

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

**Ю.Д. АБРАШКЕВИЧ, Л.Є. ПЕЛЕВІН, В.П. РАШКІВСЬКИЙ**

# **ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОНТАЖНИХ РОБІТ**

*Рекомендовано вченою радою Київського національного  
університету будівництва і архітектури  
як підручник для студентів, які навчаються  
за напрямом підготовки 6.050502  
«Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні  
і меліоративні машини і обладнання»*

Київ 2016

УДК 69.002.5(076), 666.97.033, 678.5/6:621.79

ББК 34.641

A16

Рецензенти: *М.П. Кузьмінець*, д-р техн. наук, доцент кафедри дорожніх машин НТУ

*О.М. Лівінський*, д-р техн. наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки

*І.І. Назаренко*, д-р техн. наук, професор завідувач кафедри машин та обладнання технологічних процесів КНУБА

Відповідальний за випуск Л.Є. Пелевін, канд. техн. наук, професор

*Рекомендовано вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури як підручник, протокол № 34 від 29 травня 2015 року.*

**Абрашкевич Ю. Д.**

A16 Обладнання для монтажних робіт: підручник / Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський. – К: КНУБА, 2016. – 232 с.

Розглянуто основні принципи організації ділянки механізації для виконання трудомістких процесів на будівництві. Викладено методики добору обладнання для монтажних робіт, визначення рівня механізації на ділянці, кількості робочого інструменту, режимів роботи, а також засоби з техніки безпеки.

Призначено для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання».

УДК 69.002.5(076), 666.97.033, 678.5/6:621.79

ББК 34.641

© Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін,  
В.П. Рашківський, 2016

© КНУБА, 2016

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	5
1. ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ МЕХАНОМОНТАЖНОЇ ДІЛЬНИЦІ. ТИПОВІ ОПЕРАЦІЇ І ПРОЦЕСИ МЕХАНОМОНТАЖНИХ РОБІТ.....	7
1.1. Особливості монтажного виробництва.....	7
1.2. Технологічні процеси та операції монтажу.....	10
1.3. Методи виконання монтажних робіт.....	15
1.4. Документація для монтажних робіт.....	18
1.5. Організація монтажного майданчика.....	28
2. МЕХАНІЗАЦІЯ МОНТАЖНОЇ ДІЛЬНИЦІ.....	31
2.1. Визначення потрібної кількості інструментів залежно від обсягу операцій відповідно до чисельності робітників (бригад) .....	35
2.2. Визначення потрібної кількості інструментів залежно від обсягу робіт, часу використання інструменту і заданих термінів монтажу.....	37
2.3. Визначення потрібної кількості інструментів залежно від середньої кількості потреб в інструментах і тривалості їх використання протягом зміни.....	39
2.4. Розрахунок експлуатаційного фонду. ....	40
2.5. Організація робочих місць для ефективного використання засобів механізації.....	42
3. МОНТАЖ РОЗНІМНИХ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ НА БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКАХ .....	45
3.1 Технічні особливості нарізних з'єднань деталей.....	45
3.2 Технологічні особливості нарізних з'єднань деталей.....	58
3.3. Експлуатаційні особливості ключів.....	66
4. ВІДРІЗНІ І ЗАЧИСНІ ОПЕРАЦІЇ. ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ДО РОБОЧИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ЇХ СКЛАД, КОНСТРУКЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ.....	71
4.1. Відрізні і зачисні операції. ....	71
4.2. Особливості використання абразивного інструмента для відрізних та зачисних операцій .....	73
4.3. Технологія виготовлення абразивних армованих кругів ....	91

5.	АБРАЗИВНИЙ РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ .....	97
5.1.	Працездатність абразивних армованих кругів.....	97
5.2.	Міцність та експлуатаційні параметри абразивних армованих кругів.....	122
6.	ЗАЧИСНІ ОПЕРАЦІЇ ПІД ЧАС БУДІВЕЛЬНО- МОНТАЖНИХ РОБІТ .....	148
6.1.	Особливості зачисних робіт .....	148
6.2.	Робочий інструмент для зачисних робіт .....	154
6.3.	Особливості зачищення полімерно-абразивним інструментом .....	157
6.4.	Технологія виготовлення полімерно-абразивного інструменту .....	162
7.	РІЗАННЯ КАМЕНЮ.....	167
7.1.	Особливості різання каменю .....	167
7.2.	Алмазний інструмент для різання каменю .....	171
7.3.	Технологічні показники різання каменю алмазним інструментом .....	175
7.4.	Правила експлуатації алмазних інструментів .....	186
8.	МОНТАЖ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЛАСТМАСОВИХ ТРУБОПРОВОДІВ.....	189
8.1.	Особливості монтажу полімерних трубопроводів .....	189
8.2.	Характеристики полімерних трубопроводів .....	196
8.3.	Особливості виготовлення полімерних монтажних вузлів	203
8.4.	Технологія зварювання полімерних трубопроводів	209
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	231

## ВСТУП

У міру підвищення темпів робіт на будівельних об'єктах виникла проблема швидкого та високоякісного виконання монтажних і відновлювальних робіт. Для цього потрібно організувати на будівельному об'єкті дільницю механізації відповідно до виробничих потреб.

Для того щоб організувати ефективну дільницю механізації, слід визначити рівень механізації на будівельному об'єкті, обсяги виконуваних робіт, а також кількість спеціального інструменту.

Для ефективної роботи бригад потрібно також визначити робочі режими виконання операцій та засоби безпечної роботи зі спеціальним робочим інструментом.

Важливість виконання трудомістких ручних операцій зумовлює потребу в засвоєнні комплексу знань з монтажу різноманітних з'єднань, зачищення та різання металевих і кам'яних виробів, монтажу технологічних трубопроводів.

Мета дисципліни – надання необхідного обсягу знань з вибору ручних машин і допоміжних робочих інструментів, визначення способів їх експлуатації, раціональних режимів виконання технологічних операцій, що дає змогу підвищити ефективність виконання масових трудомістких ручних процесів.

Матеріал курсу «Обладнання для монтажних робіт» ґрунтується на знаннях, здобутих під час вивчення таких дисциплін, як «Деталі машин», «Ручні машини», «Технологія машинобудування», «Теорія конструкційних матеріалів», «Теорія механізмів і машин», «Опір матеріалів».

Після вивчення курсу студент повинен **знати**:

- типологію вузлів деталей машин;
- методи визначення навантажень на вузли машин та їх компоненти;
- основні типи технологічних операцій та допоміжний інструмент, потрібний для виконання механомонтажних робіт;
- способи визначення обсягів монтажної дільниці та потреби в ручному та спеціальному інструменті.

Студент повинен **уміти**:

- визначати належний рівень механізації монтажних робіт;
- визначати тип, кількість механізованого та допоміжного інструменту, потрібного для ефективного виконання трудомістких ручних процесів;
- визначати технологічні параметри виконання нарізних з'єднань;
- правильно обирати тип інструменту для виконання відрізних, зачисних та доводочних операцій, розраховувати силові та кінематичні параметри приводної машини;
- організовувати робочі місця для ефективного використання засобів механізації;
- визначати технологію виконання монтажу пластмасових трубопроводів, устаткування для виготовлення перехідних елементів, методи та засоби контролю їх з'єднань.

# 1. ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ МЕХАНОМОНТАЖНОЇ ДІЛЬНИЦІ

## 1.1. Особливості монтажного виробництва

У будівництві промислових об'єктів монтажні роботи в середньому становлять близько 35%, а на об'єктах хімічної, нафтопереробної і деяких інших галузей сягають 50-60% загального обсягу виконуваних робіт. Монтаж промислових підприємств характеризується складністю і специфічними особливостями. Одночасно з монтажем устаткування виконують монтаж будівельних і технологічних металоконструкцій, трубопроводів, систем енергозабезпечення, об'єктів електропостачання, засобів контролю й автоматизації, санітарно-технічних систем і пристроїв, систем вентиляції та ін.

