. Режими різання при свердлінні визначаються швидкістю різання V , величиною подачі S і глибиною різання t . Режими різання повинні призначатися таким чином, щоб одночасно забезпечити максимальну продуктивність обробки і високу стійкість інструменту, а отже і мінімальні втрати часу на його переточку.

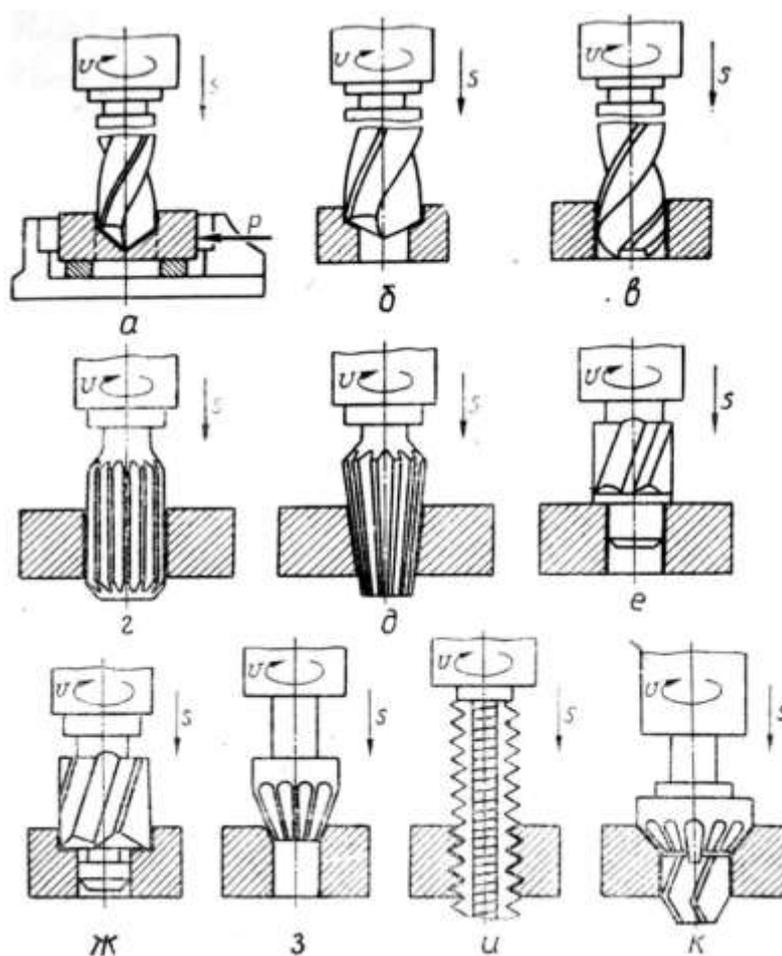


Рис. 2.14. Види робіт, які виконують на свердлильних верстатах

При свердлінні **швидкість різання** залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, матеріалу свердла, його стійкості, подачі, глибини свердління, геометрії свердла і інших факторів.

Швидкість різання V , м/хв., визначають за формулою

$$V = KCD^z / T^m S^y, \quad (2.9)$$

де C – коефіцієнт, що залежить від матеріалу деталі і свердла, розмірів свердла та геометрії його ріжучої частини; D – діаметр свердла, мм; T – стійкість свердла, хв.; S – подача, мм/об; K – поправочний коефіцієнт, який враховує властивості матеріалу інструменту та деталі, глибину свердління і ін. (для виконання лабораторної роботи прийняти $K = 1$); z, m, y – показники степеня, які визначають вплив на швидкість різання діаметра свердла, стійкості свердла і подачі.

Подача S визначається таким чином, щоб забезпечити максимальну продуктивність при заданій міцності і жорсткості свердла і механізмів верстату. Величину подачі розраховують за емпіричними формулами, або знаходять за довідковими таблицями.

Глибина різання t , мм, при свердлінні в суцільному матеріалі $t = D/2$, а при розсвердлюванні, зенкеруванні та розвертуванні $t = (D - d)/2$, D – діаметр інструменту, мм; d – діаметр оброблюваного отвору, мм.

При подальшій обробці отворів швидкість різання можна визначити за швидкістю різання для свердління відповідного отвору: при зенкеруванні $V_z = 0,7V_{св}$, при розвертуванні $V_p = 0,3V_{св}$. Швидкість подачі при цьому $S_z = S_p = 3S_{св}$. При нарізанні різьб швидкість різання $V = 0,2V_{св}$, а значення подачі визначається кроком різьби.

Вибір елементів режимів різання проводиться за такою послідовністю. За табл. 2.2 визначають допустиму подачу при свердлінні.

Таблиця 2.2

Залежність подачі від матеріалу заготовки і діаметра свердла з швидкорізальної сталі, мм/об

Діаметр свердла, мм	Сталь при $\sigma_b < 780$ МПа і алюмінієві сплави	Сталь при $\sigma_b \geq 780$ МПа	Чавун і мідні сплави
10	0,22...0,28	0,17...0,21	0,47...0,57
13	0,25...0,31	0,19...0,23	0,52...0,64
16	0,31...0,37	0,22...0,28	0,61...0,75
17	0,35...0,43	0,26...0,32	0,70...0,86
25	0,39...0,47	0,29...0,35	0,78...0,96
30	0,45...0,55	0,32...0,40	0,90...1,10

Потім в залежності від діаметра свердла, його стійкості, оброблюваного матеріалу і поправочних коефіцієнтів знаходять швидкість різання. При цьому стійкість інструменту вибирають за табл. 2.3, а коефіцієнт C і показники z , m , y за табл. 2.4. Після цього визначають глибину різання.

Для зенкерування, розвертування та нарізання різьби режими різання визначають, виходячи з отриманих раніше режимів різання для свердління попереднього отвору.

Таблиця 2.3

Середня стійкість свердел T , хвилин

Діаметр свердла, мм	Оброблюваний матеріал		
	Сталь	Чавун, кольорові метали і сплави	
	Свердла із швидкорізаль. сталі	Свердла із швидкорізаль. сталі	Свердла з твердим сплавом
5	7	12	—
10	12	21	25...30
15	14...20	25...30	35...45
20	18...22	32...40	45...55
25	20...25	40...50	50...60
30	25...30	50...55	60...70

Таблиця 2.4

Значення коефіцієнта C і показників степені m , z , y при свердлінні свердлами з швидкорізальної сталі

Оброблюваний матеріал	Вид обробки	Подача S , мм/об	C	m	z	y
Конструкційна сталь, кольорові метали	Свердління	$\leq 0,2$	5,9	0,2	0,4	0,7
		$> 0,2$	7...12,4	0,2	0,4	0,5
	Розсвердлювання	-	18...20,5	0,25	0,2	0,5
Сірий чавун, бронза	Свердління	$\leq 0,3$	10,5...17,6	0,125	0,25	0,55
		$> 0,3$	12,2...20,5	0,125	0,25	0,4
	Розсвердлювання	-	20...28	0,4	0,25	0,4

Згідно з індивідуальним завданням визначають послідовність виконуваних переходів і необхідний інструмент. Діаметр інструмента для кожного з переходів вибирають за табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Рекомендовані діаметри свердел в залежності від їх, призначення, мм

Номінальний діаметр	Свердління							
	На прохід під болт, гвинт і ін.		Під	Під	Під різьбу з кроком, мм			
	Точний	Грубий	Зенкер	Розверт.	Крупн.	0,5	1	1,5
12	12,5	13	11,5	11,7	10,2	11,5	11	-
14	14,5	15	13,5	13,7	12	13,5	13	12,5
16	16,5	17	14,25	15,5	14	15,5	15	14,5
18	18,5	20	16,25	17,5	15,2	17,5	17	16,5
20	20,5	22	17,5	19,5	17,4	19,5	19	18,5
22	22,5	24	19,5	19,5	19,2	21,5	21	20,5
24	24,5	26	21,5	22,5	20,9	-	23	23,5

Обладнання, інструмент та матеріали:

- універсальний токарно-гвинторізний верстат ЛТ 160;
- комплект різців;
- верстат настільно-свердлильний типу 2М112;
- лещата машинні;
- набір свердел, зенкерів, розверток, мітчиків;
- штангенциркуль;
- заготовки з різних матеріалів (за варіантами).

Порядок виконання роботи

А) Токарна обробка матеріалів

1. Вивчити теоретичну частину за темою роботи.
2. Вивчити конструкцію токарного різця, запропонованого викладачем, намалювати у звіті ескіз різця і можливі варіанти обточуваних ним поверхонь.
3. Проточити на токарному верстаті циліндричну поверхню різними різцями на різних режимах різання. Зробити висновок про вплив цих факторів на якість обробленої поверхні.

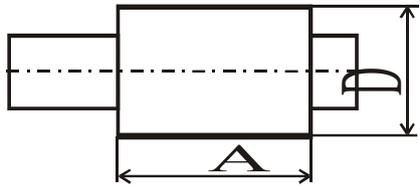
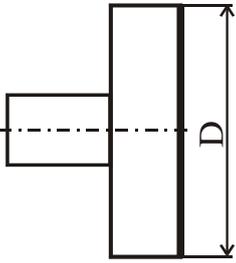
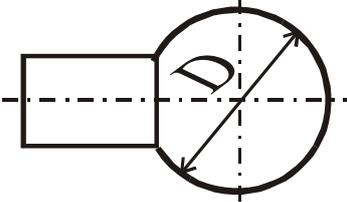
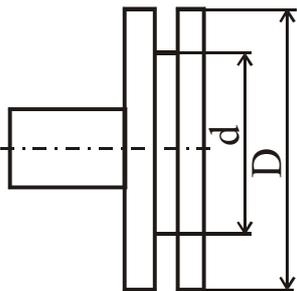
4. Вибрати різець, викреслити операційний ескіз і розрахувати основний час для обточування запропонованих поверхонь згідно з індивідуальним завданням (табл. 2.6). Для розрахунків прийняти

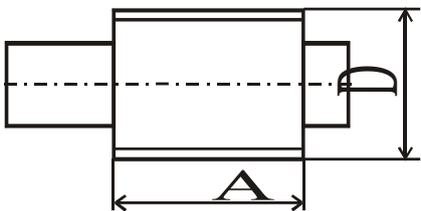
$$L_{еріз} = L_{вих} = 5 \text{ мм}$$

Таблиця 2.6

Індивідуальне завдання для токарної обробки матеріалів

(варіант для розрахунку В за номером студента в списку групи)

Ескіз обробки	Умови обробки для варіантів					
	2	3	4	5	6	7
		B1	B6	B11	B16	B21
	<i>D</i> , мм	100	90	80	70	60
	<i>A</i> , мм	120	110	100	90	80
	Проточити поверхню діаметром <i>D</i> на довжину <i>A</i> за 3 проходи. $S = 0,1 \text{ мм/об.}$, $V = 60 \text{ м/хв.}$					
		B2	B7	B12	B17	B22
	<i>D</i> , мм	140	130	120	110	100
	Проточити торець заготовки діаметром <i>D</i> за 2 проходи. $S = 0,05 \text{ мм/об.}$, $V = 60 \text{ м/хв.}$					
		B3	B8	B13	B18	B23
	<i>D</i> , мм	40	35	30	25	20
	Проточити фасонним різцем сферу діаметром <i>D</i> за 1 прохід. $S = 0,1 \text{ мм/об.}$, $V = 60 \text{ м/хв.}$					
		B4	B9	B14	B19	B24
	<i>D</i> , мм	100	90	80	70	60
	<i>d</i> , мм	70	60	50	40	30
	Проточити канавку від діаметра <i>D</i> до діаметра <i>d</i> . $S = 0,05 \text{ мм/об.}$, $V = 40 \text{ м/хв.}$					

1	2	3	4	5	6	7
		B5	B10	B15	B20	B25
	D, мм	M24 x 2	M22 x 1,7	M20 x 1,5	M18 x 1,2	M16 x 1
	A, мм	120	110	100	90	80
	Нарізати різьбу на діаметрі D довжиною A за 3 проходи. $V=8$ м/хв.					

Б) Свердлильна обробка матеріалів

1. Вивчити конструкцію свердлильного верстату і використовуваного інструменту, особливості обробки на свердлильних верстатах і види робіт на них.
2. Вибрати індивідуальне завдання за рис. 2.15 і табл. 2.7.

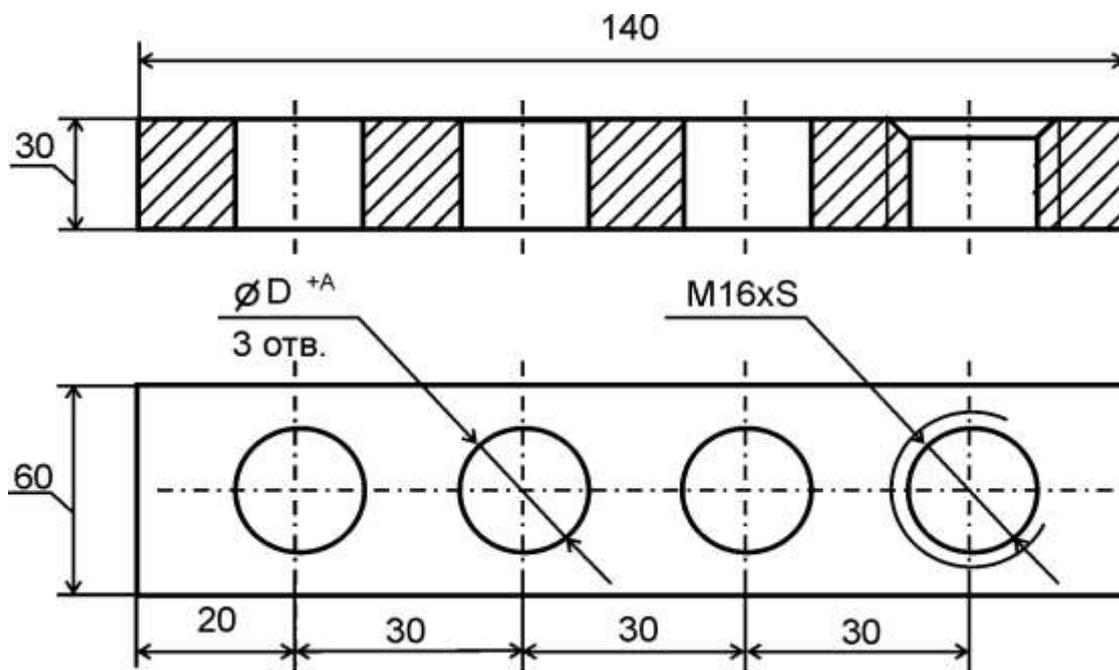


Рис. 2.15. Креслення деталі для розрахунку й обробки згідно індивідуального завдання

3. Для кожного переходу визначити елементи режимів різання. Знаючи швидкість різання, визначити розрахункову частоту обертання шпинделя верстату, об/хв:

$$n = 1000V/\pi D, \quad (2.10)$$

де V – швидкість різання, м/хв; D – діаметр інструменту, мм.

Таблиця 2.7

Індивідуальне завдання для свердлильної обробки
(варіант для розрахунку V за номером студента в списку групи)

Матеріал і номер варіанту			
Завдання	Сталь У10, HB250, $\sigma_B=800$ МПа	Сталь Ст3, HB110, $\sigma_B=400$ МПа	Чавун СЧ20, HB190, $\sigma_B=200$ МПа
Отримати отв. $\varnothing D$ з гран. відхилен. А:			
14 ^{+0,023} мм	В1	В2	В3
20 ^{+0,045} мм	В4	В5	В6
24 ^{+0,080} мм	В7	В8	В9
Різьба М16х0,5	В10	В11	В12
Різьба М16х1,5	В13	В14	В15

4. За паспортними даними верстата визначити фактичну частоту обертання шпинделя ($n_{\phi} \leq n$) і налагодити верстат на потрібний режим обробки.