Монтаж обладнання полягає у збиранні, встановленні, вивірянні і випробуванні машин, агрегатів і технологічних установок, тобто комплексі взаємопов'язаних складних процесів, що потребують високої кваліфікації та спеціалізації монтажників, ретельної підготовки виробництва, високого рівня організації [1].

Монтажні роботи мають багато спільного зі слюсарними та складальними роботами в машинобудуванні, хоча і відрізняються певними особливостями. Насамперед це відмінності у видах продукції виробництва. Наприклад, в процесі монтажу обладнання збирають, встановлюють, вивіряють і закріплюють на місці стаціонарні великогабаритні агрегати й установки, тоді як у складальних цехах машинобудівних заводів виготовляють і збирають невеликі машини, механізми або їх окремі вузли. Остаточною продукцією монтажного виробництва є змонтовані технологічні лінії, установки та промислові комплекси, зокрема всі системи і комунікації, підготовлені для подальшої експлуатації.

Для монтажу характерне закріплення на місці праці і переміщення засобів праці, а для складальних робіт – закріплення засобів праці і переміщення в тих самих межах предмета праці. Інша важлива особливість монтажного виробництва полягає у відсутності постійного місця у робітників-монтажників.

Номенклатура промислового обладнання, трубопроводів і конструкцій вирізняється різноманітністю і безперервно оновлюється. Машини й агрегати, що надходять на монтаж, мають конструкцію, яка складається з великої кількості частин і деталей. Деякі машини й агрегати унікальні за габаритами і масою. Різноманітність і складність

предметів праці на механомонтажних роботах зумовлюють потребу в застосуванні складних, іноді унікальних механізмів, інструментів і пристроїв, які не використовують у складальних роботах в машинобудуванні. Для монтажу характерне широке застосування спеціальних вантажопідйомних засобів, таких як трактори, трейлери, електричні лебідки, маніпулятори, спеціальні види механізованого та ручного інструменту і контрольно-вимірювальних приладів.

Складність предметів і знарядь праці, особливості монтажного виробництва зумовлюють організаційну і технологічну складність виконання робіт. На одному об'єкті монтують різні за призначенням і конструктивним особливостям машини й агрегати, а також інше технологічне обладнання, конструкції і трубопроводи. Однакові предмети праці (конструкції, трубопроводи та обладнання) на різних об'єктах через специфіку їх поставки й умов виконання робіт монтують за різними методами. Механомонтажні роботи характеризуються тривалістю і різноманіттям технологічних операцій, нециклічністю. Монтажники мають справу з різними виробами машинобудування та монтажного виробництва.

Такими виробами можуть бути будь-які предмети або набори, виготовлені на будівельних підприємствах, промбазах монтажно організації або на місці монтажу, а також технологічні лінії, окремі машини, їх елементи в зборі й окремі деталі. Змонтоване обладнання є виробом монтажного виробництва.

**Деталь** – це виріб (частина виробу), виготовлений з однорідного матеріалу (за назвою і маркою) без застосування складальних операцій. Характерна ознака деталі – у ній немає рознімних і неронімних з'єднань. Деталь (фланець, прокладка, болт, гайка та ін.) є первинним складальним елементом будь-якого більш складного виробу.

**Складальна одиниця** – це виріб, частини якого підлягають з'єднанню між собою в результаті складальних операцій. Її характерною особливістю є можливість складання окремо від інших елементів виробу. До складальних одиниць належать різні типи механізмів й обладнання (верстат, механізм тощо), а також агреговані блоки обладнання, вузли конструкцій і трубопроводів, арматура.

**Технологічне устаткування** – це засоби технологічного оснащення, в яких для виконання певної частини технологічного процесу розміщують матеріали або заготовки, засоби впливу на них, технологічну оснастку і, за потреби, джерела енергії. До технологічного



устаткування належать преси, ливарні машини, верстати, печі, випробувальні стенди тощо.

Залежно від виду технологічного процесу (виготовлення деталі, отримання хімічного продукту, складання вузла, монтаж машини) у складі технологічного обладнання можуть бути вироби, які монтують (верстати, апарати), і вироби, якими виконують складання або монтаж (збиральне обладнання, крани, гідропідійомники).

**Комплекс** – це два або більше специфікованих виробів, не поєднаних на підприємстві-виробнику за допомогою складальних операцій, але призначених для виконання взаємопов'язаних експлуатаційних функцій. Прикладом комплексів є весь набір обладнання технологічної лінії (установки).

**Монтажний блок** – комплекс, частини якого (обладнання, конструкції, трубопроводи, прилади тощо) збирають до встановлення в проектне положення.

**Технологічна лінія** (установка) – комплекс виробів (обладнання, конструкцій і комунікацій), призначених для здійснення технологічного процесу. Технологічна лінія (установка) може виконувати певну функцію (виробляти продукцію) незалежно від інших ліній або їх складових частин. Після установки в проектне положення і завершення всього циклу робіт, монтажні блоки, технологічні лінії (установки) є виробами монтажного виробництва.

**Технологічне оснащення** – засоби, що доповнюють технологічне обладнання; призначені для виконання певної частини технологічного процесу. Прикладом оснащення є стропи, блоки, опорні стійки для проведення такелажних робіт, домкрати, струбцини для вивірювання тощо.

**Інструмент** – це технологічне оснащення, призначене для впливу на предмет праці з метою змінити його стан. До інструментів належать, наприклад, ключі, шліфувальні машини, трубогиби та ін. Інструмент може бути ручним, механізовано-ручним і механізованим.

**Ручний інструмент** є технічним пристроєм, який використовують як знаряддя машини або людини для безпосередньої зміни або визначення стану предмета праці або для встановлення іншого знаряддя в машині.

Основний рух **механізовано-ручного інструмента** здійснюється енергією неживої природи, а подачу і керування виконують люди.

Усі рухи **механізованого інструмента** здійснюються енергією неживої природи, а управління – людьми.

**Пристосування** – технологічне оснащення, призначене для встановлення, підтримання та напрямлення предмета праці або інструмента під час виконання технологічної операції. Прикладами пристосовань є лещата, підставка для теодолітів, затискачі, коуші тощо.

Пристрої можуть бути **ручними і механізованими**. До *ручних* належать пристрої, які являють собою ручне технічне оснащення. **Механізованим** є пристосування, в якому закріплення й розкріплення предметів виробництва виконують за допомогою енергії неживої природи, а решту дій – люди.

## **1.2. Технологічні процеси та операції монтажу**

**Монтажні роботи** є одним з трьох видів будівельно-монтажних робіт: будівельних, спеціальних будівельних та монтажних. До монтажних робіт належить монтаж обладнання промислових підприємств, обладнання для видобутку та переробки корисних копалин, підземно-транспортного устаткування, електротехнічного обладнання та засобів зв'язку та сигналізації, контрольно-вимірювальних приладів і пристроїв, а також монтаж теплоенергетичного та іншого обладнання, технологічних трубопроводів і металоконструкцій.

**Монтаж** (ГОСТ 23887-79) – установа виробу або його частин на місці використання. До механомонтажних належать роботи з монтажу технологічного, енергетичного, підйомно-транспортного і нестандартизованого обладнання, трубопроводів та металоконструкцій.

**Монтаж устаткування** – комплекс робіт, що охоплює збирання машин (агрегатів та іншого обладнання), їх установа в робоче положення на певному проектному місці, збирання і з'єднання в технологічні лінії і установки, випробування на холостому ходу і під навантаженням, а також допоміжні, підготовчі та підгоночні операції, не виконані з якихось причин під час виготовлення.

Виробничий процес монтажу обладнання являє собою сукупність взаємопов'язаних дій, в результаті яких вироби машинобудування перетворюються на змонтований агрегат, промислові лінії, комплекси або технологічні установки, призначені для виготовлення певних видів промислової продукції.