2.3 ТЕХНОЛОГІЯ ФРЕЗЕРНОЇ ТА ПЛОСКОШЛІФУВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

А) Фрезерна обробка

Фрезерна і шліфувальна обробка належать до методів, які забезпечують формування площин, пазів, уступів, канавок тощо. *Головним рухом* є обертання інструменту. Рух подач реалізується за рахунок переміщення стола із оброблюваною заготовкою.

Фрезерування – вид обробки матеріалів різанням за допомогою багатолезового інструмента – фрези. Залежно від напрямку переміщення стола розрізняють такі *подачі*: поздовжня (вліво-вправо), поперечна (до себе – від себе), вертикальна (вверх – вниз). Фрезерування – високопродуктивний метод обробки, з допомогою якого обробляють плоскі поверхні (горизонтальні, вертикальні та нахилені), пази, впадини, канавки, а також фасонні поверхні.

Залежно від конструкції й призначення, *фрези* бувають різних типів. За конструкцією фрези бувають *суцільні* (як правило, зі швидкоріжучої сталі) і *збірні*. Останні виготовляють із конструкційної сталі, а вставні ножі – з швидкоріжучої сталі, твердих сплавів або мінералокераміки. Рифлені ножі закріплюють затягуванням у клинових пазах. Твердосплавні пластини паяють твердими припоями (латунними) або закріплюють механічно.

Залежно від способу закріплення на верстаті розрізняють фрези *насадні* (мають отвір і встановлюють на оправці) і *кінцеві* з конічними або циліндричними хвостовиками.

Циліндричні фрези мають зуби тільки на циліндричній поверхні і використовують для обробки площин (рис. 2.16, а, б, в). Великі фрези виготовляють із вставними ножами з швидкоріжучої сталі (рис. 2.16, б). Для фрезерування широких площин використовують блоки з різнонаправленими зубами (рис. 2.16, в) для компенсації осьових зусиль. Торцеві фрези із зубами на торці і циліндричній частині використовують для обробки площин. Їх виготовляють суцільними (рис. 2.16, з) і зі вставними зубами (рис. 2.16, д).

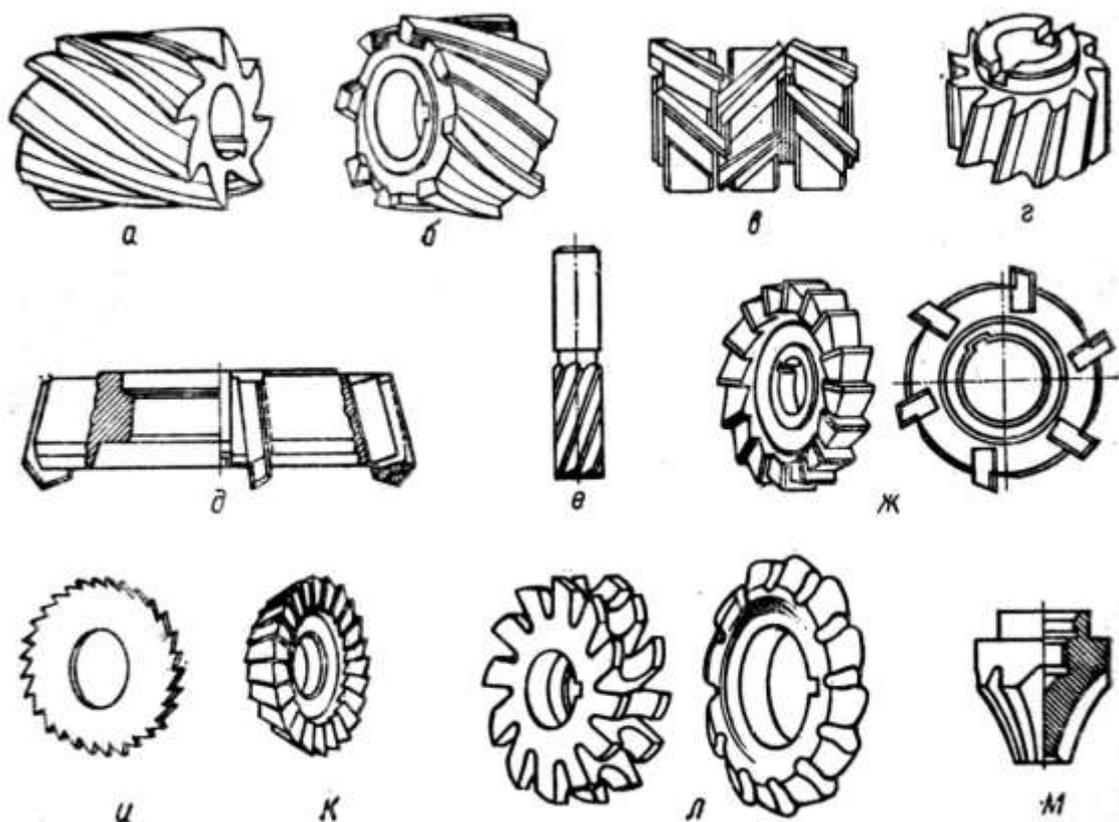


Рис. 2.16. Типи фрез

Кінцеві фрези (рис. 2.16, е) використовують для обробки пазів, площин, фасонних поверхонь. Звичайно їх виготовляють зварними: ріжуча частина – з швидкоріжучої сталі, а хвостовик – з вуглецевої.

Дискові фрези (рис. 2.16, ж) використовують при обробці прямолінійних пазів, канавок і площин. Виготовляють їх суцільними зі швидкоріжучої сталі й зі вставними ножами. Відрізні й шліцові фрези (рис. 2.16, и) – дискові фрези малої товщини, призначені для відрізання матеріалів і прорізання вузьких канавок, наприклад, у головках гвинтів.

Кутові фрези (рис. 2.16, к) із зубами на конічній поверхні використовують для прорізання канавок кутового профілю при виготовленні фрез, зенкерів, розверток.

Фасонні фрези (рис. 2.16, л) використовують для обробки деталей складного, частіше криволінійного профілю. Контур ріжучого леза зуба повинен відповідати профілю оброблюваної поверхні. Пальцевою фрезою, показаною на рис. 2.16, м нарізають зуби крупномодульних зубчастих коліс.

На рис. 2.17 зображені схеми горизонтально-фрезерного і вертикально-фрезерного верстатів.

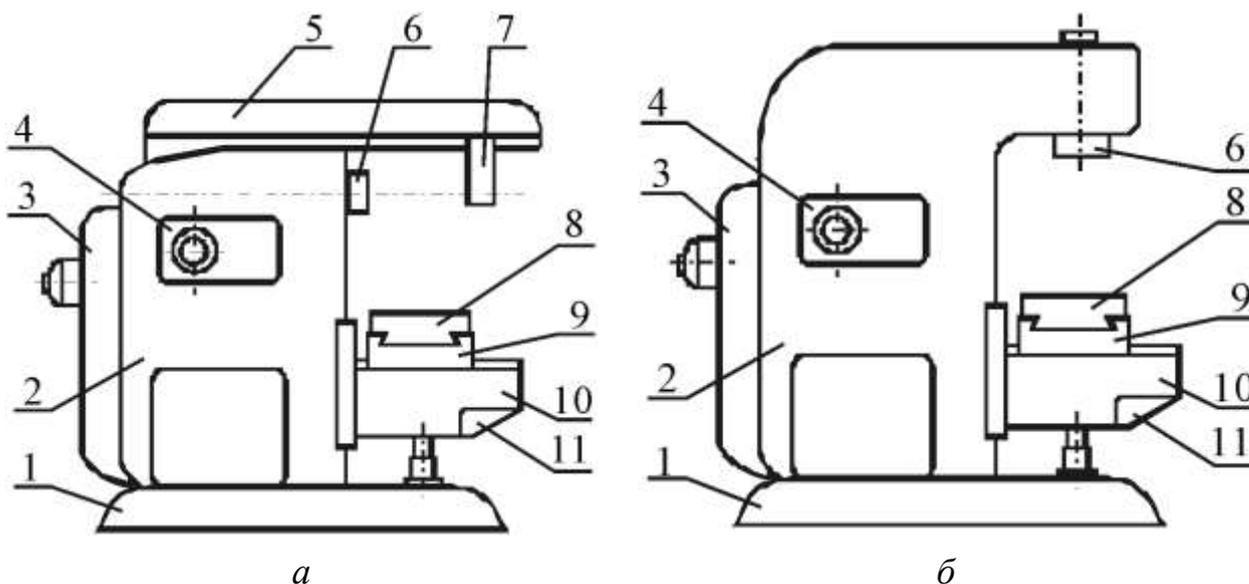


Рис. 2.17. Горизонтально-фрезерний (а) та вертикально-фрезерний (б) верстати

Основними вузлами верстатів є нижня плита 1, станина 2, електродвигун із клинопасовою передачею 3, коробка швидкостей 4, хобот 5, горизонтальний (вертикальний) шпиндель 6, цапфа 7 для закріплення оправки з фрезою, стіл для встановлення оброблюваної деталі 8, полозки 9, консоль 10, коробка подач 11.

Найпоширеніші варіанти встановлення фрез на фрезерних верстатах показані на рис. 2.18.

На горизонтально-фрезерному верстаті (рис. 2.18, а) фрезу 5 разом з набором розпірних втулок 4 і 6 затискають гайкою 10 на оправці 3, яка закріплюється в шпинделі верстата 2 за допомогою гвинта 1. Протилежний кінець оправки фіксують у латунній втулці 7, яка закріплена в цапфі за допомогою гайки 8 і контргайки 9.

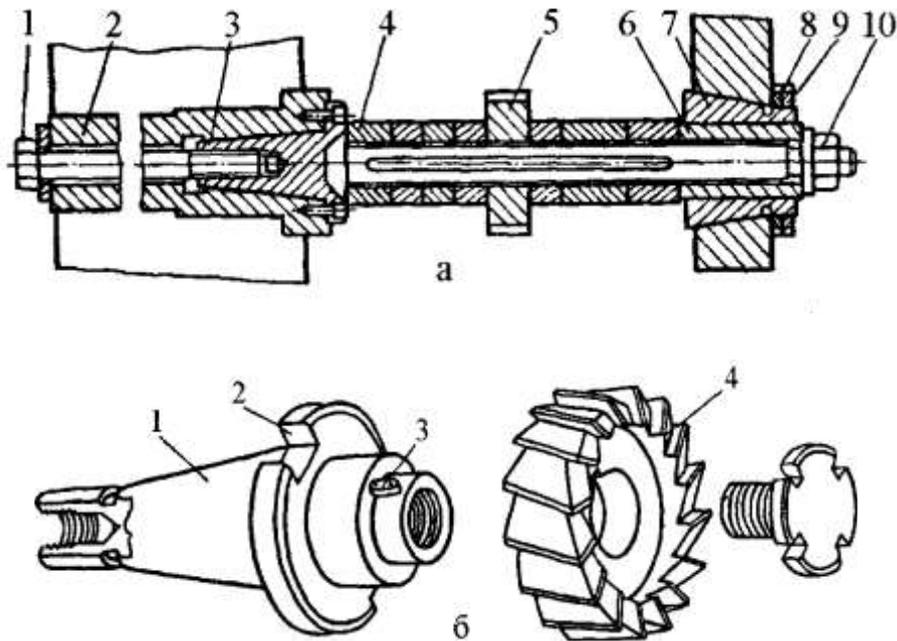


Рис. 2.18. Закріплення інструментів на горизонтально-фрезерному (а) та вертикально-фрезерному (б) верстатах

На вертикально-фрезерному верстаті (рис. 2.18, б) фреза 4 встановлюється на конусну оправку 1 з пазами 2 і шпонкою 3 і закріплюється торцевим гвинтом. Оправка з фрезою фіксується в шпинделі верстата аналогічно, як в горизонтально-фрезерному верстаті.

На фрезерних верстатах обробляють різноманітні поверхні (рис. 2.19).

Горизонтальні площини обробляють циліндричними фрезами (рис. 2.19, а) на горизонтально-фрезерних верстатах або торцевими фрезами (рис. 2.19, б, в) на вертикально-фрезерних верстатах. У більшості випадків продуктивнішою є обробка торцевими фрезами, кріплення яких в шпинделі має вищу жорсткість, кількість зубів, які працюють одночасно, більша, ніж в циліндричних фрез і тому вони працюють плавніше. Найпродуктивнішою є обробка площин торцевими фрезами зі вставними ножами з твердого сплаву.

Вертикальні площини обробляють на горизонтально-фрезерних верстатах торцевими або дисковими тристоронніми фрезами і на вертикально-фрезерних – кінцевими фрезами (рис. 2.19, в, з, д).

Нахилені площини обробляють на горизонтально-фрезерних верстатах кутовими фрезами (рис. 2.19, е) або на вертикально-фрезерних верстатах з поворотною головкою – торцевими фрезами (рис. 2.19, ж). При цьому шпиндельну головку повертають на необхідний кут.

Прямокутні пази і уступи фрезерують дисковими фрезами на горизонтально-фрезерних (рис. 2.19, и) або кінцевими на вертикально-фрезерних верстатах (рис. 2.19, к).

Пази T-подібні і типу «Ластівчин хвіст» фрезерують на вертикально-фрезерному верстаті за два проходи. Попередньо прорізають прямокутний паз циліндричною кінцевою фрезою (рис. 2.19, л), а потім остаточно обробляють паз фрезою відповідного профілю (рис. 2.19, м).

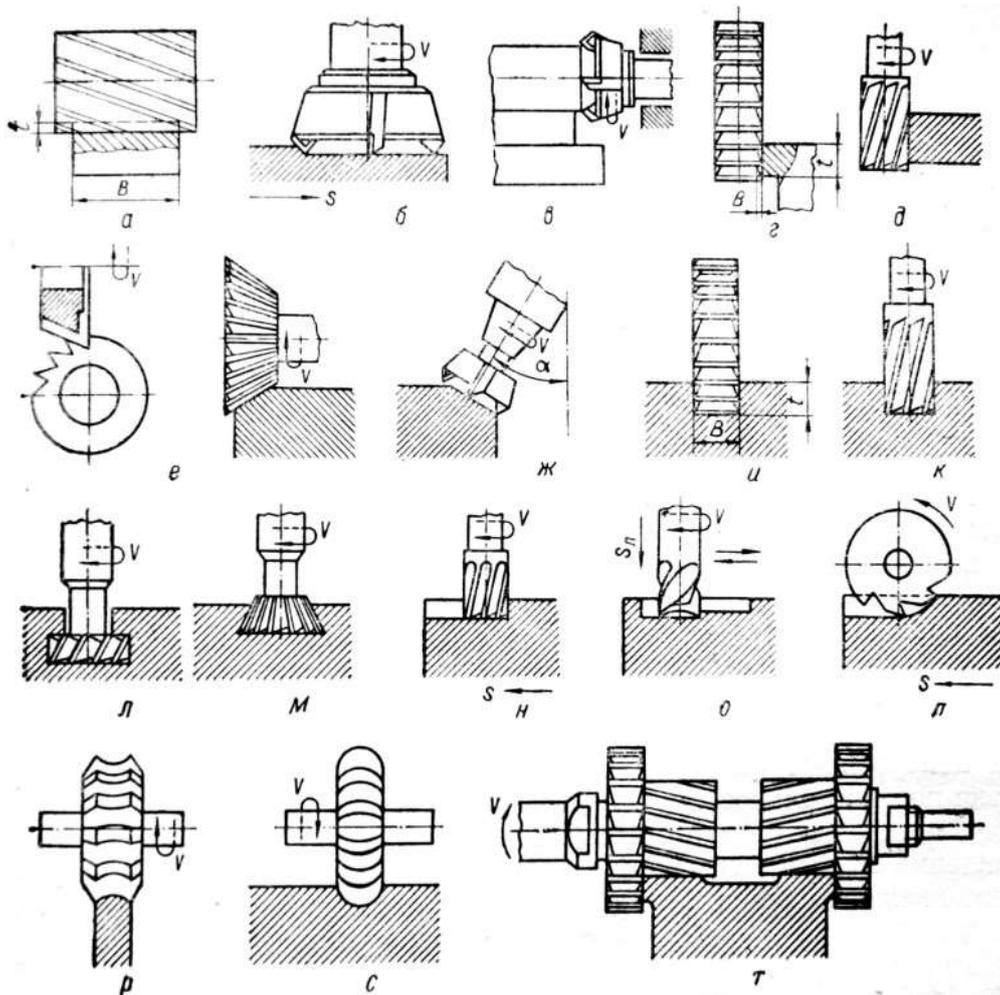


Рис. 2.19. Приклади поверхонь, які обробляють на фрезерних верстатах

Шпонкові пази відкриті обробляють на горизонтально-фрезерних верстатах дисковими фрезами (рис. 2.19, *n*), а закриті на вертикально-фрезерних верстатах кінцевими (рис. 2.19, *н*) або спеціальними шпонковими фрезами (рис. 2.19, *о*).