**Технологічний процес монтажу** – частина виробничого процесу, безпосередньо пов'язана з послідовною зміною і (або) визначенням

просторового та якісного стану елементів монтованого устаткування чи агрегату. Відмінною особливістю монтажного технологічного процесу і його характерною ознакою є можливість виділити, зареєструвати й оцінити змінений стан монтованого елемента або обладнання.

Монтаж устаткування складається з підготовчих, власне монтажних робіт, випробування та випробувань змонтованого обладнання. Відповідно технологічні процеси монтажу поділяються на основні, підготовчі та пусканалагоджувальні.

Пусканалагоджувальні роботи є обов'язком замовника, який залучає для їх виконання монтажну організацію.

До монтажних належать такі роботи: перевірка фундаментів та приймання їх під монтаж; установлення фундаментних болтів і закладних частин; перевірка комплектності обладнання та приймання його в монтаж; розбирання обладнання, його очищення від консервувального мастила, промивання, огляд частин та їх змащення; укрупнювальне збирання обладнання, що поставляється частинами; переміщення обладнання або його вузлів і деталей в межах монтажної зони, встановлення устаткування в проектне положення (основні такелажні роботи); встановлення прокладок; вивірення і кріплення до фундаментів; складання та встановлення належать до складу поставки обладнання металевих конструкцій, трубопроводів, арматури, вентиляторів, насосів, живильників; контрольно-вимірювальної та пускарегулювальної апаратури; огорожень; систем пневмогідрокерування централізованої частини, заправки мастильними матеріалами і заливки охолоджувальними речовинами. Зазначені роботи належать до основних технологічних процесів монтажу.

З-поміж монтажних робіт провідними технологічними процесами є збирання обладнання і вузлів, установлення в проектне положення з належною точністю і подальше закріплення на фундаментах. Ці процеси багато в чому визначають якість монтажу машин і агрегатів, стабільність їх проектного положення в технологічних лініях й установках, а також надійність під час експлуатації.

Важливими технологічними процесами, особливо під час монтажу важкого великогабаритного обладнання, можна вважати й основні такелажні роботи. До такелажних робіт належать горизонтальне, вертикальне, похиле переміщення устаткування, здійснюване на монтажному майданчику; встановлення, зняття і пересування

такелажних засобів (монтажних щогл, порталів, монтажних лебідок та ін.). При цьому такелажні процеси, здійснювані в межах монтажної зони, належать до основних, а виконувані поза її межами - до підготовчих технологічних процесів монтажу.

**Потреба в монтажних підготовчих технологічних процесах** виникає залежно від наявності та оснащення спеціальних майданчиків для укрупнення. Монтажні підготовчі процеси складаються з власне укрупнювального складання устаткування, трубних вузлів і металевих конструкцій, а також виконання комплексу вантажно-розвантажувальних і транспортних операцій.

До випробування і комплексного випробування обладнання належать роботи, виконувані з метою перевірки відповідності технологічних умов змонтованого обладнання, що полягають у перевірці на щільність і міцність, точність установа вузлів і деталей, випробування роботи обладнання на холостому ходу і під навантаженням, притирання його вузлів. Зазначені роботи охоплюють підготовку і проведення випробувань окремих механізмів, машин, апаратів і трубопроводів, а також їх комплексне випробування в складі технологічних ліній.

**Налагодження устаткування** – підготовка технологічного устаткування до виконання певного технологічного процесу у складі лінії або установки спільно з приладами та пристроями контролю, автоматичного регулювання та керування.

Продукцією механомонтажного виробництва є комплекс змонтованого на об'єкті технологічного, підйомно-транспортного й енергетичного обладнання, трубопроводів і металоконструкцій. Ціною цієї продукції є кошторисна вартість механомонтажних робіт. Продукцію монтажного виробництва після її створення закріплюють нерухомо на певному місці.

Предметом праці під час механомонтажних робіт є обладнання, трубопроводи, їх вузли і деталі, металеві конструкції.

Монтаж устаткування вирізняється тривалим циклом виробництва, великою трудомісткістю і високою вартістю закінченої продукції.

Територія, на якій ведуться роботи з монтажу декількох одиниць обладнання, ділянки трубопроводів або металоконструкцій, називається **монтажною зоною**. Монтажна зона є робочим місцем монтажника. Монтажним майданчиком називають територію, на якій виконують роботи

з монтажу комплексу машин, агрегатів та іншого технологічного обладнання, трубопроводів і металоконструкцій споруджуваного об'єкта.

### **Операції технологічних процесів монтажу**

**Монтажною операцією** називають закінчену частину технологічного процесу монтажу, виконувану безперервно над вузлом, машиною або агрегатом на одному робочому місці (в межах однієї монтажної зони), одним робітником або групою робітників, об'єднаних єдиною метою. Монтажна операція характеризується сталістю складу робітників, робочого місця, знарядь і предметів праці. Основна ознака монтажної операції – можливість її нормування, виділення і контролю за отриманими результатами.

**Монтажний перехід** – частина технологічної операції, що характеризується незмінністю сполучених поверхонь устаткування і застосовуваного оснащення або інструменту.

**Монтажний прийом** – закінчена сукупність окремих рухів робітника, пов'язаних єдиною метою, в процесі виконання монтажної операції.

### **Типізація технології монтажних робіт**

Типова технологія є найважливішим засобом оптимізації монтажного виробництва. Її розробляють відповідно до прогресивної технології, комплексної механізації робіт, наукової організації праці; вона є основою для техніко-економічного обґрунтування вибору і здійснення раціональних рішень з організації і технології монтажного виробництва, складання поточних і оперативних планів монтажних робіт.

Типізацію монтажних робіт здійснюють на підставі аналізу технології шляхом класифікації монтажних процесів за їх видами; виявлення їх технологічної структури, складу і зв'язків як між собою, так і з суміжними будівельно-монтажними роботами; вибору найбільш масових і трудомістких монтажних операцій; їх типізації; складання з типових операцій монтажних процесів.

**Мета типізації** – розроблення монтажних процесів, що дають змогу монтувати технологічне обладнання, різне за конструкцією, але з однаковими монтажно-технологічними ознаками, за допомогою найбільш досконалих й ефективних методів із застосуванням високопродуктивних засобів механізації й оснащення.

Типові технологічні процеси монтажу розробляють на основі типових монтажних операцій і складають їх перелік у технологічній послідовності. Кожну операцію оформляють у вигляді технологічної карти (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

## Операційно-технологічна карта

Найменування операції, зміст переходів і схеми влаштування робочих місць	Механізми, оснащення, пристрої і прилади	Склад виконавців-монтажників	Технічні вимоги	Норми часу, люд.-год
<i>Визначення відхилень від горизонтальності і вивірення (у площині, перпендикулярній валу)</i>				
Установлення засобів контролю та вимірювання. Встановити перевірочну лінійку на базову поверхню обладнання. Встановити на перевірочну лінійку рівень, виміряти відхилення від горизонтальності та порівняти з допустимими	Брусковий рівень 118—0,05 (ГОСТ 9392—75); повірочна лінійка ШП-1-1600 (ГОСТ 8026-75)	Один 5-го разряду, один 3-го разряду	Допустимі відхилення від горизонтальності – 0,4 мм на 1 м; допустима похибка вимірів – 0,08 мм/м	0,5
<i>Регулювання горизонтальності положення корпусу редуктора</i>				
Регулювання: вкручуючи та викручуючи регулювальні гвинти, домогтися горизонтальності з відхиленнями, що не перевищують допустимі	Комбіновані гайкові ключі 7811-0232 (ГОСТ 16983–80); брусковий рівень 118-0,05 (ГОСТ 9392-75)	Один 5-го разряду; один 3-го разряду	Дійсні відхилення повинні бути в межах допуску	3,0
Контроль (виміряти відхилення)	Повірочна лінійка ШП-1-1600 (ГОСТ 8026-75)	–	–	–
<i>Визначення відхилень від горизонтальності та вивірення (вздовж вала)</i>				
Виконати названі операції, встановивши лінійку і рівень у площині, паралельній валу	–	–	–	3,5
<i>Фіксація (попереднє закріплення) корпусу редуктора</i>				
Встановлення шайб та нагвинчування гайок на анкерні болти	Ключі гайкові 7811-0239 (ГОСТ 16983-80)	Один 5-го разряду; один 3-го разряду	Допустимий момент затягування – 300 Нм	3,6