Фасонні поверхні обробляють фасонними фрезами відповідного профілю (рис. 2.19, *p, c*) переважно на горизонтально-фрезерних верстатах, а складні просторові фасонні поверхні – на спеціальних копірувально-фрезерних верстатах.

Складні поверхні, які поєднують горизонтальні, вертикальні і нахилені площини, а інколи і криволінійні поверхні, часто фрезерують набором фрез на горизонтально-фрезерних верстатах (рис. 2.19, *m*).

Режим різання при фрезеруванні визначається швидкістю різання V , м/хв, подачею S і глибиною різання t , мм.

Швидкість різання V – колова швидкість найвіддаленішої від осі обертання точки ріжучого леза фрези:

$$V = \pi Dn/1000, \text{ м/хв}, \quad (2.11)$$

де D – діаметр фрези, мм; n – частота обертання фрези, об/хв.

Подача – прямолінійне або обертове переміщення заготовки відносно осі фрези.

При фрезеруванні розрізняють хвилинну подачу S_x – переміщення оброблюваної деталі, мм/хв; подачу на оберт S_o – переміщення деталі за один оберт фрези, мм/об; подачу на зуб S_z – переміщення деталі при повороті фрези на один кутовий крок зубів, мм/зуб.

Згадані подачі взаємопов'язані між собою такими залежностями:

$$S_x = S_o n = S_z n z, \quad (2.12)$$

де n – частота обертання фрези, об/хв; z – кількість зубів фрези.

Хвилинна подача визначає продуктивність обробки, подача на зуб характеризує інтенсивність навантаження на зуб і, відповідно, стійкість фрези.

Залежно від напрямку обертання фрези і напрямку подачі розрізняють **зустрічне** фрезерування при подачі заготовки на зустріч обертанню фрези і **попутне** при співпадінні напрямків обертання фрези і подачі (рис. 2.20). При чорновій обробці доцільно використовувати зустрічне фрезерування, а при чистовій – попутне.

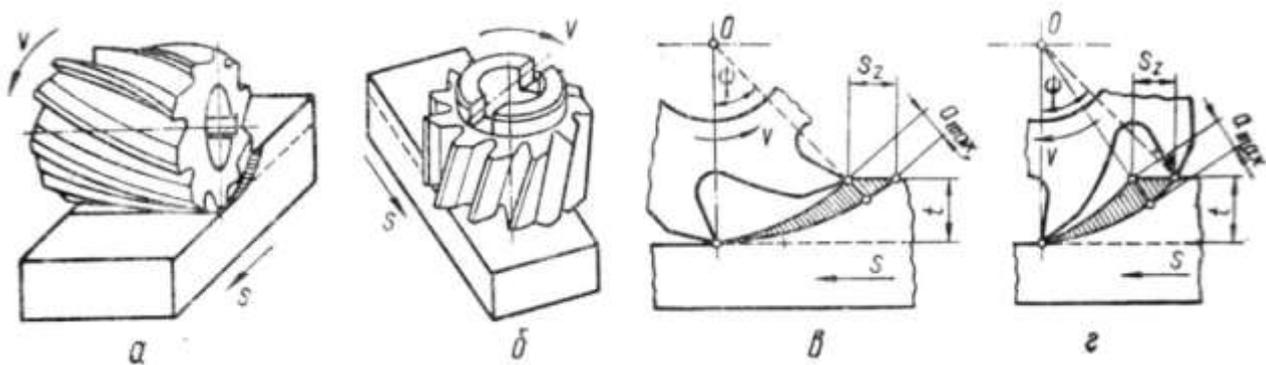


Рис. 2.20. Схеми фрезерування:

a – горизонтальне; *b* – вертикальне; *v* – зустрічне; *z* – попутне

Глибина різання t , мм – товщина шару матеріалу, який знімається фрезою за один прохід, виміряна перпендикулярно до оброблюваної поверхні.

Ширина фрезерування B – довжина поверхні контакту фрези з оброблюваною заготовкою, виміряна в напрямі, перпендикулярному напрямку подачі.

Товщина зрізаного шару при фрезеруванні – товщина шару металу, що зрізається одним зубом фрези, виміряна в радіальному напрямку. Ця величина є змінною (від 0 до максимуму при зустрічному фрезеруванні й навпаки при попутному). Для вирівнювання навантажень, які виникають при цьому на механізмах верстата, використовують фрези з гвинтовими зубами.

Від правильного вибору елементів режиму різання залежить продуктивність обробки, точність і шорсткість обробленої поверхні, необхідна потужність верстата. Визначаючи оптимальний режим різання, розраховують глибину різання, потім – найбільшу технологічно допустиму подачу і лише за отриманими значеннями t і S – швидкість різання V .

Глибину різання t вибирають залежно від величини припуску на обробку, необхідних точності і шорсткості поверхні, потужності верстата. Для зменшення часу чорнової обробки намагаються зняти припуск за один прохід, а якщо це не можливо, то за мінімальне їх число. Як правило, при фрезеруванні відливків і поковок, покритих твердою окалиною, глибина різання не повинна перевищувати 2 мм.

Подачу S при чорновому фрезеруванні вибирають максимально допустимою з метою зменшення основного часу. При чистовому

фрезеруванні величина подачі залежить від заданої шорсткості поверхні. Величини подач із врахуванням міцності зубів фрези, їх стійкості, властивостей оброблюваного матеріалу, заданої шорсткості обробленої поверхні приводяться в нормативних довідниках і знаходяться в межах 0,04–0,5 мм/зуб.

Швидкість різання V залежить від матеріалу заготовки, матеріалу фрези, її діаметра, періоду стійкості фрези, глибини різання, подачі і ширини фрезерування. Її визначають аналітично (за формулою) або за довідковими таблицями.

Продуктивність обробки Q при фрезеруванні визначають кількістю деталей, які виготовляють за певний період часу T (місяць, зміну, годину):

$$Q = T/T_k, \quad (2.13)$$

де T_k – час обробки однієї деталі, хв.

Головним складником часу обробки деталі є **основний технологічний час** T_0 , хв, який витрачається на безпосередню зміну стану заготовки (форми, розмірів). Його визначають за формулою

$$T_0 = Li/S_x, \quad (2.14)$$

де L – розрахункова довжина заготовки, мм; i – число проходів фрези.

Розрахункова довжина заготовки

$$L = l_1 + l + l_2, \quad (2.15)$$

де l_1 – довжина шляху врізання фрези, мм; l – фактична довжина фрезерування оброблюваної поверхні, мм; l_2 – перебіг фрези, мм.

Довжину шляху врізання l_1 , фактичну довжину фрезерування оброблюваної поверхні l та перебігу фрези l_2 , мм, визначають при фрезеруванні, виходячи із траєкторії руху центра фрези. Практично це легко визначити, викресливши ескіз обробки (операційний ескіз).

Б) Плоскошліфувальна обробка

Шліфуванням називається метод обробки матеріалів абразивним інструментом. Його використовують, в основному, для чистової обробки матеріалів як низької, так і високої твердості.

Головним рухом при шліфуванні є обертовий рух абразивного круга (рис. 2.21).

При плоскому шліфуванні рух **поздовжньої подачі** здійснюється зворотно-поступальним переміщенням деталі $S_{пз}$ і забезпечує обробку деталі по довжині. Для обробки заготовки по всій ширині b круг або заготовку періодично переміщують в поперечному напрямку $S_{пп}$ після кожного ходу стола з деталлю. Подача, як правило, вимірюється в долях ширини круга B .

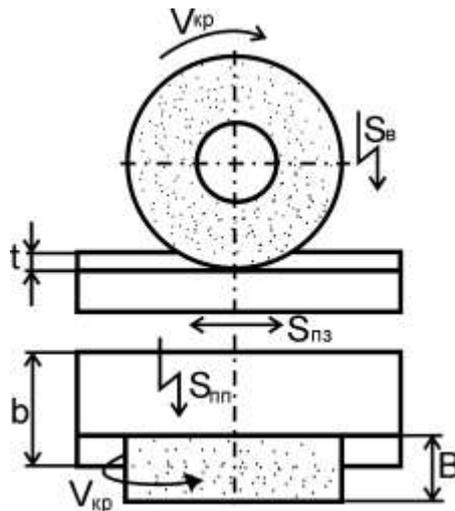


Рис. 2.21. Схема плоского шліфування

Після зняття припуску по всій ширині заготовки виконують **вертикальну подачу** врізання S_v . Вона здійснюється також періодично, коли абразивний круг знаходиться за межами заготовки.

Зняття стружки при шліфуванні здійснюється за рахунок процесу різання – зіскоблювання (видряпування) металу абразивними зернами. В процесі роботи шліфувального круга абразивні зерна притуплюються. Зусилля різання на зерні внаслідок цього поступово зростає і притуплені зерна вириваються з в'язучої основи круга. В роботу вступають нові незатуплені зерна. Таким чином при рівномірному вириванні притуплених зерен по всій поверхні круга проходить **замозагострення інструменту**. Одночасно абразивний круг зношується, змінюється рельєф і геометрія його робочої поверхні.

Для відновлення ріжучої здатності і правильної геометричної форми періодично проводиться правка круга.

На плоскошліфувальних верстатах обробляють плоскі горизонтальні поверхні периферією круга (рис. 2.22, а) або торцем (рис. 2.22, б).

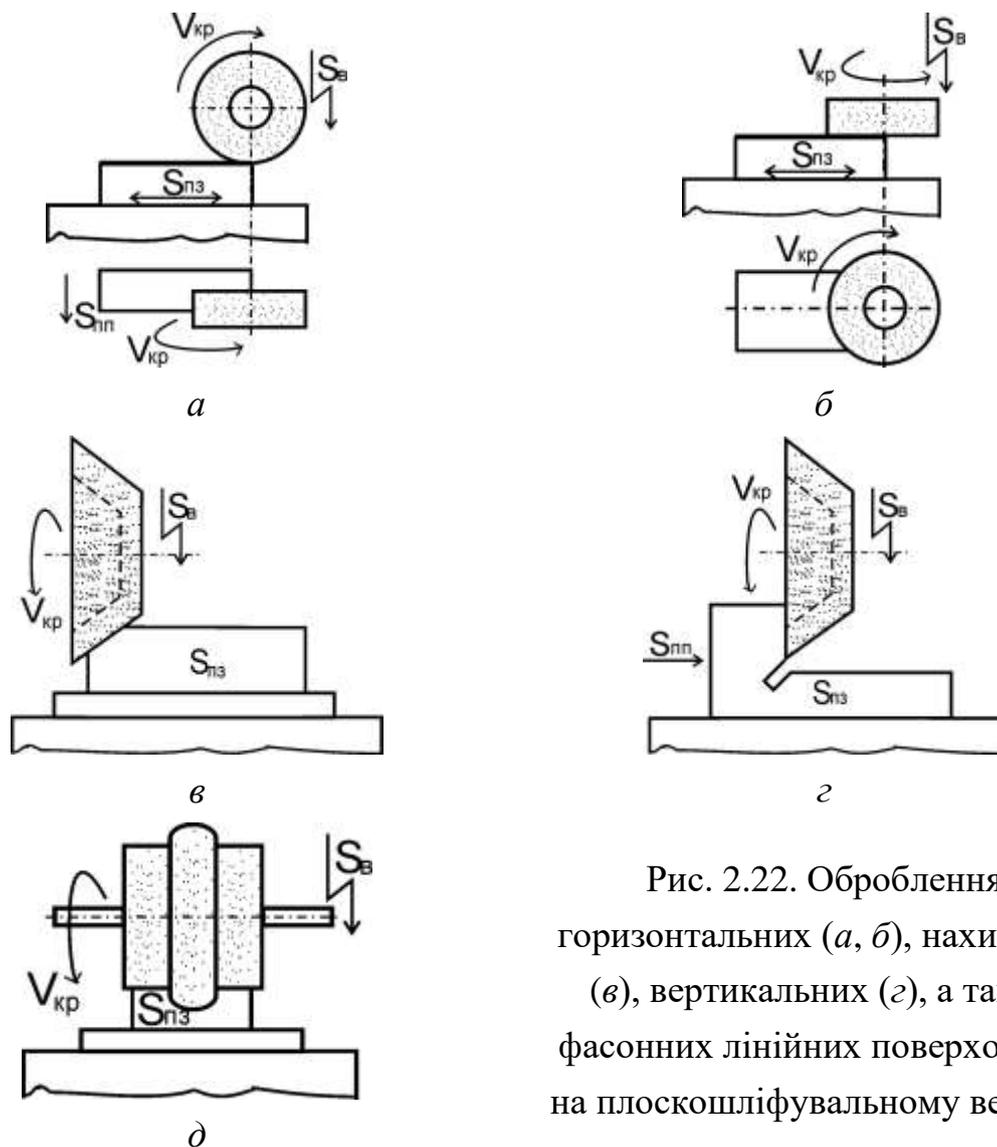


Рис. 2.22. Оброблення горизонтальних (а, б), нахилених (в), вертикальних (г), а також фасонних лінійних поверхонь (д) на плоскошліфувальному верстаті

При обробці нахилених і вертикальних поверхонь використовують конічні чашкові круги (рис. 2.22, в, г). На плоскошліфувальних верстатах можна обробляти також фасонні поверхні (рис. 2.22, д).

Абразивні інструменти – це тверді тіла, які мають правильну форму поверхонь обертання і складаються з зерен абразивного матеріалу, скріплених між собою зв'язкою. На плоскошліфувальних верстатах використовують плоскі прямі (ПП), чашкові конічні (ЧК), чашкові циліндричні (ЧЦ) і фасонні шліфувальні круги.

Для виготовлення кругів найбільше використання знаходять **абразивні зерна** з електрокорунду, карбіду кремнію і кубічного нітриду бору.

Основа електрокорунду – кристалічний оксид алюмінію. В залежності від вмісту Al_2O_3 і структури кристалів розрізняють електрокорунд нормальний (13А, 14А, 15А), білий (22А, 23А, 24А) і монокорунд (43А, 44А). Останній має найбільшу міцність і забезпечує високу продуктивність шліфування.

Карбід кремнію випускають двох сортів: зелений (63С) і чорний (54С, 55С). Він більш крихкий, ніж електрокорунд. Завдяки гострим краям, які отримуються при подрібненні, він забезпечує досить високу продуктивність.

Кубічний нітрид бору (ельбор) по твердості поступається лише алмазу, а теплостійкість має в 2 рази вищу. Круги із ельбору використовують при чистовому шліфуванні, заточці і доводці інструменту.