Типові виробничі процеси виконують під час монтажу характерних груп устаткування, конструкції або трубопроводів. Групи обладнання підбирають відповідно до спільності складу, змісту і послідовності виконання операцій монтажу з досить близькими монтажньо-технологічними і конструктивними параметрами, до яких належать: просторове положення (горизонтальне, вертикальне, похиле); місце розташування (відкритий майданчик, одноповерховий або багатоповерховий будинок); умови постачання; геометричні параметри (ширина, висота, довжина, діаметр тощо); маса; висотна відмітка; вид кріплення на фундаменті; точність установлення; конструкція з'єднань поставочних блоків; точність складання з'єднань та ін.

Стандартні типові процеси, відповідні найбільш прогресивним методам і способам виробництва монтажних робіт, виконуваних за допомогою високопродуктивного оснащення і механізмів, запроваджують з метою встановлення однаковості в технології монтажу однотипного обладнання; скорочення обсягу робіт і зниження трудомісткості під час проектування технологічних процесів монтажу; дотримання оптимального рівня технологічної підготовки монтажного виробництва.

### **1.3. Методи виконання монтажних робіт**

Способи та методи виконання монтажних робіт обирають з огляду на особливості методу будівництва.

Зважаючи на те, що від механомонтажних та спеціальних робіт, які є складовою і завершальною частиною будівництва, залежать терміни введення об'єктів в експлуатацію, в основу методів їх виконання покладено принципи максимальної індустріалізації і механізації робіт, впровадження прогресивної технології і передових методів праці на базі останніх досягнень науково-технічного прогресу в будівельно-монтажному виробництві, потокової організації робіт за сучасних методів планування й управління.

Залежно від складності об'єктів, умов будівельного майданчика й особливостей забезпечення матеріально-технічними і людськими ресурсами будівельно-монтажні роботи виконують відкритим, закритим або комбінованим способом.

За **відкритого** способу (метод закінченого нульового циклу) всі роботи з влаштування фундаментів та інших підземних споруд,

потрібних для монтажу будівельних конструкцій й устаткування, виконують до зведення каркаса будівлі. Потім здійснюють монтаж конструкцій й обладнання.

За **закритого** способу зазначені роботи здійснюють у два етапи: на першому виконують земляні та бетонні роботи, потрібні для монтажу каркаса будівлі; на другому етапі в закритому приміщенні – земляні та бетонні роботи з улаштування фундаментів під технологічне обладнання, а потім монтують це обладнання.

**Комбінований** спосіб застосовують переважно для цехів з різною відстанню між прогонами фундаментів під обладнання. Роботи нульового циклу в прогонах з невеликою кількістю фундаментів у такому випадку можуть бути виконані за закритого, а в інших випадках – відкритого способу.

Будівництво багатопробонних цехів, таких як прокатні і подібні до них з великими і складними підземними спорудами, виконують за методом закінченого нульового циклу (відкритим способом) з потоковою організацією робіт. При цьому будівлю цеху поділяють на кілька ділянок, розміри яких визначають так, щоб їх компонування забезпечувало монтаж, випробування та пусканалагоджувальні роботи для обладнання з закінченим технологічним циклом.

Набув поширення повузловий метод проектування, підготовки, організації та управління будівництвом великих і складних промислових комплексів (об'єктів). Суть його полягає в членуванні комплексу (об'єкта) на пов'язані між собою конструктивно і технологічно відокремлені частини (вузли, підвузли) і створенні на цій основі документів для підготовки виробництва й управління.

**Вузол об'єкта** – конструктивно і технологічно відособлена частина об'єкта, розміщена в певних межах, технічна готовність якої після завершення будівельно-монтажних робіт дає можливість автономно, незалежно від готовності об'єкта загалом, виконати випробування обладнання (машин), пусканалагоджувальні роботи та комплексне випробування. За призначенням вузли поділяють на технологічні, будівельні та загальномайданчикові.

Подальша перспектива індустріалізації монтажного виробництва пов'язана з комплектно-блоковим методом, під яким розуміють організацію монтажу обладнання з комплектних блоків, виготовлюваних на



машинобудівних заводах, а також на складально-комплектувальних підприємствах будівельної індустрії і в будівельно-монтажних організаціях.

Комплектно-блоковий метод дає змогу перетворити будівельний майданчик у технологічний конвеєр, робота якого починається в заводських умовах і закінчується на будівельному майданчику, тобто виконується комплексним укрупненим потоком. При цьому постачають блоки до місця їх установа в проектне положення в технологічній послідовності зведення об'єкта.

Завдяки укрупненню обладнання можна застосовувати поєднану технологію зведення об'єктів, коли будівельні і монтажні роботи виконують одночасно: на основному будівельному майданчику в межах будівлі закладають фундаменти під обладнання і ведуть інші роботи нульового циклу; на майданчиках укрупнення, на промбазах і базах комплектації збирають у блоки обладнання і трубопроводи і виконують обмурувальні, ізоляційні та інші спеціальні роботи.

За суміщеного монтажу конструкції каркаса будівлі, що не увійшли в блоки, монтують одночасно з блоками устаткування в єдиному комплексному потоці. Конструкції, обладнання та блоки надходять на приоб'єктний склад або їх відразу встановлюють краном з транспортних засобів в проектне положення. Для суміщеного монтажу обирають один з трьох варіантів: монтаж (піднімання, установа і закріплення) устаткування і блоків одночасно з монтажем будівельних конструкцій; подача обладнання на проектні відмітки перекриттів одночасно з монтажем будівельних конструкцій, а вивірення, закріплення та інші роботи виконують по закінченні загальнобудівельних робіт; подача на проектні відмітки перекриттів упакованого устаткування одночасно з монтажем будівельних конструкцій, а інші роботи виконують тільки в повністю побудованому будинку за певного температурного режиму і вологості повітря.

Під час реконструкції обладнання діючих підприємств (доменних печей, котлів-утилізаторів, водогрійних і парових котлів тощо) застосовують метод насування. Суть цього методу полягає в тому, що, не припиняючи роботи обладнання, на розміщеній тимчасовій підставі монтують інше обладнання для подальшого його насування в проектне положення. Діюче обладнання зупиняють, розбирають безпосередньо перед завершенням збирання нового, що дає змогу звести до мінімуму перерву у випуску продукції. Зібране обладнання переміщують за

допомогою домкратів або поліспаствів електролебідок накочуванням по фундаменту.

У виготовленні монтажних блоків або укрупненні устаткування розрізняють вузлове і загальне складання. Об'єктами вузлового складання є частини монтажного блоку. Загальне складання – це складання, об'єктом якого є монтажний блок.

**Базовий елемент** – це елемент, з якого починають збирати виріб (його складові частини). Процес загального збирання зображують на схемі горизонтальною лінією. Її проводять у напрямку від базового елемента до зібраного об'єкта. У порядку послідовності складання угорі розміщують умовні позначення всіх деталей, які безпосередньо входять у виріб, а внизу – все, що безпосередньо входить у складові частини. На технологічних схемах вузлового збирання ці складові частини розчленовують на окремі елементи.

У технологічних схемах складання послуговуються написами-виносками, які пояснюють вид складальних робіт (зварювання, клепання, вивіряння, перевірку зазорів та ін.), коли вони не ясні зі схеми, і вказують здійснюваний під час складання контроль.

#### **1.4. Документація для монтажних робіт**

**Види документації.** Монтаж устаткування трубопроводів і конструкцій, а також розрахунок виконаної роботи проводять на підставі технічної, нормативної, проектно-кошторисної, технологічної, монтажної і виробничої виконавчої документації.

До технічної належить документація заводів-виробників на обладнання, яку замовник передає до монтажної організації для підготовки та виконання робіт. Вона містить складальні та настановні креслення зі специфікаціями і комплектувальні та відвантажувальні відомості: паспорти машин, апаратів, арматури і контрольно-вимірювальних приладів, що входять в комплект поставки; схеми поділу негабаритного обладнання на поставні вузли із зазначенням маркування; заводські технічні умови (ТУ) на виготовлення і поставку обладнання, а також інструкції на його збирання, монтаж, зварювання, випробування і обкатку вхолосту; акти заводу-виробника на контрольне збирання, обкатку і випробування обладнання з додатком – формулярами (монтажними картами) із зазначенням допустимих і фактичних зазорів, які утворилися під час складання; пакувальний лист (один примірник);

схеми стропування окремих вузлів і машини в цілому; графік постачання обладнання; сертифікати на металопрокат, труби, металовироби та ін.

**Нормативна документація** – будівельні норми і правила (СНиП, ДБН), галузеві (ОСТ) і державні (ГОСТ, ДСТУ) стандарти; технічні умови на виконання і приймання монтажних робіт, виготовлення та постачання обладнання; норми тривалості будівництва об'єктів, монтажних робіт і випробування обладнання.

Система нормативних документів у будівництві діє поряд із системою стандартизації.

Нормативні документи в будівництві встановлюють комплекс норм, правил, положень, вимог, обов'язкових у проектуванні, інженерних вишукуваннях і будівництві, реконструкції будівель і споруд, розширенні і технічному переозброєнні підприємств, а також у виготовленні будівельних конструкцій, виробів і матеріалів.

#### **Основні завдання нормування в будівництві:**

- здійснення єдиної технічної політики в капітальному будівництві;
- підвищення ефективності капітальних вкладень;
- досягнення надійності об'єктів під час проектування, будівництва та експлуатації;
- прискорення науково-технічного прогресу в будівництві;
- ощадливе використання матеріальних, енергетичних, трудових і фінансових ресурсів;
- встановлення вимог, що гарантують здорові і безпечні умови праці та побуту на підприємствах, в будівлях, спорудах і населених пунктах;
- забезпечення належної якості будівництва, зниження його вартості, високого рівня архітектурних, об'ємно-планувальних і конструктивних рішень; раціональне використання земель, інших природних ресурсів та охорона навколишнього середовища;
- удосконалення організації проектування та будівництва.

До нормативних документів належать: будівельні норми і правила; норми технологічного проектування; нормативні документи органів державного нагляду, пов'язані з проектуванням, інженерними

вишукуваннями і будівництвом; нормативні документи деяких відомств і громадських організацій; державні стандарти.

Будівельні норми і правила відображають вимоги до організації, управління та економіки у сфері проектування, інженерних вишукувань і будівництва; норми проектування; правила організації, виконання і приймання будівельно-монтажних робіт; методи визначення вартості будівництва та кошторисні норми; норми витрат матеріальних і трудових ресурсів.

Норми технологічного проектування затверджують міністерства і відомства за погодженням з Держбудом України.

Нормативні документи органів державного нагляду, пов'язані з проектуванням, інженерними вишукуваннями і будівництвом, затверджуються цими органами за погодженням з Держбудом України.

Нормативні документи, розроблювані міністерствами, відомствами та громадськими організаціями, пов'язані з проектуванням, інженерними вишукуваннями і будівництвом, затверджуються ними спільно з Держбудом України або за погодженням з ним.

**Об'єктами стандартизації в будівництві** є продукція будівництва (будівлі, споруди та їх елементи) і промислова продукція, а також правила, що регулюють розробку, виробництво і застосування цієї продукції.

Об'єкти стандартизації в будівництві регламентовано ГОСТ 24369-86.

До відомчих нормативних документів належать відомчі будівельні норми; відомчі норми технологічного проектування; деякі кошторисні нормативи; галузеві стандарти; технічні умови на деякі види продукції.

Відомчі нормативні документи містять правила, положення та вимоги з проектування, інженерних вишукувань і будівництва, а також виготовлення будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, у них відображено специфіку галузі народного господарства і галузі промисловості, що перебувають у підпорядкуванні відповідного міністерства або відомства.

Такі нормативні документи затверджують міністерства і відомства за погодженням з Держбудом України. Відомчі нормативні документи обов'язкові до виконання для всіх підприємств, організацій і установ, підпорядкованих відомству, яке затвердило документи. Ці нормативні документи чинні також для організацій інших відомств, які здійснюють проектування, інженерні вишукування та будівництво для замовників,

підвідомчих міністерству чи відомству, яке затвердило відповідний нормативний документ.

Відомчий нормативний документ одного відомства може бути обов'язковим для організацій іншого відомства за умови надання йому чинності цим відомством.

**Система проектної документації для будівництва (СПДБ)** – уніфікована система єдиних правил виконання оформлення й обігу проектної документації для будівництва. Стандарти СПДБ доповнюють державні стандарти єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД) відповідно до специфіки будівництва.

Система проектної документації для будівництва сприяє уніфікації складу й оформлення проектної документації, яка містить також розробки потрібних для будівництва проектних документів; спрощенню форм проектних документів і графічних зображень; можливості виконання машиноорієнтованих проектних документів, використовуваних в автоматизованій системі управління (АСУ); можливості повторного використання проектної документації без її переоформлення.

Стандарти на проектну документацію поділяють на класифікаційні групи, що охоплюють загальні положення; загальні правила оформлення креслень і текстових документів; правила поводження з проектною документацією; правила виконання проектної документації з інженерних вишукувань; правила виконання технологічної проектної документації; правила виконання архітектурно-будівельної проектної документації; правила виконання проектної документації з інженерного забезпечення; правила виконання типової проектної документації; правила виконання машиноорієнтованих проектних документів, використовуваних в автоматизованій системі управління; інші стандарти.

**Технологічна монтажна документація** – проект організації будівництва, проект виконання робіт, технологічні карти і технологічні схеми виконання робіт, а також журнали виконання монтажних і спеціальних робіт.

Проект організації будівництва розробляють на стадії робочого проекту промислового об'єкта. Однією із складових частин ПОБ є розділ «Механомонтажні роботи. Монтаж обладнання».

У цьому розділі містяться відомості про обсяги робіт у грошовому та фізичному вираженні; пропозиції щодо будженплану із зазначенням методу і напрямів зведення основних будівель і споруд, майданчиків

приоб'єктного складу та ін.; принципів рішення з монтажу основного обладнання; схеми установки і закріплення обладнання на фундаментах; послідовність подавання устаткування для монтажу і на майданчики приоб'єктного складу; строки поетапної будівельної готовності; графік постачання основного обладнання та конструкцій; схеми енергозабезпечення; потреба в енергоресурсах і робочій силі; пропозиції щодо створення виробничої бази та будівництва житлових приміщень, вимоги до генпідрядника (замовника) і суміжних організацій із забезпечення, суміщення та узгодження різних робіт.

**Проект з організації будівництва (ПОБ)** є основним документом, яким визначають порядок і послідовність виконання будівельно-монтажних робіт у встановлені терміни з найменшими витратами і належної якості. Будівництво об'єкта допускається здійснювати тільки на підставі попередньо розроблених рішень щодо організації будівництва і технології виконання робіт, які повинні бути зазначені в ПОБ і проектах виконання робіт (ПВР). Склад і зміст проектних рішень та документації в ПОБ залежать від виду будівництва і його складності (СНиП 3.01.01 «Організація будівельного виробництва»).