Зв'язка частіше використовується керамічна. Міцність зв'язки визначає граничну допустиму швидкість різання (звичайно не вище 50 м/с), а також іншу характеристику круга – твердість. Твердість круга характеризує опір зв'язки вириванню абразивних зерен з поверхні інструменту. Приклади використання абразивних кругів в залежності від твердості наведені в табл. 2.8. Твердість круга вибирають за правилом: чим твердіший оброблюваний матеріал, тим м'якішим повинен бути круг.

Таблиця 2.8

Приклади використання шліфувальних кругів в залежності від їх твердості

Клас твердості круга	Позначення	Використання
М'який Середньом'який	М1, М2, М3 СМ1, СМ2	Шліфування гартованих і негартованих сталей, швидкоріжучої сталі, твердих сплавів
Середній	С2, С1	Шліфування негартованої сталі, швидкорізальної сталі, бронзи; різання металів
Середньотвердий	СТ1, СТ2, СТ3	Шліфування негартованої сталі, алюмінієвих сплавів, бронзи; різання металів; обдирання відливок і поковок
Твердий	Т1, Т2	Обдирання відливок і поковок; зачистка зварних швів.
Досить твердий Надзвичайно твердий	ВТ1, ВТ2 ЧТ1, ЧТ2	Шліфування кульок

Примітка: Цифри 1, 2, 3 після букв характеризують твердість в порядку її зростання.

Зернистість круга повинна забезпечувати необхідну точність поверхні. Висота мікронерівностей R_z , мкм, орієнтовно зв'язана із середнім розміром абразивних зерен d_a , мм залежністю

$$R_z = C_R \sqrt{d_a} \quad (2.16)$$

де C_R – постійна величина, яка залежить від властивостей матеріалу деталі та круга і рівна 6...7,2.

Зернистість абразивних кругів характеризують розміри зерен. За зернистістю абразивні матеріали ділять на 3 групи: шліфувальні зерна (№ 200...№ 16), шліфувальні порошки (№ 12...№ 13), і мікропорошки (M40...M5). Номер зернистості означає середній розмір зерна в сотих долях міліметра або в мікрометрах (для мікропорошків). Великі зерна дають вищу продуктивність обробки, але нижчу точність обробки і гіршу чистоту поверхні.

Правильний вибір абразивного інструменту визначає продуктивність і економічність обробки шліфуванням, зношування інструменту, якість обробленої поверхні. Вибір характеристик абразивного інструменту проводять в залежності від виду операції, фізико-механічних властивостей матеріалу оброблюваної деталі, необхідних точності і шорсткості поверхні, потужності верстату, складу використовуваної мастильно-охолоджуваної рідини (МОР) і ін. В більшості випадків при обробці гартованих та негартованих сталей використовують нормальний і білий електрокорунд. Монокорунд використовують для обробки жароміцних сплавів. При обробці чавуну, деяких кольорових сплавів використовують круги з чорного карбіду кремнію, а при шліфуванні титанових сплавів – із зеленого карбіду кремнію.

Глибину різання, поздовжню подачу (швидкість переміщення стола), поперечну подачу вибирають за табл. 2.9. При цьому слід враховувати, що для отримання нижчої шорсткості необхідна менша глибина різання. При зростанні поздовжньої подачі покращується відведення тепла, однак збільшується розбрикування МОР, зусилля різання і вібрації. Поперечна подача призначається пропорційно до робочої ширини абразивного круга.

Таблиця 2.9

Елементи режиму різання при плоскому шліфуванні

Матеріал оброблюваної деталі	Характер обробки	Глибина різання, мм	Поперечна подача, доля ширини круга на хід стола	Поздовжня подача, м/хв
Інструментальні матеріали	Чорнова	0,05...0,15	0,04...0,10	3...8
	Чистова	0,01...0,015	0,02...0,06	3...8
Конструкційна сталь	Чорнова	0,02...0,06	0,4...0,7	8...30
	Чистова	0,015...0,02	0,2...0,3	15...20
Чавун	Чорнова	0,05...0,1	0,5...0,8	20...85
	Чистова	0,005...0,02	0,2...0,3	15...30

Таблиця 2.10

Максимально допустимі колові швидкості для шліфувальних кругів

Форма круга	Позначення форми	Колова швидкість на зв'язці, м/с		
		Керамічній	Бакелітовій	Вулканітовій
Плоский прямий	ПП	30...35	40	35
Плоский з виточкою	ПВ	35	—	—
Дисковий	Д	—	50	50
Чашечний конічний	ЧК	25...30	30...35	—
Чашечний циліндричний	ЧЦ	25...30	30...35	—
Тарільчастий	1Т, 2Т, 3Т	25	30	20

Частота обертання шліфувального круга обмежується його міцністю (здатністю не руйнуватися під дією значних відцентрових зусиль при високочастотному обертанні). Її вибирають в залежності від виду зв'язки, профілю круга і подачі. При цьому її слід брати близькою до максимально допустимої (табл. 2.10) для забезпечення найвищої продуктивності та чистоти поверхні при мінімальному зношуванні кругів. Продуктивність обробки росте пропорційно збільшенню швидкості різання.

При шліфуванні використовують МОР. Частіше всього це сульфозфрезол, водяні розчини кальцинованої соди, емульсолу, тринатрійфосфату й ін. При

чистовій обробці використовують суміш гасу (10%) і машинного масла або сульфозфрезолу. Чистота МОР впливає на шорсткість поверхні: при вмістові домішок близько 0,1% проходить погіршення шорсткості на один клас. МОР повинна подаватися струменево з розрахунку 5...7 л/хв. на кожних 10 мм ширини круга.

Обладнання, інструменти, матеріали

- верстат вертикально-фрезерний 6Р12;
- фрези різного типу;
- оправки фрезерні;
- зразки профрезерованих поверхонь;
- лещата машинні;
- верстат плоскошліфувальний;
- круги абразивні різнотипні;
- заготовки з різних матеріалів;
- штангенциркуль.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію вертикально-фрезерного та плоскошліфувального верстатів, призначення їх основних вузлів і механізмів, правила налагодження верстатів на розрахункові режими обробки.

2. Ознайомитися з основними типами фрез та абразивних інструментів, способами їх закріплення на верстатах, з основними операціями обробки заготовок на фрезерному та шліфувальному верстатах.

3. Ознайомитися з технологічним процесом фрезерної та шліфувальної обробки на наявних в лабораторії верстатах з використанням різного технологічного устаткування.

3. За індивідуальним завданням (див. табл. 2.11) обчислити технологічні параметри для налаштування фрезерного верстата для обробки деталі згідно зі своїм варіантом. При цьому за вказаною швидкістю різання V , м/хв., і діаметром фрези D , мм, визначити необхідну частоту обертання шпинделя верстата, об/хв.:

$$n = 1000V/\pi D \quad (2.17)$$

і прийняти для встановлення на верстаті розраховану частоту, або найближчу меншу.

4. Обчислити, як впливають параметри режиму різання на продуктивність обробки.

Таблиця 2.11

Індивідуальне завдання

Варіант	Швидкість різання, V , м/хв.	Подача S , мм/зуб	Діаметр фрези, D , мм	К-сть зубів, z	Прох. i	Фреза	Верстат	Оброблювана поверхня
1	15,7	0,04	110	30	2	Торцева	Вертик.	Плоска, $L=200$
2	15,7	0,05	80	50	1	Дискова	Гориз.	Паз сегментної шпон., $h=8$
3	15,7	0,06	24	6	1	Кінцева	Вертик.	Коло, $D=80$
4	20,4	0,07	10	6	1	Кінцева	Вертик.	Паз призматичної шпон., $L=40$, $h=6$
5	20,4	0,08	100	25	3	Циліндр	Гориз.	Плоска, $L=180$
6	20,4	0,09	24	6	1	Кінцева	Вертик.	Прямокут. контур 80×160
7	31,4	0,10	30	7	1	Кінцева	Вертик.	Коло, $D=100$
8	31,4	0,04	100	40	3	Торцева	Вертик.	Плоска, $L=140$
9	31,4	0,05	22	6	1	Кінцева	Вертик.	Півколо, $D=120$
10	40,6	0,06	60	24	3	Циліндр	Гориз.	Плоска, $L=200$
11	40,6	0,07	18	6	1	Кінцева	Вертик.	Квадрат, $a=140$
12	40,6	0,08	60	27	1	Дискова	Гориз.	Паз сегментної шпон., $h=6$
13	62,8	0,09	100	25	3	Циліндр	Гориз.	Плоска, $L=150$
14	62,8	0,10	80	46	1	Дискова	Гориз.	Паз сегментної шпон., $h=6$
15	62,8	0,04	20	7	1	Кінцева	Вертик.	Коло, $D=100$

Зміст звіту:

1. Тема роботи.

2. Результати роботи:

А) Обробка матеріалів тиском

– розрахунок коефіцієнта відбуртовування і висоти бурта;

– ескізи запропонованих деталей і технологічні схеми виконання поверхневого пластичного деформування на них.

Б) Токарна обробка

– ескіз різця за індивідуальним завданням;

– ескізи поверхонь, які можна обточити запропонованим різцем;

– розрахунок основного часу при точінні за індивідуальним завданням.

В) Свердлильна обробка

– технологічна послідовність виконуваних переходів;

– типи й діаметри використовуваних інструментів для кожного переходу;

– розрахунок режимів різання для кожного переходу з ескізами та розмірами, необхідними для розрахунків.

Г) Фрезерна обробка

– індивідуальне завдання (табл. 2.11), викресливши ескіз обробки і розрахувати частоту обертання шпинделя, основний технологічний час і продуктивність обробки деталі за 1 зміну (8 год.) на заданому режимі. Умовно вважати час обробки однієї деталі рівним основному часу.

3. Висновки за результатами роботи.

Контрольні запитання

1. Яке технологічне устаткування необхідне для здійснення листового штампування?

2. Які матеріали та заготовки використовують для листового штампування?

3. Класифікація операцій листового штампування.

4. Класифікація пресів для листового штампування.

5. Класифікація штампів для листового штампування.

6. Основні конструктивні елементи штампа та їх функціональне призначення.

7. Конструкція і принцип роботи кривошипного преса.

8. Правила техніки безпеки при роботі на штампувальному обладнанні.

9. Класифікація методів такої обробки поверхневим пластичним деформуванням.

10. Коли використовують накочування різьби? Яке устаткування використовується при цьому? Переваги та недоліки методу.

11. Які поверхні обробляють на токарних верстатах?

12. Які типи різців використовують при точінні?

13. Які інструментальні матеріали використовують для виготовлення різців?

14. Які властивості повинні мати інструментальні матеріали?

15. Характеристика режиму різання при точінні.

16. З яких міркувань призначають режими різання при точінні?

17. Від яких чинників залежить якість обточених поверхонь?

18. Як розрахувати основний час при точінні?

19. Основні вузли токарно-гвинторізного верстата та їх призначення.

20. Коли доцільно використовувати токарні верстати з ЧПК?

21. Яке призначення токарно-карусельних верстатів?

22. Який рух є головним при точінні?

23. Як переміщається різець на токарному верстаті?

24. Види браку при точінні та їх причини.

25. Яким чином можна отримати фасонну поверхню типу тіла обертання?

26. Коли на токарному верстаті доцільно використовувати люнет?

27. Класифікація свердлильних верстатів.

28. Які інструменти використовують на свердлильних верстатах?

29. Які матеріали використовують для виготовлення свердел, мітчиків, зенкерів, розверток?

30. Які елементи визначають режими різання при свердлінні?

31. Від чого залежить вибір швидкості різання при свердлінні?

32. Як вибирають величину подачі при свердлінні, зенкеруванні, різьбонарізанні?

33. Який інструмент використовується на свердлильному верстаті для досягнення найвищої точності обробки отворів?

34. Технічна суть процесу фрезерування.

35. Назвіть основні вузли фрезерного верстата.

36. Які види фрез використовують для фрезерування?

37. Головний рух при фрезеруванні.

38. Як здійснюють подачі при фрезеруванні та які типи подач розрізняють?
39. Що називають основним технологічним часом при фрезеруванні?
40. Виходячи з чого визначаються режими різання при фрезеруванні?
41. 45 . Попутне та зустрічне фрезерування.
42. Як класифікують фрези за конструкцією?
43. Які типи поверхонь можна отримати фрезеруванням?
44. Що називається шліфуванням?
45. Що являє собою абразивний інструмент?
46. В чому особливість процесу різання абразивним інструментом?
47. Чим визначається твердість абразивного круга?
48. Абразивні матеріали для виготовлення шліфувальних кругів.
49. Як впливає зернистість абразивного круга на параметри шліфування?
50. Які рухи розрізняють при шліфуванні?
51. Які елементи визначають режим різання при шліфуванні?
52. Перелічіть типи поверхонь, які обробляють на плоскошліфувальних верстатах.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ТЕХНОЛОГІЯ РУЧНОГО ДУГОВОГО ТА КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Мета роботи

Ознайомитися з обладнанням для ручного дугового та контактної зварювання, методикою визначення режимів зварювання і налагодженням обладнання на ці режими, а також основними прийомами ручного дугового та контактної зварювання.

Короткі теоретичні відомості

Зварюванням називають технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань шляхом утворення міжатомних зв'язків між зварюваними частинами. Найпоширенішими у техніці серед інших способів зварювання є ручне дугове та контактне зварювання.

А) Ручне дугове зварювання

Широке використання ручного дугового зварювання зумовлене його **перевагами**, а саме: відносна універсальність, можливість зварювання у всіх просторових положеннях, просте обладнання, висока концентрація тепла і продуктивність процесу.

При ручному дуговому зварюванні електрод вручну подають у зону горіння дуги і переміщують уздовж зварюваного виробу. Схема процесу зварювання металевим покритим електродом зображена на рис. 3.1.

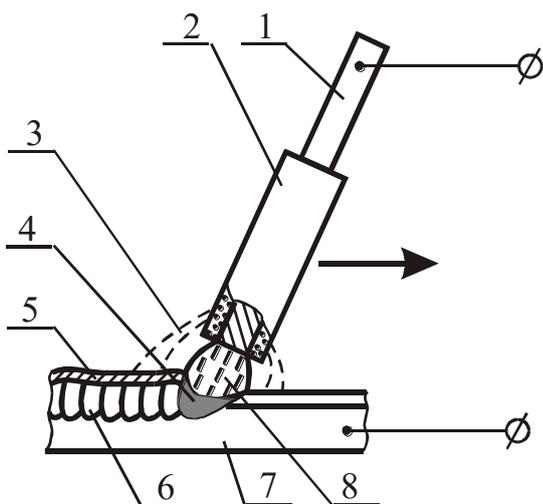


Рис. 3.1. Ручне дугове зварювання металевим електродом з покриттям

Дуга горить між стержнем електрода 1 і основним матеріалом 7. У цій зоні створюється **температура 6000°... 8000°С**. Під дією тепла дуги електрод і основний метал плавляться, утворюючи металеву зварну ванну 4. Краплини рідкого металу 8 із розплавленого електродного стержня переносяться у ванну через дуговий проміжок. Разом із стержнем плавиться покриття електрода 2, утворюючи газовий захист 3 навколо дуги і рідку шлакову ванну на поверхні розплавленого металу.

Металева і шлакова ванни разом утворюють зварювальну ванну. Після проходження дуги (на рис. 3.1 напрямок вказаний стрілкою) зварювальна ванна

застигає й утворюється зварний шов 6. Рідкий шлак, охолоджуючись, утворює на поверхні шва тверду шлакову оболонку, яку обстукують після охолодження шва.

Робочим місцем для ручного дугового зварювання є **зварювальний пост**, обладнаний джерелом живлення, струмопроводами, необхідними інструментами, пристосуваннями та устаткуванням.

У стаціонарних постах (цехи, кабіни) в якості **джерела живлення** використовуються зварювальні трансформатори і випрямлячі, які вмикають безпосередньо в цехову електромережу. В рухомих постах (трубопроводи, габаритні металоконструкції) для живлення використовують зварювальні генератори, які приводять в дію від двигуна внутрішнього згорання і транспортуються на шасі півпричіпа.