Проект організації будівництва розробляє генеральна проектна організація або на її замовлення проектна організація, яка виконує будівельне проектування, за участі організацій, що здійснюють будівництво. Розділи ПОБ, що стосуються спеціальних будівельних і монтажних робіт, повинні розробляти спеціалізовані проектні організації.

Такий проект розробляють на будівництво нових, розширення, реконструкцію і технічне переозброєння діючих підприємств.

ПОБ є обов'язковим документом для всіх учасників будівництва.

У процесі складання проекту з організації будівництва повинна бути передбачена злагоджена робота всіх учасників будівництва об'єкта з координацією їх діяльності генеральним підрядником; комплексне постачання матеріальних ресурсів з розрахунку на певний об'єкт, етап або захватку згідно з календарним планом і графіками робіт; зведення будівель, споруд та їх частин за індустріальними методами на основі застосування комплектно поставлених конструкцій, виробів, матеріалів й устаткування, а також комплекту блоків високої заводської готовності; виконання будівельних, монтажних і спеціальних будівельних робіт за потоковими методами; дотримання технологічної послідовності і

технічно обґрунтованого їх поєднання; безпечне ведення робіт й охорона навколишнього природного середовища.

Розділ проекту з організації будівництва «Монтаж технологічного обладнання» – складова частина ПОБ, обов'язковий для виконавця документ з організації монтажу технологічного обладнання, технологічних трубопроводів і металоконструкцій всіма учасниками будівництва.

Розроблення розділу здійснюється спеціалізованою проектною організацією спільно з організацією, яка виконуватиме монтаж обладнання. Завдання на розроблення розділу видає генеральна проектна організація.

Матеріалами для розроблення розділу ПОБ «Монтаж технологічного обладнання» слугують техніко-економічні обґрунтування будівництва об'єкта; терміни початку і закінчення будівництва об'єкта, його черг, етапів і захваток; генплан споруджуваного підприємства або об'ємно-планувальні і конструктивні вирішення будівель і споруд; технологічна частина проекту (план, розрізи), принципів технологічні схеми основного виробництва об'єкта, що будуватиметься з поділом на пускові комплекси та вузли; специфікації на технологічне обладнання і трубопроводи; пояснювальна записка до технічного проекту; кошторису; відомості про умови постачання та транспортування обладнання; графік або відомості про терміни постачання обладнання; відомості про порядок забезпечення будівництва енергетичними ресурсами, водою, тимчасовими інженерними мережами, пунктами під'єднання до них; відомості про потужність і розміщення будівельних баз і складських площ; відомості про тимчасові залізничні і автомобільні дороги.

Розділ ПОБ з монтажу технологічного обладнання має бути розроблений у складі технічного проекту, паралельно з розробленням будівельної частини проекту для узгодження використовуваних об'ємно-планувальних і конструктивних рішень з вимогами щодо монтажної техніки і технології.

Склад і зміст розділу ПОБ з монтажу технологічного устаткування: генплан будівництва на стадії монтажу технологічного обладнання, трубопроводів і металоконструкцій із зазначенням постійних будівель і споруд, тимчасових, зокрема мобільних (інвентарних), будівель і споруд, постійних і тимчасових залізничних й автомобільних доріг та інших шляхів для транспортування

устаткування, зокрема великовагового і великогабаритного, конструкцій, матеріалів і виробів; із зазначенням складських і монтажних майданчиків для укрупнювального складання й виконання ревізії (за потреби) технологічного обладнання, шляхів для переміщення кранів великої вантажопідйомності; інженерних мереж, місць під'єднання тимчасових інженерних комунікацій до мереж із зазначенням джерел забезпечення електроенергією, водою, паром, теплом; основних монтажних кранів та інших будівельних машин, механізованих установок, розміщення реперів і знаків закріплення розподільних осей і висотних відміток; відомості про об'єкти будівельно-монтажних робіт (з розподілом по роках будівництва); основні схеми монтажу обладнання, трубопроводів і конструкцій; відомість основних монтажних машин і механізмів; відомість монтажного, вимірювального інструменту і монтажних пристроїв; відомість основних і допоміжних матеріалів; графіки виконання монтажних робіт (лінійний або мережний), руху робочої сили, постачання обладнання, конструкцій і матеріалів для виконання монтажних робіт, руху основних вантажопідіймальних кранів, а також графіки використання кранів інших організацій; пояснювальна записка з обґрунтуванням вибору методів виконання робіт, потреби в монтажному обладнанні, матеріально-енергетичних ресурсах, кадрах, житлі, відомості про обов'язкові заходи безпеки і промсанітарії. До записки додають документи узгодження.

У принципових рішеннях з монтажу зазначають монтажні прорізи; схеми монтажу основного обладнання та встановлення його в «мертвих» зонах, що не обслуговуються мостовими кранами; технічні рішення з використання будівельних конструкцій, спеціальних монтажних механізмів (порталів, підйомників та ін.) для підймання обладнання та естакад та переміщення з розробкою відповідних завдань на їх проектування або перевірку несної спроможності з урахуванням монтажних навантажень.

**Проект виконання робіт (ПВР).** Після вивчення та опрацювання проектно-кошторисної документації монтажна організація визначає потребу у розробленні проектів виконання робіт. Зазвичай розроблення ПВР доручають спеціалізованій проектній організації. Окрім замовлення на розроблення, монтажна організація спільно з проектувальниками ставить завдання на проектування, яке є складовою частиною ПВР.



Проект виконання робіт є основним технологічним документом, який складають на об'єкт загалом або на окремі види робіт. Проект складається з пояснювальної записки, графічної частини та додатка, який містить кошторис додаткових робіт, робочі креслення монтажних пристосувань і спеціальних тимчасових споруд, а також монтажно-технічний паспорт об'єкта.

Проект виконання робіт містить стислу характеристику об'єкта, відомості про обсяг, вартість та трудомісткість монтажу; схему монтажного майданчика; генеральний план зони виконання й організації праці; відомості про енергоресурси, матеріали і засоби монтажу; вимоги до геодезичного обґрунтування; технологічні карти або схеми виробничих процесів монтажу; схеми енергопостачання, проекти виконання зварювальних робіт; заходи з механізації ручної праці, техніки безпеки й охорони навколишнього середовища; креслення тимчасових споруд, графіки руху робочих кадрів і переміщення механізмів; схеми стропування та переміщення монтованих вузлів.

Склад, зміст, порядок погодження та затвердження проектів виконання робіт (ПВР) з монтажу технологічного устаткування і трубопроводів регламентовано СНиП 3.01.01-85 та галузевим стандартам ОСТ 36-143-88 «Монтаж технологічного обладнання технологічних трубопроводів. Проект виконання робіт. Порядок розробки, склад і зміст».

У ПВР повинні бути зазначені: послідовність монтажу, що дає змогу створити фронт робіт для суміжних монтажних і будівельних організацій, першочергові підготовчі роботи, поетапна здача закінчених монтажних об'єктів для виконання налагоджувальних робіт; передова і найбільш ефективна організація і технологія монтажу обладнання; розроблення робочих креслень на спеціальні допоміжні пристрої і пристосування.

Вихідними даними для розроблення ПВР є такі: завдання на розробку ПВР, в якому повинні бути зазначені терміни початку і закінчення монтажних робіт або нормативна тривалість, основні рішення з організації і технології монтажу, передбачуване для використання вантажопідйомне і транспортне обладнання та інші обов'язкові дані; проект організації будівництва; генплан монтованого об'єкта та монтажно-технологічні креслення; креслення будівельної частини, обладнання, металоконструкцій і трубопроводів; специфікації обладнання, конструкцій і трубопроводів та кошторис на їх монтаж, заводські інструкції з монтажу обладнання.