Основним **робочим інструментом** зварника є електродотримач, який призначений для утримування електрода й підведення струму від джерела живлення через струмопроводи. Переріз струмопроводів вибирають із розрахунку $5...7 \text{ A/мм}^2$.

Для захисту обличчя й очей зварювальника від променів електричної дуги і розбризкування металу використовують спеціальні **щитки або маски** з вогнетривких діелектриків (фібра). Вони обладнані скляним світлофільтром (розмір $52 \times 102 \text{ мм}$). Для захисту тіла використовують спецодяг із щільного брезенту або сукна.

До **допоміжних інструментів** для ручного дугового зварювання відносять сталеві дротяні щітки для зачищення країв перед зварюванням і шлакової кірки після зварювання, молоток-шлаковідділювач, зубило, набір шаблонів для перевірки розмірів швів, сталеві клейма для нумерації швів, сталеві лінійка, кутник, крейда, ящик для зберігання і перенесення інструментів.

Зварювальні пости, крім того, обладнують засобами пожежогасіння й першої медичної допомоги.

Джерела живлення для ручного дугового зварювання

Для забезпечення стійкого горіння дуги і, як наслідок, високої якості зварного з'єднання джерела живлення для дугового зварювання повинні задовольняти таким **вимогам**:

– мати напругу холостого ходу (при розімкненому зварювальному колі) достатню для легкого збудження дуги та її стійкого горіння, але не вище допустимих технікою безпеки норм ($80...90 \text{ В}$);

– володіти достатньою потужністю для виконання зварювальних робіт;

- забезпечувати такий струм короткого замикання, який тривалий час не викликав би перенагрівання і вихід з ладу обмоток;
- забезпечувати швидке відновлення напруги дуги після коротких замикань;
- мати пристрої для плавного регулювання сили зварювального струму.

Одним із найпоширеніших у промисловості зварювальних трансформаторів є **трансформатор** ТСК-500. Він складається з магнітопровідного осердя 1 (рис. 3.2), на якому нерухомо встановлена первинна обмотка 2 і рухома вторинна 3. Первинна обмотка вмикається в силову електромережу змінної напруги $U_1=380\text{ В}$ через конденсатор 4 і запобіжники 5. До затискачів вторинної обмотки з напругою U_2 підключають струмопроводи з електродотримачем. Котушки 2 і 3 складаються з двох частин, з'єднаних паралельно. Конденсатор 4 забезпечує підвищення коефіцієнта потужності.

Регулювання зварювального струму здійснюється шляхом переміщення обмотки 3 уздовж магнітопроводу 1 (на рис. 6.2 зображено стрілками). При опусканні котушки 3 (зближення її з котушкою 2) магнітне розсіювання зменшується і зварювальний струм зростає. При підніманні котушки 3 отримують зворотний ефект. Переміщення котушки 3 здійснюється за допомогою гвинтової пари від руки зварника. Межі регулювання зварювального струму – від 165 до 650 А.

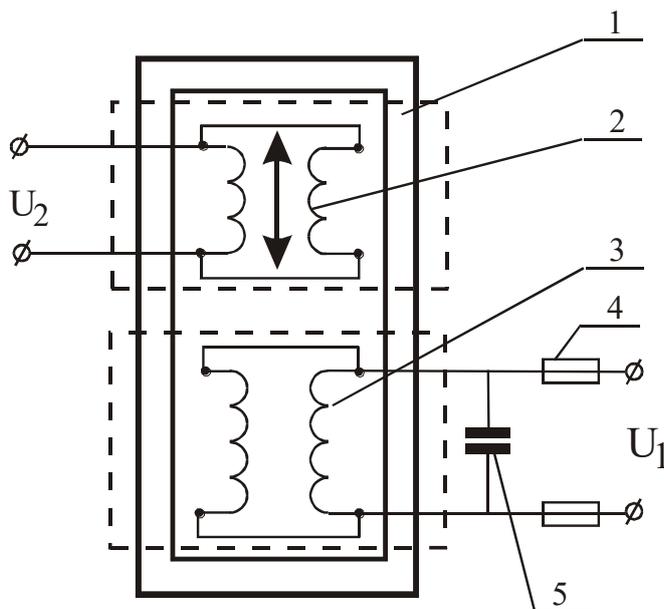


Рис. 3.2. Електрична схема зварювального трансформатора

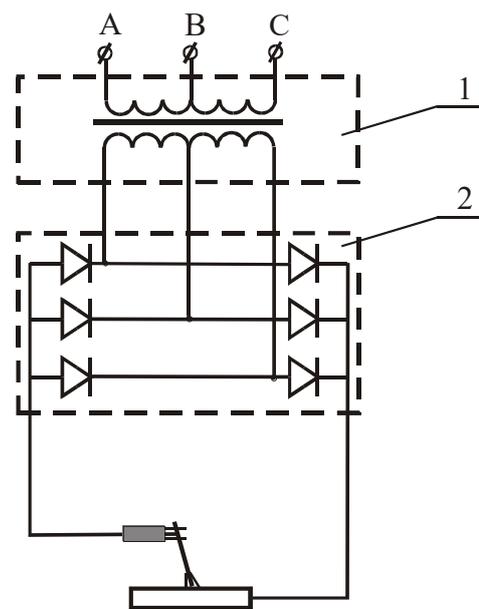


Рис. 3.3. Електрична схема зварювального випрямляча

Зварювальні випрямлячі – це джерело постійного зварювального струму. При їх використанні підвищується стійкість горіння дуги, покращуються умови зварювання в різних просторових положеннях. Зварювальні випрямлячі (рис. 3.3) складаються із зварювального трансформатора 1 з регулюючим пристроєм і блока напівпровідникових випрямлячів 2.

Дія зварювальних випрямлячів ґрунтується на тому, що напівпровідникові елементи проводять струм тільки в одному напрямку. В переважній більшості їх виготовляють за трифазною схемою, перевага якої полягає у великій кількості пульсацій напруги і більш рівномірному завантаженні силової електричної мережі.

За останні роки все більшого застосування набрали **інверторні зварювальні апарати**.

Перевагою інверторних зварювальних апаратів є:

- низька маса (в 15...20 разів менша, ніж в трансформаторів з такими ж струмами зварювання);
- високий коефіцієнт корисної дії (від мережі споживаються менші струми в порівнянні з трансформаторними апаратами при однакових струмах зварювання);
- імпульсне запалювання дуги;
- обмеження струму короткого замикання;
- постійний струм на живленні електричної дуги (як у випрямлячів).

Недоліками інверторних зварювальних апаратів є:

- вища вартість (в 2...3 рази дорожчі за зварювальні трансформатори);
- вищі вимоги до умов експлуатації, зумовлені складною електронною схемою (недопустимість експлуатації в умовах підвищеної вологості або запиленості).

Зварювальні генератори – це спеціальні генератори постійного струму, які дозволяють отримати стійке горіння дуги. Зварювальний генератор постійного струму складається із статора з магнітними полюсами і якоря з обмоткою і колекторами. При роботі генератора якор обертається в магнітному полі, що створюється полюсами статора. Обмотка якоря перетинає магнітні лінії полюсів генератора, і тому у витках обмотки виникає змінний струм, який з допомогою колектора перетворюється в постійний. Обертання якоря забезпечується двигуном внутрішнього згорання. До колектора притиснуті вугільні щітки, через які постійний струм підводиться до клем. До цих клем

під'єднують зварювальні провідники, які йдуть до електродотримача і зварювального виробу.

Найбільше поширення отримали зварювальні генератори із спадними зовнішніми характеристиками, що працюють за схемою із збудженням і розмагнічуючою послідовною обмоткою (рис. 3.4).

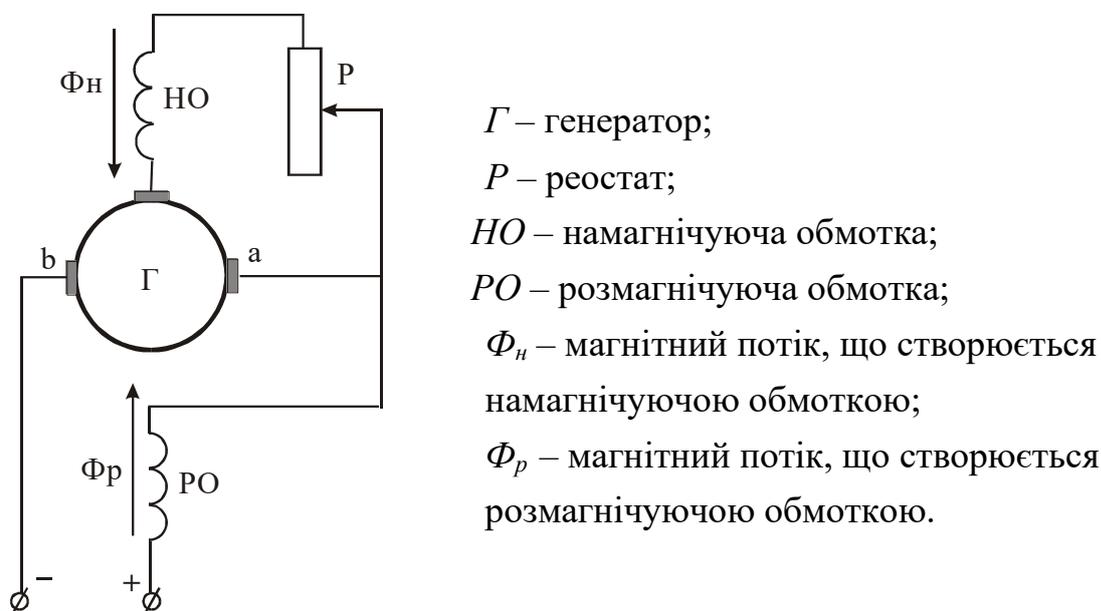


Рис. 3.4. Принципова електрична схема зварювального генератора

Такий генератор має намагнічуючу обмотку HO , напруга на яку знімається із щіток (a) і (b) самого генератора. Ця напруга майже постійна у своїй величині, тому магнітний потік (Φ_n) практично не змінюється. Розмагнічуюча обмотка (PO) ввімкнена у зварювальне коло послідовно з обмоткою якоря. Струм у колі самозбудження регулюється реостатом (P). Магнітний потік (Φ_n), що створюється намагнічуючою обмоткою (HO), протилежний по своєму напрямку до магнітного потоку (Φ_p), що створюється розмагнічуючою обмоткою (PO). Результуючий потік дорівнює різниці потоків

$$\Phi_{рез.} = \Phi_n - \Phi_p. \quad (3.1)$$

Із збільшенням струму в зварювальному колі буде збільшуватися (Φ_p), а (Φ_n) залишається незмінним. Результуючий потік ($\Phi_{рез.}$), електрорушійна сила і напруга на затискачах генератора буде спадати, створюючи спадну зовнішню характеристику генератора. **Зварювальний струм регулюється** реостатом P і секціонуванням послідовної обмотки PO , тобто зміною ампер-витків.

Режими зварювання

Під режимами зварювання розуміють сукупність контрольованих параметрів, що визначають умови зварювання. Параметри режиму зварювання поділяють на основні й допоміжні. До *основних параметрів* режиму ручного дугового зварювання відносять діаметр електроду, величину, тип і полярність струму, напругу на дузі, швидкість зварювання, число проходів. До *додаткових параметрів* відносять склад і товщину покриття електроду, положення електроду і положення виробу при зварюванні.

Діаметр електроду визначають за залежністю:

$$d_e = S \text{ при } 1,6 \leq S < 4 \text{ мм};$$
$$d_e = 3,5 + 0,125S \text{ при } 4 \leq S < 20 \text{ мм},$$

де S – товщина зварюваного матеріалу.

При $S < 1,6$ мм та $S > 20$ мм зварювати деталі ручним дуговим зварюванням не доцільно.

Сила зварювального струму, A

$$I_{зв} = d_e(20 + 6d_e). \quad (3.2)$$

Швидкість зварювання, $м/год$, визначається за формулою:

$$V_{зв} = 1000 I_{зв} \alpha_n / [\rho(p+5)d_e], \quad (3.3)$$

де α_n – коефіцієнт наплавлення електроду, $г/Агод$ (в практичних розрахунках для зварювання конструкційних сталей приймають $\alpha_n = 9,5$ $г/Агод$);

ρ – густина металу зварюваних деталей, $кг/м^3$ (для конструкційних сталей $\rho = 7800$ $кг/м^3$);

p – показник, що характеризує положення шва в просторі ($p=1$ для горизонтального, $p=2$ для нижнього, $p=3$ для вертикального шва).

Потужність корисної енергії N_δ , Вт, що виділяється на дузі, визначається за формулою:

$$N_\delta = I_{зв} \cdot U_\delta, \quad (3.4)$$

де U_δ – напруга на дузі, B (підтримується в межах 110...30 B).

Знаючи коефіцієнт корисної дії джерела живлення η (для більшості зварювальних трансформаторів $\eta = 0,84...0,87$), можна визначити потужність N_c , яку споживає джерело живлення від мережі:

$$N_c = N_d / \eta. \quad (3.5)$$

Виконання зварних швів ручним дуговим зварюванням

Найпоширенішими типами зварних з'єднань є стикові, внапусток, таврові й кутові (рис.6.5).

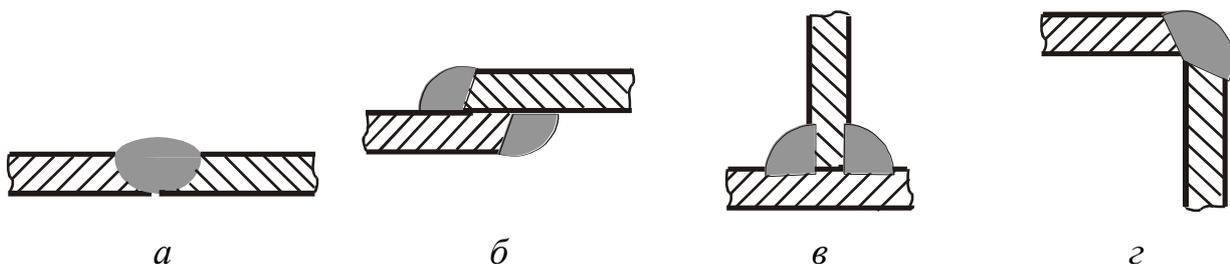


Рис. 3.5. Типи зварних з'єднань: стикове (а), внапусток (б), таврове (в) і кутове (г)

Залежно від товщини зварюваного матеріалу з'єднання виконують *без підготовки* кромки (при товщині від 4 до 6 мм з одностороннім зварним швом і при товщині до 12 мм із двостороннім швом) і з V та X-подібною *підготовкою* (рис. 3.6).

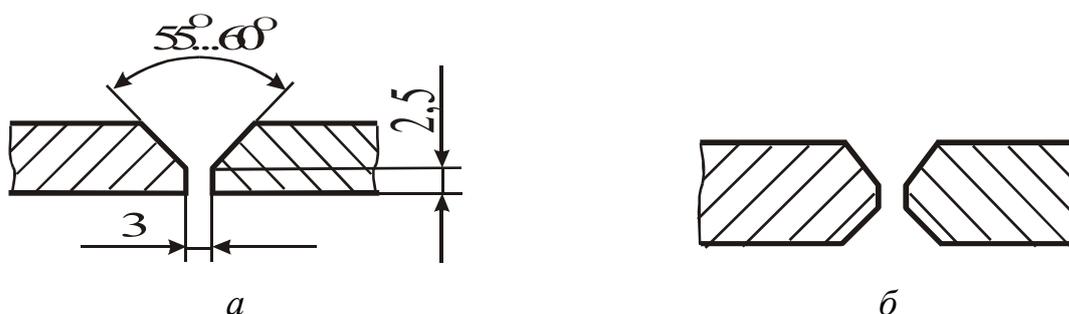


Рис. 3.6. Підготовка кромки до зварювання: V-подібна (а) і X-подібна (б)

Стикові V-подібні з'єднання без підварки застосовують при товщині зварюваних деталей понад 6 мм. Кут підготовки кромки $\alpha = 55^\circ...60^\circ$, величина притуплення $k = 2,5$ мм, величина зазору $a = 3$ мм. Таке з'єднання не придатне для конструкцій, які працюють при змінних або ударних навантаженнях.

Стикові X-подібні з'єднання використовують при товщині металу понад 14...16 мм. Геометричні параметри кромки такі ж, як і в V-подібному з'єднанні.

Отримані при підготовці кромок клинові лунки заповнюються розплавленим металом, що утворюється внаслідок горіння дуги між електродом і зварюваною деталлю.

Запалювання дуги виконують короткочасним замиканням струму в зварювальному колі. Для цього зварник наближає електрод до ділянки зварювання металу, закриває обличчя щитком і, опустивши електрод до зіткнення з металом, швидко відводить його на 2...3 мм, тобто на довжину дуги. В цей момент виникає електрична дуга, постійну довжину якої підтримують під час зварювання поступовим опусканням електроду до місця зварювання. Дугу можна запалити двома способами: доторкуванням і відведенням перпендикулярно вгору або «черканням» електродом, як сірником. Другий спосіб зручніший, але не придатний для вузьких і незручних місць.

У процесі зварювання необхідно підтримувати певну довжину дуги, яка залежить від марки і діаметра електрода. Орієнтовно нормальна довжина дуги повинна бути в межах:

$$l_d = (0,5 \dots 1,1) d_e, \quad (3.6)$$

де d_e – діаметр електрода.

Довжина дуги суттєво впливає на якість зварного шва. При довгій дузі плавлення електроду супроводжується сильним розбрикуванням металу. Шов отримується нерівний, з великою кількістю включень окислів. Довга дуга при горінні дає різкий і гучний звук.

Коротка дуга горить спокійно, навколо шва буде утворюватись незначна кількість дрібних крапель металу. Глибину проплавлення металу отримують більшою, а якість шва – кращою.

В процесі зварювання **електрод рухають** у трьох напрямках:

- поступально вздовж осі електрода для підтримування необхідної довжини дуги;
- вздовж осі шва для утворення валика;
- поперек осі шва для отримання шва, ширшого, ніж нитковий валик.

Поперечні коливальні рухи кінця електрода визначаються формою підготовки кромок, розмірами і положенням шва, властивостями зварюваного матеріалу, кваліфікацією зварювальника (рис. 3.7).

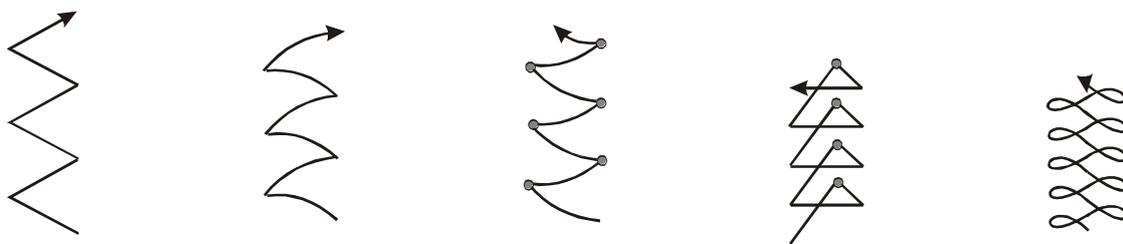


Рис. 3.7. Траєкторія руху кінця електрода

Практично найкращі результати отримують при ширині валика, що дорівнює $2,5 de$.

Кут нахилу електрода до виробу $\alpha=60^\circ \dots 75^\circ$. Ручне дугове зварювання низьковуглецевих сталей виконують електродами Е38, Е42, Е46 з покриттям СМ-5, АНО-2 й ін. Низьколеговані низьковуглецеві сталі зварюють електродами Е42А, Е50А з покриттям ООНИ-13/45, СМ-11 і ін.

Сталі типу 15М, 12ХМ, 12Х1Ф, 15Х1М1Ф і ін. зварюють електродами з втористокальцієвим покриттям типу Е-МХ і Е-ХМФ постійним струмом зворотньої полярності.

Зварювання середньо- і високовуглецевих сталей, а також чавуну дещо складніше і розглядається в спеціальній літературі. Труднощі викликає поява поверхневих тріщин, раковин, утворенням мартенситної і проміжних структур.

Дефекти зварних швів

У процесі утворення зварного з'єднання в металі шва й зоні термічного впливу (ЗТВ) можуть виникати дефекти, тобто відхилення від встановлених норм і вимог, які призводять до зниження міцності, експлуатаційної надійності, точності а також погіршення зовнішнього вигляду виробу. Дефекти зварних з'єднань розрізняють за причинами виникнення та їх розміщенням (зовнішні й внутрішні).

Залежно від причин виникнення їх поділяють на дефекти, пов'язані з металургічними й тепловими явищами (тріщини, пори, шлакові включення) і дефекти формування швів (непровари, підрізи, пропали, напливи, незаварені кратери та ін.) (рис. 3.8). Вони зумовлені порушенням режимів зварювання, неправильною підготовкою кромки, низькою кваліфікацією зварника й іншими порушеннями технологічного процесу.

Зовнішні дефекти можуть бути виявлені візуальним контролем. Для виявлення внутрішніх дефектів потрібні спеціальні методи безруйнівного і руйнівного контролю.

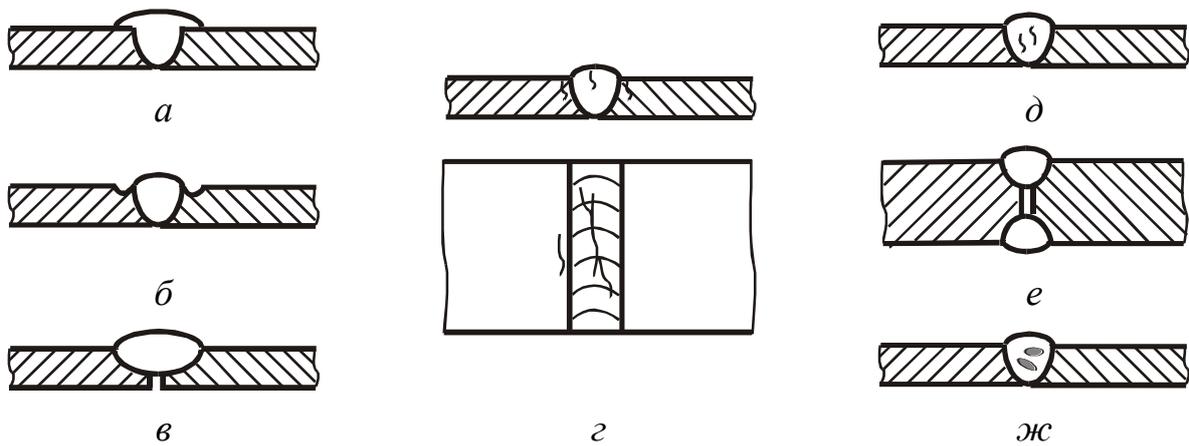


Рис. 3.8. Дефекти зварних з'єднань: наплив (а), підріз (б), непровар (в), зовнішні тріщини і пори (z), внутрішні тріщини і пори (д), внутрішній непровар (е), шлакові вclusions (ж)

Якість зварних з'єднань перевіряють такими видами контролю:

- попереднім, у процесі якого виконують перевірку якості вихідних матеріалів, стан оснастки, зварювального обладнання й приладів, кваліфікації зварників;
- поточним у процесі виконання зварювальних робіт, що передбачають перевірку дотримання технології зварювання – режимів роботи, зачищення проміжних швів, заварювання кратерів і т.д.;
- кінцевим контролем готових зварних конструкцій, який виконують згідно вимог до виробу.

Залежно від того, порушується чи не порушується цілісність зварного з'єднання при контролі, розрізняють руйнівні й безруйнівні методи контролю.

До **безруйнівних методів** контролю якості зварних з'єднань відносять:

- зовнішній огляд (візуальний контроль);
- контроль на непроникність гідравлічними випробуваннями, газом, стиснутим повітрям, вакуумуванням (перевіряють посуд для зберігання рідин, трубопроводи);
- методи, що застосовують для виявлення дефектів, які виходять на поверхню зварних з'єднань (магнітний, електромагнітний, люмінесцентний, кольоровий);
- методи, що застосовують переважно для виявлення внутрішніх дефектів (радіаційний, ультразвуковий, магнітографічний).

До **руйнівних методів** контролю зварних з'єднань відносять:

- механічні випробування;
- металографічні дослідження;

– спеціальні випробування, з метою отримання характеристик зварних з'єднань.

Ці випробування виконують на зварних зразках, які вирізають із зварного виробу або зі спеціально зварених контрольних з'єднань. Метою цих випробувань є:

- оцінювання міцності й надійності зварних з'єднань і конструкцій;
- оцінювання якості основного й зварного матеріалів;
- оцінювання правильності вибраної технології;
- оцінювання кваліфікації зварників.

На робочому місці зварник проводить лише зовнішній огляд шва. Він служить для виявлення зовнішніх дефектів зварних швів: невідповідність геометричних розмірів швів проектним, підрізи, непровари, поверхневі тріщини і зовнішні пори, нерівномірність шва, незаплавлені кратери та ін. Зовнішній огляд проводять неозброєним оком або лупою зі збільшенням до 10-разового. Контролю зовнішнім оглядом піддають всі зварні конструкції.

Інші способи контролю проводять фахівці в спеціальних лабораторіях. Їх суть розглядається в спеціальній літературі.

Техніка безпеки при ручному дуговому зварюванні

Техніка безпеки – це сукупність організаційних і технічних заходів, спрямованих на створення безпечних і здорових умов праці.

При ручному дуговому зварюванні основними **небезпечними чинниками** є:

- електрична напруга, яка може призвести до ураження струмом;
- високоінтенсивне ультрафіолетове випромінювання електричної дуги, яке може уражати зір і відкриті ділянки шкіри;
- висока температура розплавленого металу може стати причиною пожеж і опіків;
- шкідливі гази, пил і випаровування, які виділяються при зварюванні, можуть зумовити отруєння людського організму і спричинити професійні захворювання (силікоз).

Електробезпека досягається:

- використанням технічно справного обладнання;
- заземленням корпусних елементів обладнання;
- індивідуальними засобами захисту (спецодяг, взуття, ізолюючі килимки);
- дотриманням умов роботи (сухі закриті приміщення або спеціальні засоби захисту).

При ураженні електричним струмом потерпілому надають допомогу:

- звільняють від електропровідників (з дотриманням техніки безпеки);
- забезпечують доступ свіжого повітря.

При втраті потерпілим свідомості негайно викликають швидку медичну допомогу, а до прибуття лікаря роблять штучне дихання.

Захист очей і обличчя від випромінювання (світлового, ультрафіолетового й інфрачервоного) здійснюється щитками і масками. Для захисту оточуючих від випромінювання дуги в стаціонарних умовах встановлюють закриті кабінки, а при будівельних і монтажних роботах використовують переносні щити і ширми.

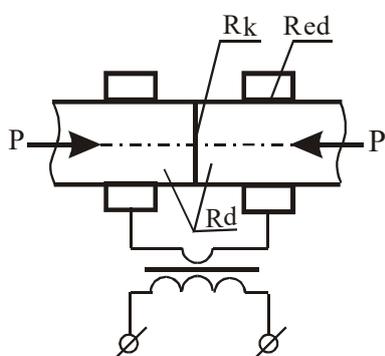
Причинами пожежі при зварювальних роботах можуть бути іскри і краплі розплавленого металу і шлаку. Це потрібно враховувати при виконанні зварювальних робіт, захищати легкозаймисті предмети від займання, а в кращому випадку уникати сусідства з ними. Зварювальний пост повинен бути обладнаний засобами пожежогасіння.

Захист від отруєння шкідливими газами, пилом і випарами досягається використанням місцевої та загальної вентиляції.

Б) Контактне зварювання

Контактне зварювання – основний вид зварювання тиском. **Контактне зварювання** – це процес утворення нероз’ємних з’єднань при нагріванні металу електричним струмом, який проходить через контакт, і пластичної деформації зони з’єднання під дією стискаючого зусилля. Завдяки високій продуктивності, надійності з’єднань, високому рівню механізації й автоматизації, контактне зварювання широко використовується в промисловості.

Місце з’єднання при контактному зварюванні розігрівається електричним струмом, який проходить через метал (рис. 3.9).



Кількість теплоти Q (Дж), яка виділяється при проходженні електричного струму, визначається за законом Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R \tau, \quad (3.7)$$

де I – зварювальний струм, А;

R – повний опір між електродом зварювальної машини, Ом;

τ – час проходження струму, с.

Рис. 3.9. Принципова схема контактного зварювання

Опір R зростає зі збільшенням довжини провідника l ; питомого опору ρ і зменшенням площі поперечного перерізу провідника F :

$$R = m \frac{\rho \cdot l}{F}, \quad (3.8)$$

де $m \leq 1$ – коефіцієнт поверхневого ефекту, зумовлений нерівномірним розподілом струму по перерізі провідника.

Повний опір R складається із опору деталей R_d , опору між електродом і деталлю R_{ed} і опору зварювального контакту R_k між деталями (рис. 6.9), тобто

$$R = 2R_d + 2R_{ed} + R_k \quad (3.9)$$

Опір зварювального контакту R_k є найбільшим, оскільки поверхні зіткнення заготовок навіть після ретельної підготовки мають мікронерівності й дотикаються лише в окремих точках (рис. 3.10).

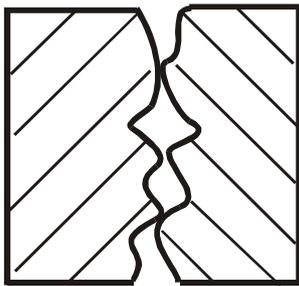


Рис. 3.10. Фізичний контакт зварювальних поверхонь

Завдяки цьому дійсний переріз F_k контакту, через який проходить струм, різко зменшується, опір різко збільшується і в зоні контакту виникає висока густина струму. Крім того, на поверхні зварювального металу є плівки окислів із малою електропровідністю ρ , які також збільшують опір R_k . Підвищення температури в зоні контакту, збільшуючи ρ , додатково сприяє збільшенню R_k у процесі зварювання.

Оскільки *електроди виготовляють із матеріалів з високою електричною провідністю* (мідь, бронза), то опір R_k завжди більший за R_{ed} і, відповідно, в точці контакту зварюваних поверхонь *виділяється більша кількість тепла*, ніж на контактах "Електрод-деталь".

У результаті значної густини струму на R_k метал нагрівається до термопластичного стану або до оплавлення. При безперервному стисканні нагрітих деталей утворюються нові точки зіткнення і так до того часу, доки не пройде зближення всієї площі зварюваних поверхонь до відстані їх міжатомної взаємодії, тобто відбувається зварювання.

Основними способами електричного контактного зварювання є стикове, точкове і шовне.

Стикове контактне зварювання – це вид контактного зварювання, при якому з'єднання зварюваних частин відбувається по всій площині стику (рис. 3.11).