## **Склад проектів виконання робіт**

**Монтажний будженплан.** На монтажному будженплані повинні бути зазначені плани будівництва, план наявних і тимчасових будівель і споруд; комунікації в зоні виконання робіт; постійні і тимчасові залізничні й автомобільні дороги, використовувані для подавання устаткування в монтаж і переміщення вантажопідіймальних кранів; майданчики складування й укрупненого обладнання, конструкцій і трубопроводів; постійні і тимчасові мережі електропостачання; водопровід стисненого повітря, пари, кисню, ацетилену для підведення їх до місць споживання; розміщення електрощитів; місця встановлення засобів загального освітлення; тимчасові будівлі монтажної організації (виробничі, адміністративні, побутові та ін.); зони дії та напрямку переміщення основних монтажних механізмів і транспортних засобів; зони робіт поєднаним способом, а також зони, що потребують огороження межі охоронних зон ліній електропередачі.

**Схеми монтажу обладнання.** Ці схеми повинні містити вичерпну інформацію про спосіб встановлення обладнання з вихідного положення в проекті: плани і розрізи будинків і споруд, де виконують монтаж; місце встановлення вантажопідіймального механізму; шляхи подавання устаткування в монтаж, у вихідне положення; майданчики для укрупненого оснащення та майданчики для викладки такелажного оснащення; проміжні положення устаткування і вантажопідіймальних засобів у процесі піднімання. Крім загальнотехнічних рішень, повинні бути схеми стропування устаткування і кріплення огорож, риштування, колісок, огорожі прорізів; способи і засоби кріплення устаткування й оснащення, контролю сил і положення оснастки, розстропування обладнання на висоті, запобігання самовільному опусканню обладнання; місця встановлення попередніх знаків й огорожень; місця встановлення тимчасового закріплення вертикального обладнання та конструкцій.

**Технологічні карти з монтажу обладнання.** У деяких випадках розробляють або використовують типові технологічні карти монтажу окремого виду обладнання. У технологічних картах відображають послідовність складання, монтажу та налагодження обладнання, використовуване при цьому монтажне обладнання, оснащення, інструмент, допоміжні матеріали й енергетичні та інші ресурси, потрібні для виконання технологічних операцій. Зазначають склад і кваліфікацію бригади або ланки, необхідні витрати праці.

**Проект з виробництва зварювальних робіт.** У проекті має бути наведений перелік нормативно-технічних документів, відповідно до яких слід виконувати роботи із зварювання і контроль за якістю зварних з'єднань, вказівки або інструкція зі зварювання, надана заводом-виробником обладнання. Обов'язково вказують зварювальні матеріали і вимоги до їх якості, їх кількість, режими зварювання та зварювальне обладнання, вимоги до підготовки кромки і збірки з'єднань під зварювання, способи контролю за якістю зварних з'єднань, відомості про обладнання, інструменти та матеріали. Розробляючи проект зварювальних робіт на трубопроводах, беруть до уваги додаткові вимоги, які зазначають в основному проекті. Складають відомості про обсяги зварних швів, їх кількість, розміщення, належну термічну обробку та контроль за якістю.

**Графік виконання монтажних робіт.** На підставі розробленої технології виробництва монтажу технологічного обладнання та трубопроводів, послідовності технологічних операцій, підготовчих робіт, встановлення монтажного устаткування і оснащення, укрупнювальних і складальних робіт, виробництва налагоджувальних робіт складають робочий графік їх виконання. За операціями підраховують необхідні трудовитрати і склад робітників основного і допоміжного персоналу.

**Трудовитрати** можуть бути визначені за відповідними нормативними актами або досягнутою продуктивністю праці (виробітком) в монтажній організації.

**Технологічна карта виконання робіт.** Монтаж окремих машин і агрегатів виконують згідно з робочими кресленнями та інструкціями заводів-виготовлювачів. Коли технологія, відображена в інструкціях, суперечить умовам виробництва, монтаж деяких машин і виконання складних робіт здійснюють за технологічними картами.

У технологічній карті зазначають найменування та характеристику машини (об'єкта, роботи); обсяги робіт, масу і кількість монтажних вузлів (блоків); кошторисну вартість і трудомісткість робіт, склад ланок і бригад, тривалість і терміни виконання роботи; план монтажного майданчика (робочої зони, робочого місця); маршрути руху робітників і переміщення механізмів; порядок приймання будівельної частини об'єкта й обладнання (конструкцій, матеріалів); вимоги до розконсервації і підготовки устаткування (конструкцій) до монтажу; схему переміщення, строкування, встановлення і вивірення

устаткування (конструкцій); послідовність робіт (складання); потребу в монтажних механізмах, пристроях, інструментах і матеріалах; порядок випробування (обкатки) вхолосту; техніко-економічні показники; заходи з техніки безпеки. Проект виконання робіт і технологічні карти на виробничі процеси монтажу складають проектно-технологічні інститути або монтажні організації.

**Технологічні схеми виконання робіт.** Якщо немає вимог до складності інженерних рішень, транспортування та піднімання виконують за схемами, які за складом аналогічні технологічній карті, але значно менші за обсягом і оформлені на типовому бланку з додатком плану монтажної зони, схем піднімання і переміщення вантажів.

**Журнали виконання робіт.** Цей вид документації ведуть під час монтажу відповідального обладнання; зварювання трубопроводів й обладнання, а також відповідальних металоконструкцій (доменних печей та ін.); захисту обладнання від корозії; випробувань (обкатки) обладнання.

**Виробнича виконавча документація** – це схеми фундаментів і постаментів під обладнання, а також змонтованого обладнання та трубопроводів; формуляри встановлення відповідальних машин, турбін, компресорів, прокатного обладнання тощо; акти прихованих робіт та ін.

Виробничу виконавчу документацію складають в процесі виконання робіт. У виконавчих схемах і формулярах вказують проектні та фактичні розміри, положення осей і висотних відміток елементів фундаментів, обладнання, конструкцій і трубопроводів, а також допустимі і фактичні зазори в підшипникових опорах, зубчастих і черв'ячних зачепленнях та інших обертових вузлах.

### **1.5. Організація монтажного майданчика**

Організацію монтажного майданчика відображають у будгенплані.

На будгенплані зазначають розміщення постійних і тимчасових споруд; залізничних й автомобільних шляхів; монтажних прийомів і в'їздів в цехи; позацехових трас трубопроводів і електропередач; майданчиків приоб'єктного складу, майданчиків укрупнювального складання устаткування (конструкцій), складських та культурно-побутових приміщень; будівельних і монтажних машин і механізмів, зони обслуговування і маршрути їх переміщення; об'єми вантажів, що надходять в'їзними шляхами. На будгенплані вказують також напрямок будівництва основних об'єктів (цехів) з поділом на ділянки.

Для цехів з великим підземним господарством і складних споруд (прокатні, ковальсько-пресові, сталеплавильні та інші цехи металургійної промисловості, деякі підприємства хімічної та інших галузей виробництва), крім загальмайданчикowego, складають об'єктний стройгенплан.

У процесі організації робочого місця (монтажні зони і майданчики) складають два-три варіанти планування монтажного майданчика, плануючи резервні рішення на випадок відхилення від затвердженої організації робіт. При цьому беруть до уваги, що основна частина обладнання (конструкцій) подається на майданчики приоб'єктного складу або до місця монтажу залізничним й автомобільним транспортом, а також на спеціальних автотранспортних пристроях. Оскільки під час подачі обладнання уникають додаткових розвантажень і навантажень, а також перевантажень його на інші транспортні засоби, особливо дво-триразових, то залізничний (автомобільний) шлях і майданчики слід розміщувати в зоні дії монтажних механізмів, самохідних або мостових кранів, для встановлення обладнання в проектне положення.

Дрібне обладнання подають автотранспортом, тому планують автопоїзд і маршрути його руху по цеху. Майданчики для складування, розконсервації, ревізії або укрупненого монтажного складання устаткування влаштовують на території приоб'єктного складу або безпосередньо біля фундаментів.

В умовах споруджуваного підприємства для монтажних організацій виділяють ділянки території для розміщення монтажного містечка, що складається з інвентарних пересувних будинків контейнерного типу. Типові компонування монтажних ділянок розробляють залежно від чисельності працівників і виконуваних монтажних робіт.