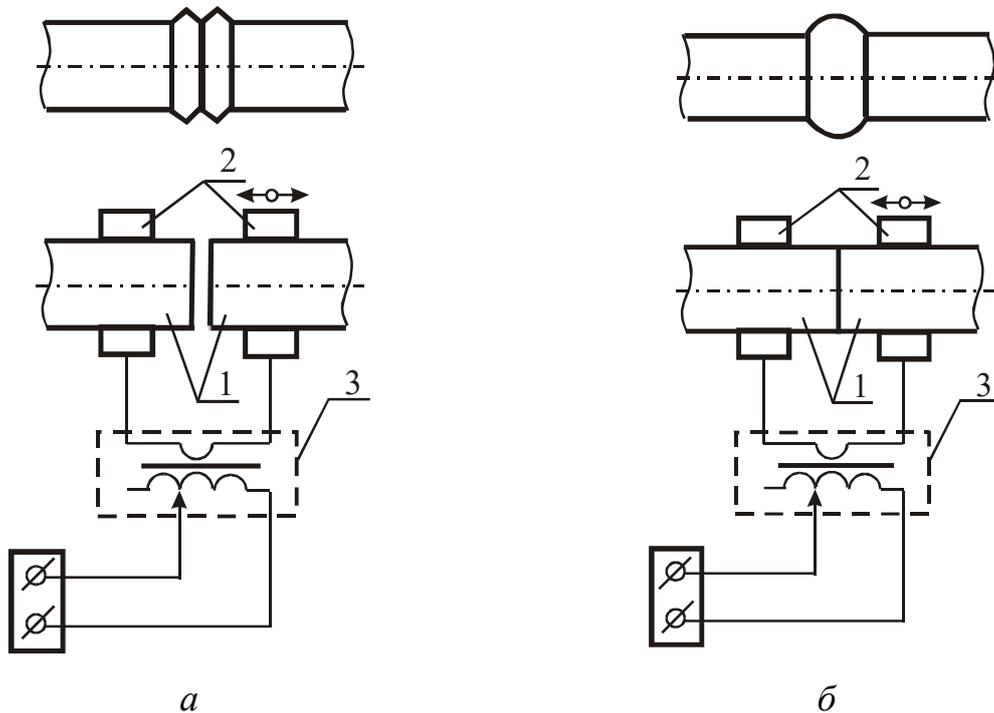


Рис. 3.11. Стикове контактне зварювання опором (а) і оплавленням (б)

При стиковому зварюванні заготовки 1 закріплюють у затискачах стикової машини. Один із затискачів 2 (на рис. 3.11 – правий) – рухомий, інший – нерухомий. Електричний струм до затискачів 2 подається через гнучкі шини від вторинної обмотки зварювального трансформатора 3, первинна обмотка якого ввімкнена до мережі змінного струму через вмикаючий пристрій. За допомогою силового механізму осаджування рухомий затискач 2 на плиті переміщується і зварювані деталі стискаються зусиллям P .

Розрізняють стикове зварювання опором (рис. 3.11,а) і оплавленням (рис. 3.11, б). **Зварювання опором** – це стикове зварювання з розігріванням матеріалу зварюваних деталей поблизу поверхні їх дотику до пластичного стану і наступним осадженням. **Зварювання оплавленням** – стикове зварювання з розігріванням поверхні дотику деталей до оплавлення і наступним осадженням. Розрізняють зварювання безперервним й імпульсним оплавленням, а також оплавлення з підігрівом.

Параметрами режиму контактного зварювання є струм I (А) і його густина j (А/мм²), питоме зусилля стискання зварюваних деталей P (Па), час проходження струму τ (с), встановлена довжина L (мм).

Встановленою довжиною L називають відстань від торця заготовки до внутрішнього краю електрода стикової машини, виміряна перед початком зварювання.

Для правильного формування зварного з'єднання і його високих механічних властивостей необхідно, щоб процес зварювання відбувався в певній послідовності. Сумісне графічне зображення зміни параметрів при зварюванні називається **циклограмою зварювання**.

Циклограма контактного стикового зварювання зображена на рис. 3.12.

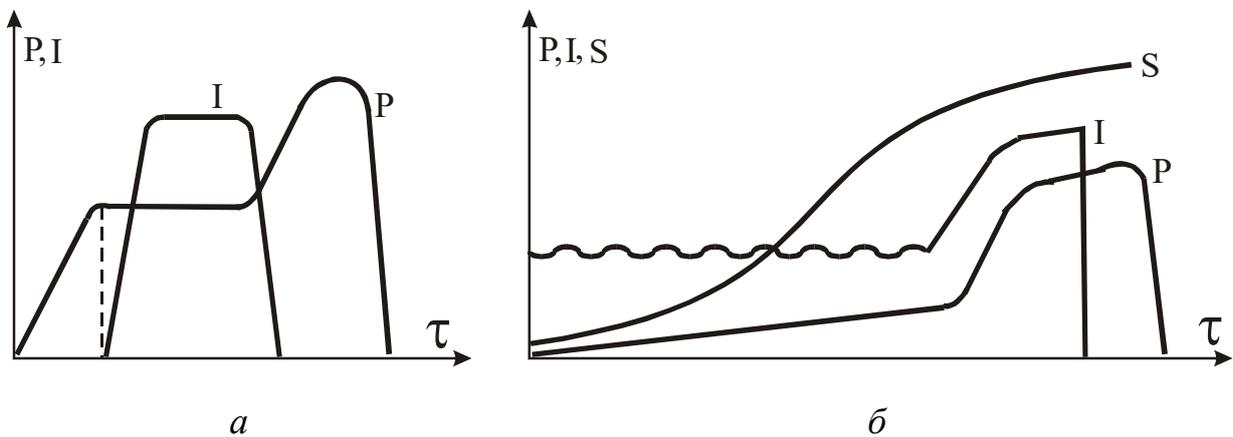


Рис. 3.12. Циклограма контактної зварювання опором (а) і оплавленням (б)

I – зварювальний струм, P – зусилля стискання,

S – переміщення рухомої плити, τ – час

При **зварюванні опором** чисто оброблені поверхні зварюваних деталей підводять до зіткнення, щільно стискають, потім вмикають зварювальний струм. Проходження струму через деталі зумовлює поступове нагрівання металу в стикі до температури, близької температурі плавлення. Потім збільшують зусилля (осаджують деталі). При цьому відбувається пластична деформація металу в стикові і утворюється з'єднання у розм'якшеному стані. При зварюванні опором не забезпечується достатньо повне видалення окисних плівок, важко досягнути рівномірного нагрівання деталей по всьому перерізу. Тому **зварювання опором використовують обмежено** для виробів із відносно незначним перерізом (до 200...250 мм²).

При **зварюванні безперервним оплавленням** деталі зближують до контакту при ввімкнутому зварювальному струмі і незначному зусиллі. Деталі доторкаються спочатку по окремих невеликих площадках (рис. 3.10), через які

проходять струми великої густини. Під дією цих струмів відбувається оплавлення металів у результаті безперервного утворення і руйнування контактів – перетинок між їх торцями. На торцях утворюється шар рідкого металу, який при осадці разом із забрудненнями і окисними плівками витискається із стику. З'єднання утворюється в розплавленому стані.

При імпульсному оплавленні затиснуті заготовки зближують під струмом з повільно зростаючою швидкістю при зворотно-поступальному русі. Імпульсне оплавлення локалізує нагрів і розширює високотемпературну зону, попереджуючи при цьому швидку кристалізацію розплаву. Після оплавлення всього перерізу вимикають струм і осаджують заготовки. Імпульсне оплавлення зменшує необхідну для оплавлення потужність у 10...15 і припуск на оплавлення в 4...5 разів.

Зварювання оплавленням використовують при створенні різноманітних конструкцій як малих, так і значних перерізів (до 10^5 мм²). Найтипівішими виробами, які зварюють стиковим зварюванням, є елементи трубчастих конструкцій, колеса, кільця, рейки, залізобетонна арматура й ін.

Для захисту металу від взаємодії з газами при стиковому зварюванні хімічноактивних металів використовують захисні середовища (інертні гази). Суттєвою проблемою стикового зварювання є необхідність зняття грату – металу, витиснутого осаджуванням. Грат зачищають вручну або механічними пристроями відразу після зварювання, після охолодження з'єднання або після термообробки.

Точкове зварювання – вид електричного контактного зварювання, при якому деталі з'єднують по окремих ділянках дотику (рис. 3.13).

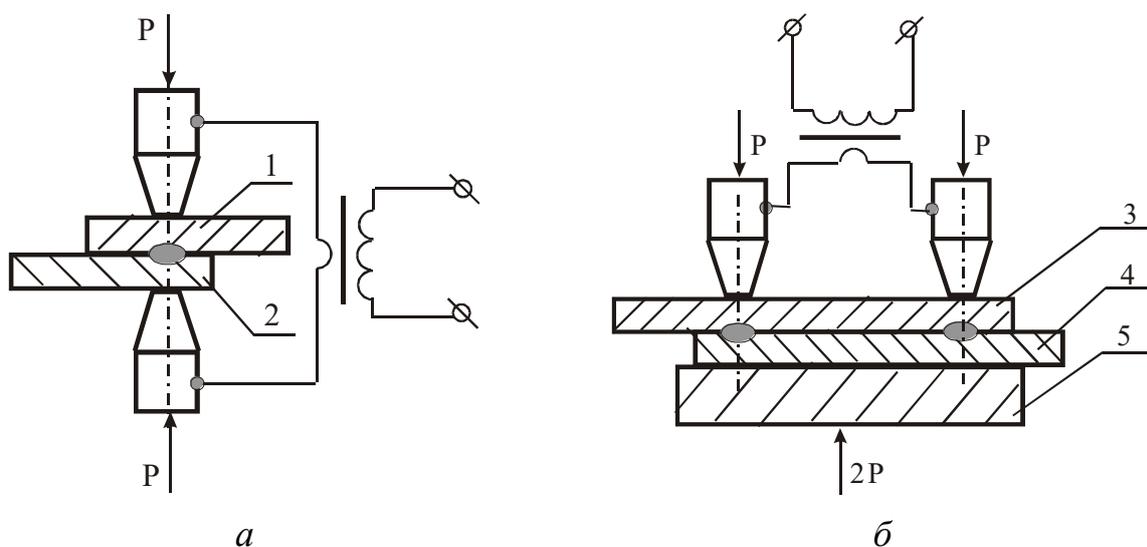


Рис. 3.13. Схема контактної точкової зварювання дво- (а) і одностороннього (б)

За кількістю одночасно зварюваних точок точкове зварювання може бути *одно-, дво- і багатоточковим*. При точковому зварюванні деталі складають внапусток, затискають між електродами, з'єднаними зі зварювальним трансформатором, при вмиканні якого деталі нагріваються короткочасним (0,01...0,5 с) імпульсом струму до появи розплавленої зони в місці контакту деталей або ядра точки. Зусилля після вимкнення струму зберігається деякий час для того, щоб кристалізація розплавленого металу точки відбувалася під тиском. Це попереджує появу усадкових дефектів – тріщин і рихлостей. Точкове зварювання, залежно від розміщення електродів стосовно зварюваних деталей, може бути двостороннім і одностороннім. При двосторонньому зварюванні (рис. 3.13, а) дві або більше заготовки 1 і 2 стискають між електродами точкової машини. При односторонньому зварюванні (рис. 3.13, б) струм розподіляється між верхнім і нижнім листами 3 і 4, причому нагрівання здійснюється струмом, який проходить через нижній лист. Для збільшення цього струму передбачена струмопровідна мідна підкладка 5. Одностороннім зварюванням можна з'єднувати деталі одночасно двома точками.

Параметрами режиму точкового зварювання є зусилля стиску, густина струму і час проходження струму. Одна із циклограм точкового зварювання зображена на рис. 3.14.

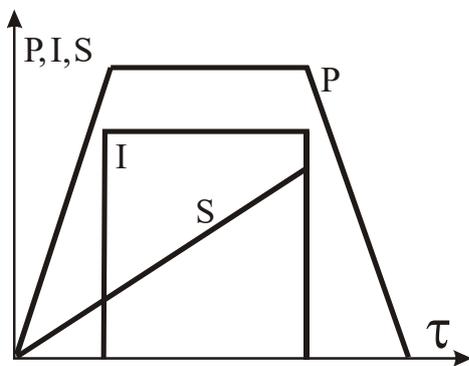


Рис. 3.14. Циклограма точкового зварювання:

I – зварювальний струм,

P – зусилля, τ – час

Увесь цикл зварювання складається із таких стадій:

– стискання зварюваних деталей між електродами;

– вмикання струму і розігрівання місця контакту до температури плавлення з утворенням ливарного ядра точки;

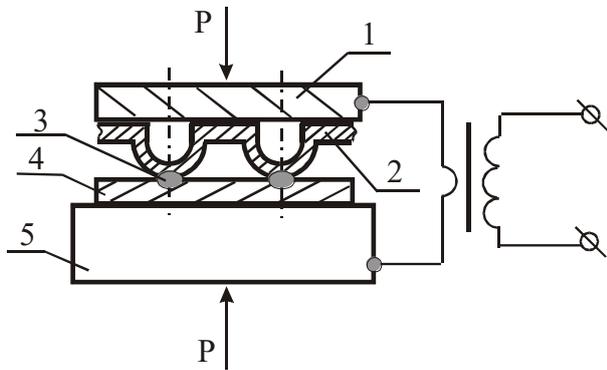
– вимкання струму і збільшення зусилля стиску для покращення структури зварювальної точки;

– зняття зусилля з електродів.

Точкове зварювання можна виконувати на м'яких і жорстких режимах. Для *м'якого режиму* характерні відносно мала густина струму (70...160 А/мм²), велика тривалість циклу (0,5...3 с) при порівняно низькому тиску 15...40 МПа), для *жорсткого режиму* – велика густина струму (160...360 А/мм²), високі тиски (до 150 МПа) і мала тривалість циклу (0,2...1,5 с).

М'які режими використовують переважно при зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей, жорсткі – корозійностійких сталей, алюмінієвих і мідних сплавів.

Різноманітністю точкового зварювання є *рельєфне зварювання* (рис. 3.15), коли первинний контакт деталей відбувається по наперед підготовлених виступах (рельєфах).



При рельєфному зварюванні заготовки 2 і 4 затискають між плоскими електродами 1 і 5. У початковий період зварювання наявність рельєфу 3 дає можливість забезпечити концентроване нагрівання в місці контакту при значній густині струму. Потім рельєфи посту-

Рис. 3.15. Схема рельєфного зварювання пово деформуються і на певній стадії відбувається плавлення й утворення ядра точки.

Шовне зварювання – вид контактного зварювання, при якому відбувається утворення безперервного з'єднання (шва) послідовним перекриванням точок одна за одною. При цьому утворюється міцне і щільне з'єднання. Для шовного зварювання електроди виготовляють у вигляді обертових дисків, за допомогою яких стискають деталі, підводить струм до ділянки зварювання та переміщують деталі (рис. 3.16).

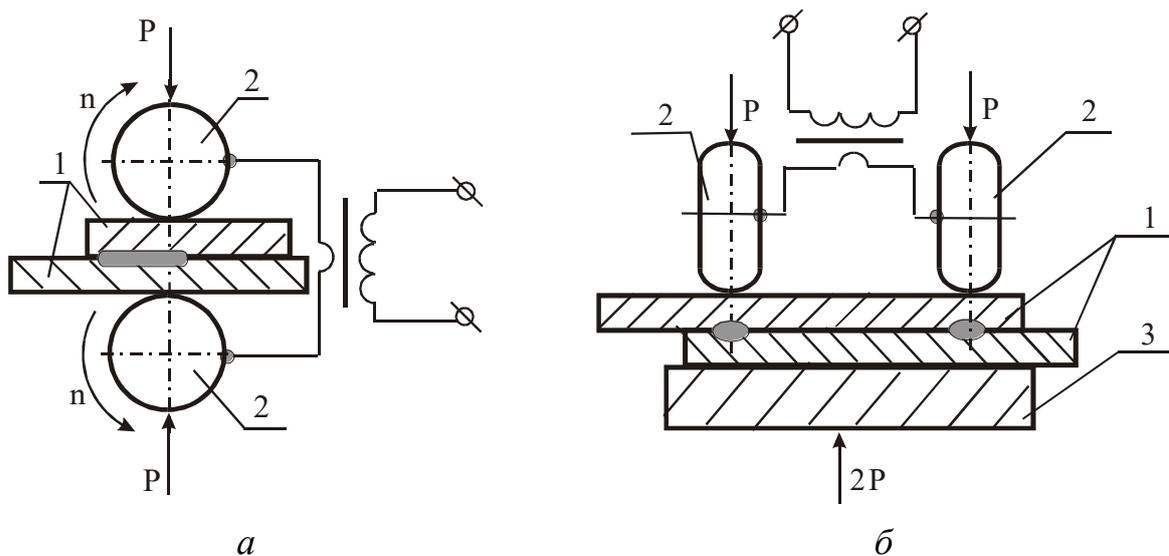


Рис. 3.16. Схема двостороннього (а) і одностороннього (б) шовного зварювання: 1 – заготовки, 2 – електроди, 3 – мідна підкладка

Як і при точковому зварюванні, деталі звичайно складають внапусток і нагрівають струмом без використання спеціальних засобів захисту нагрітого металу з атмосферою. Шовне зварювання, так як і точкове, можна виконувати при одно- і двосторонньому положеннях електродів-роликів.

На практиці використовують такі **способи шовного зварювання**: безперервне, перервне з безперервним обертанням роликів, перервне з періодичним обертанням роликів.

Неперервне шовне зварювання виконують суцільним швом при постійному тиску роликів на зварювані деталі й постійно ввімкненому зварювальному струмі впродовж всього процесу зварювання. Недоліком способу є підвищені вимоги до підготовки поверхні, однорідності, товщини й хімічного складу металу зварюваних деталей.

Перервне зварювання з безперервним обертанням роликів також виконують при постійному зусиллі стискання, а зварювальний струм умикають періодично. Шов формується у вигляді зварних точок, що перекривають одна одну. За таких умов забезпечується вища якість шва. При перервному зварюванні з періодичним обертанням роликів зварювальне коло вмикається в момент зупинки роликів (крокове зварювання). Такий спосіб забезпечує найякісніший шов, оскільки формування зварної точки відбувається під стискаючим зусиллям. Однак машини для такого способу зварювання є складнішими і з нижчою продуктивністю.

Циклограми шовного зварювання з безперервним і перервним умиканням струму зображені на рис. 3.17.

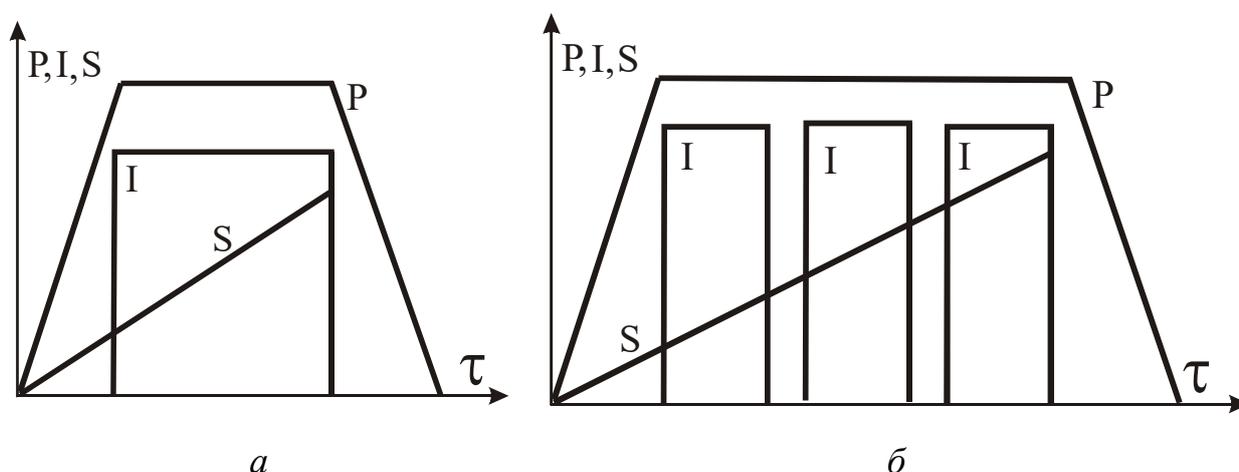


Рис. 3.17. Циклограми шовного зварювання: неперервного (а) та імпульсного (б)
 I – зварювальний струм, P – зусилля стискання, τ – час, S – переміщення роликів

Шовне зварювання використовують у масовому виробництві при виготовленні ємкостей з бляхи товщиною 0,3...3 мм, де необхідні герметичні шви (автомобільні баки для пального, каністри, резервуари).

Недоліком контактного зварювання є значна короткочасна потужність, що споживається від мережі в момент зварювання. Для усунення цього недоліку розроблені способи зварювання акумульованою енергією, яка накопичується, а потім використовується для зварювання. Після циклу зварювання йде процес накопичення енергії і знову зварювання. Найширше використання серед таких способів отримало конденсаторне зварювання (рис. 6.18). Енергія в конденсаторах C накопичується при їх заряджанні від джерела постійної напруги (генератора або випрямляча), а потім у процесі розрядки перетворюється у теплову енергію, яку використовують для зварювання. Накопичену в конденсаторах енергію A можна регулювати зміною ємності і напругою зарядки:

$$A = \frac{CU^2}{2}, \quad (3.10)$$

де C – ємність конденсаторів, Ф; U – напруга зарядки, В.

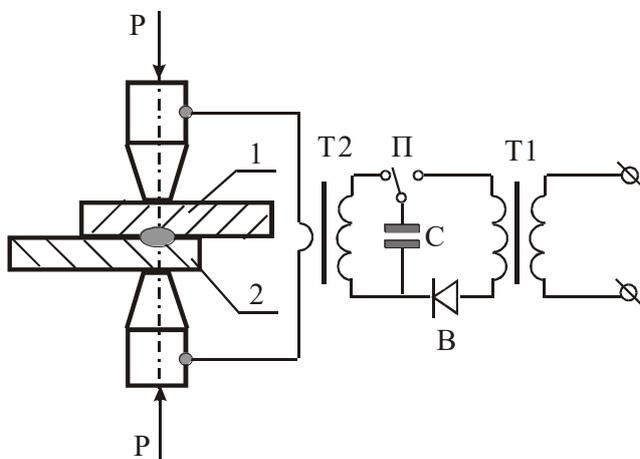


Рис. 3.18. Схема конденсаторного трансформаторного зварювання
 Т1 – підвищуючий трансформатор,
 Т2 – зварювальний трансформатор,
 В – випрямляч,
 П – перемикач

Існує два **види конденсаторного зварювання**: безтрансформаторне, коли конденсатори розряджаються безпосередньо на зварювані деталі, і трансформаторна, коли конденсатор розряджається на первинну обмотку зварювального трансформатора. Одночасно у вторинному колі зварювального трансформатора знаходяться попередньо стиснуті зварювані заготовки. Безтрансформаторне конденсаторне зварювання призначене, в основному, для зварювання в стик, трансформаторне – для точкового і шовного зварювання.

Перевагами конденсаторного зварювання є: точне дозування кількості енергії, не залежно від зовнішніх умов (напруги в мережі), малий час протікання струму (0,001...0,0001с) при високій густині струму. Це забезпечує малу зону термічного впливу, можливість зварювання металів дуже малих товщин (до кількох мікрон), невисоку споживану потужність (0,2...2кВА). Конденсаторне зварювання використовують, в основному, в приладобудуванні.

Контактне зварювання виконують на *спеціальних машинах*, електрична частина яких складається із зварювального трансформатора, переривача зварювального струму, регулятора (або перемикача) струму переривного кола трансформатора і струмопідвідних пристроїв, а механічна частина – із механізмів і вузлів, що створюють необхідне зусилля для стискання зварюваних деталей. Залежно від типу виконуваних з'єднань *контактні машини поділяють на стикові, точкові й шовні*.

Контактні машини працюють на змінному струмі від трансформаторів. Первинну обмотку трансформаторів умикають у мережу напругою 220...380 В. Її виготовляють секційною для зміни числа робочих витків для перемикання ступенів потужності. Вторинна обмотка трансформатора складається з одного або двох витків (вторинна напруга 1...12 В). Сила вторинного струму – $10^3...10^5$ А.

Контактні машини вмикають і вимикають на первинній обмотці трансформатора. Для цього використовують переривачі різних типів (механічні контактори, електромагнітні, тиристорні).

Силові механізми служать для стискання заготовок між електродами машини. Залежно від типу привода ці механізми можуть мати пружинний, електромеханічний, пневматичний, пневмогідравлічний, гідравлічний приводи, а також важільний ручний (ножний) в машинах малої потужності.

Машини для стикового зварювання виготовляють потужністю 0,8...800кВА (МС-403, МС-502, МСМУ-150 та ін.). Стикові машини потужністю до 25 кВА використовують для зварювання опором, 25...250кВА – опором і обплавленням, 150...800 кВА – автоматичного зварювання обплавленням виробів із значним поперечним перерізом.

Машини для точкового зварювання (МТ-601, МТ-1220, МТ-1616, МТ-4001 та ін.) виготовляють потужністю 0,1...250 кВА. Машини для шовного зварювання (МШ-1001, МШ-1601, МШ-2001 та ін.) обладнані механізмом привода роликів електродів і особливим ковзаючим струмопідводом. Їх потужність від 25 до 250 кВА.

Залежно від типу зварювального з'єднання випускають точкові, шовні й стикові конденсаторні машини, які можуть бути універсальними (автоматичними й напівавтоматичними) і спеціалізованими.

Обладнання, інструменти і матеріали

1. Зварювальний трансформатор мод. ТСК-500
2. Струмопроводи
3. Електродотримач
4. Електроди діаметром 3 мм типу АНО 21
5. Зразки для зварювання.
6. Захисний щиток
7. Спецодяг
8. Амперметр
9. Вольтметр
10. Машина точкового зварювання
11. Машина стикового зварювання
12. Трансформатор струму
13. Штангенциркуль.
14. Зразки:
 - сталь листова ($S=1...2\text{мм}$), шт. по 2
 - сталь пруткова ($D=4...8\text{ мм}$), шт. по 2
15. Секундомір

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з обладнанням і матеріалами для виконання роботи.
2. Отримати зразок для ручного дугового зварювання і виміряти його розміри, викреслити ескіз у звіті.
3. Визначити діаметр електрода, силу зварювального струму, швидкість зварювання.
4. Провести налагодження зварювального устаткування на розрахункові режими.
5. Ознайомитися з процесом зварювання зразків.
6. Під час зварювання визначити напругу на дузі U_{δ} , силу зварювального струму $I_{зв}$, напругу холостого ходу $U_{х.х.}$, силу струму короткого замикання $I_{к.з.}$.
7. За наведеними вище формулами виконати розрахунки корисної потужності N_{δ} і потужності N_c , яка споживається з мережі.

Результати записати в табл. 6.1.

Таблиця 3.1.

Протокол результатів ручного дугового зварювання

Тип електроду	$d_{ел}$, мм	$I_{зв}$, А	$V_{зв}$, м/год	$U_{хх}$, В	$U_{д}$, В	$I_{кз}$, А	$N_{д}$, Вт	$N_{с}$, Вт

8. Вивчити будову машин контактного зварювання і призначення її основних вузлів (електричну частину, механізм осаджування, систему охолодження електродів і регулювання сили зварювального струму).

9. Виходячи із товщини зварюваних зразків, за паспортом машини вибрати необхідний режим зварювання і налагодити на нього машину.

10. Виконати зварювання зразків, зафіксувавши силу зварювального струму на амперметрі.

11. За площею поперечного перерізу зварного з'єднання визначити густину зварювального струму, А/мм²:

$$j = \frac{I}{S} = \frac{4I}{\pi D^2}, \quad (3.11)$$

де I – сила зварювального струму за амперметром, А;

S – площа поперечного перерізу зварного з'єднання, мм²;

D – діаметр зварної точки, мм.

Діаметр зварної точки D рівний діаметру робочої частини електрода.

12. Результати записати в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Протокол результатів контактного зварювання

№ зразка	Матеріал зразка	Товщина (діаметр) зразка, мм	Сила струму I , А	Густина струму j , А/мм ²	Тривалість проходження струму, τ , с	Режим зварювання

6. За отриманими даними побудувати залежність сили й густини зварювального струму від товщини (діаметра) зварених зразків. Проаналізувати графік.

7. Зробити висновок за результатами роботи.

При можливості виконання запропонованих розрахунків можна проводити на комп'ютерній техніці, розробивши за формулами 3.1...3.11 прості програми на одній з відомих студентів мов програмування.

Зміст звіту

1. Тема роботи.
2. Ескізи зразків, зварених ручним дуговим зварюванням.
3. Розрахунок режимів ручного дугового зварювання.
4. Протокол результатів ручного дугового зварювання (табл. 3.1).
5. Ескізи зразків, зварених контактним зварюванням.
6. Протокол результатів контактного зварювання (табл. 3.2).
7. Результати візуального контролю (зовнішнього огляду) якості отриманого шва.
8. Висновок за результатами роботи.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення процесу зварювання.
2. Що являє собою електрична дуга?
3. Які джерела живлення використовують при ручному дуговому зварюванні?
4. Які електроди використовують при ручному дуговому зварюванні?
5. Якими параметрами характеризують режими дугового зварювання?
6. Типи зварних з'єднань.
7. Форми кромки, підготовлених для зварювання.
8. Методи виконання зварних швів.
9. Дефекти зварних швів.
10. Способи контролю якості зварювання.
11. Заходи техніки безпеки при ручному дуговому зварюванні.
12. Фізична суть контактного зварювання.
13. Основні способи електричного контактного зварювання.
14. Яка різниця між контактним зварюванням опором та оплавленням?
15. З яких матеріалів виготовляють електроди для контактного зварювання та з яких міркувань?
16. Які параметри електричного контактного зварювання ви знаєте?
17. Регулювання сили зварювального струму.

18. З яких елементів складається зварювальний контур машини для шовного контактного зварювання?

19. Умови використання різноманітних видів контактного зварювання.

20. Конденсаторне контактне зварювання (суть, обладнання, переваги, недоліки, використання).

ЛІТЕРАТУРА

використана для розроблення посібника

й рекомендована для поглибленого вивчення розглянутих тем

1. Технологія конструкційних матеріалів / під ред. д-ра техн. наук проф. Г. А. Прейса. К.: Вища освіта, 2014. 359 с.
2. Рудик Д. Ф. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів. К.: Вища освіта, 2012. 340 с.
3. Опальчук А. С., Котречко О. О., Роговський Л. Л. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства: навч. посібник / за ред. А. С. Опальчука. К.: Вища освіта, 2006. 287 с.
4. Драган С. В., Лабарткава А. В. Д 72 Практикум зі зварювання: Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 68 с.
5. Клименко В. М., Шиліна О. П., Осадчук А. Ю. Технологія конструкційних матеріалів. Частина перша. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво: навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 97 с.
6. Клименко В. М., Шиліна О. П., Осадчук А. Ю. Технологія конструкційних матеріалів. Частина друга. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво: навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 154 с.
7. Клименко В. М., Шиліна О. П., Осадчук Ю. Технологія конструкційних матеріалів. Частина третя. Основи механічної обробки матеріалів: навчальний посібник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 90 с.

Ковальчук Я.О.,

МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
для виконання лабораторних робіт з курсу
«ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

РОЗДІЛ
«ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ»

для здобувачів бакалаврського ступеня вищої освіти
за спеціальностями

- 131 «Прикладна механіка» (групи МП)
- 133 «Галузеве машинобудування» (групи ММ)
- 274 «Автомобільний транспорт» (групи МА)
- 208 «Агроінженерія» (групи МГ)

Верстка: Коваль Н. Б.

Формат 60x90, 3,97. Обл. вид. арк. Наклад. 10 прим. Зам. № 3704

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56
Свідоцтво об'єкта видавничої справи ДК№4226 від 08.12.2011