Місце для майданчиків під монтажні містечка і пересувні будинки контейнерного типу вибирають в кожному окремому випадку за погодженням з генпідрядником, зважаючи на насиченість будівельного майданчика і наявність вільних площ в цехах. Коли є можливість, служби ділянок і склади арматури, апаратури та приладів розміщують в підсобних приміщеннях будинків, зведення яких повинно бути закінчене до початку монтажних робіт.

Для зберігання електродвигунів, деталей трубопроводів, контрольно-вимірювальної апаратури тощо використовують збірно-розбірні складські приміщення з розмірами в плані 6x12 і 12x36 м.

Забезпечення об'єктів монтажу енергоресурсами і влаштування тимчасових мереж водопроводу та каналізації, електропостачання, паропроводу і гарячої води, пневмоліній стисненого повітря тощо з врізками в наявні лінії, а також установа розподільних пристроїв здійснює генеральний підрядник, а в робочих цехах - замовник. Тимчасову розводку цих мереж у межах робочої зони (окремого майданчика або приміщення тощо) виконує монтажна організація.

Потребу в повітрі під час монтажу задовольняють, використовуючи автомобільні пересувні компресорні станції АПКС - 3, АПКС - 6, АПКС - 10 з подачею 2,5-10 м/хв і тиском нагнітання 0,7-1,2 МПа, а також компресорні установки типу ГСВ-1/12 з подачею 1 м/хв, які створюють тиск 1,2 МПа.

У разі неможливості використання наявних киснепроводів влаштовують подачу кисню від спеціальних розподільних кисневих рампи чи індивідуальних балонів. Кисневі рампи стаціонарного типу 2x5 або 2x10 розміщують в окремих приміщеннях постійного або інвентарного типу. Для улаштування пересувних рампи застосовують автомобільний причіп, на якому встановлені вертикально або укладені в похилому положенні (під кутом 10-15 ° до горизонту) 25-30 кисневих балонів. Заповнюють пересувні рампи киснем на кисневій станції за допомогою спеціального вентиля.

Для електропостачання об'єктів в проекті виконання загальнобудівельних робіт для всього комплексу будівництва планують тільки високовольтну частину електропостачання з розміщенням комплектних трансформаторних підстанцій зовнішнього типу (КТПН). Оскільки розводку від КТПН до розподільних пунктів з їх встановленням (низьковольтна частина) виконує генпідрядник - відділ головного енергетика будівельного тресту, то генпідряднику завчасно надають вихідні дані з електропостачання монтажного майданчика, зокрема схему розстановки розподільних силових шаф.

Найбільш економічно ефективним і ресурсощадливим заходом для забезпечення будівництва енергоресурсами є використання проектних позацехових і внутрішньоцехових мереж енергозабезпечення. Це означає випереджальне будівництво і введення в дію об'єктів енергопостачання.

## Запитання для самоперевірки

1. Дайте визначення об'єктам монтажних процесів.
2. Які основні функції технологічного оснащення?
3. Що охоплює поняття монтажних робіт? Які їх основні етапи?
4. Опишіть перелік робіт під час пусконаладжувального випробування обладнання.
5. Які види документації використовуються під час монтажних робіт?
6. Опишіть супровідну робочу документацію, потрібну для розробки технології виконання монтажних робіт.
7. Якою є роль будгетплану у виконанні монтажних робіт?
8. Як планують монтажний майданчик у процесі організації робочого місця?

## 2. МЕХАНІЗАЦІЯ МОНТАЖНОЇ ДІЛЬНИЦІ

Монтажні та спеціальні будівельні роботи як складова частина будівельного комплексу охоплюють монтаж технологічного устаткування і трубопроводів, металевих і залізобетонних конструкцій, виконання санітарно-технічних, вентиляційних, електромонтажних, тепломонтажних й ізоляційних робіт, монтаж систем автоматизації і контрольно-вимірювальних приладів.

У процесі монтажу, наприклад, технологічного устаткування, виконують в середньому 80-90 операцій, зокрема розкріплення устаткування на транспортних засобах, розпаковування ящиків з устаткуванням, розмотування і різання канатів, піднімання-опускання й укладання вантажів, очищення поверхонь металоконструкцій від іржі і фарби, свердлення і розверчення отворів, різання металопрокату, труб, зняття фасок під зварювання, складання і контроль затягування нарізних з'єднань, піднімання, установлення на фундамент і перевірка устаткування, випробування апаратів і трубопроводів, інші технологічні операції.

Більшість операцій виконують за допомогою машин та спеціальних пристроїв, проте чимало монтажних робіт здійснюють вручну, тому основним завданням є зведення до мінімуму кількості

ручних операцій, тобто механізація робіт, що дає змогу значно підвищити продуктивність праці і якість робіт, знизити їх вартість, скоротити терміни монтажу [2].

Розрізняють часткову і комплексну механізацію робіт.

**Часткова механізація** – це застосування машин в деяких основних, найбільш трудомістких операціях і процесах.

**Комплексна механізація** – використання машин в основних і допоміжних операціях, причому роботи виконують машини і механізми, пов'язані між собою за продуктивності і технологією.

За комплексної механізації всі основні і допоміжні важкі і трудомісткі операції, виконувані механізованими засобами (машинами, устаткуванням), що відповідають передовому рівню розвитку техніки і взаємно пов'язані за продуктивністю, забезпечують заданий темп (терміни) процесу й оптимальні техніко-економічні показники, тобто найвищу продуктивність праці за найменших витрат.

Якщо піднімання й встановлення устаткування виконують у механізований спосіб, а решту операцій – збирання нарізних з'єднань на фланцях, кріплення апарата до фундаменту, його вивіряння – вручну, то роботу вважають **частково механізованою**. Насправді така класифікація, усталена в інших галузях промисловості, щодо монтажних робіт є досить умовною. Наприклад, горизонтальний апарат піднімають за допомогою механізмів, але якщо на апарат встановлюють велику кількість обв'язувальних трубопроводів, а також контрольну і вимірювальну апаратуру, то трудомісткість їх встановлення може виявитися істотно більшою, ніж трудомісткість піднімання.

Для оцінювання ефективності механізації монтажних робіт застосовують показник продуктивності праці

$$\Pi = \frac{Q}{T}, \quad (2.1)$$

де  $Q$  – обсяг робіт, т;  $T$  – витрати праці, люд.-дні.

Продуктивність масових операцій, наприклад, із загвинчування нарізних з'єднань або зачистки зварних швів, можна оцінювати за такою залежністю:

$$\Pi = \frac{K}{T_1}, \quad (2.2)$$



де  $K$  – кількість загвинчених гайок або зачищених метрів зварного шва;  
 $T_1$  – час виконання операцій, год.

Величину  $K$  потрібно брати для різі однакового діаметра і довжини загвинчування або товщини оброблюваного ідентичного матеріалу.

Фактичний стан механізації робіт оцінюють за показником, який називають рівнем механізації праці  $P_{М.П.}$ . Він являє собою відношення витрат механізованої праці до загальних трудових витрат:

$$P_{М.П.} = \frac{T_M}{T_M + T_P} 100\% = \frac{T_M}{T} 100\%, \quad (2.3)$$

де  $T_M$  – витрати механізованої праці, люд.-дні або люд.-год;  
 $T_P$  – витрати ручної праці, люд.-дні або люд.-год;  $T$  – загальні витрати праці, люд.-дні або люд.-год.

Комплексну механізацію робіт оцінюють за так званим рівнем комплексної механізації  $P_{К.М.Р.}$ :

$$P_{К.М.Р.} = \frac{Q_{К.М.Р.}}{Q} 100\%, \quad (2.4)$$

де  $Q_{К.М.Р.}$  – обсяг робіт в натуральних вимірах, виконаних комплексно-механізованим способом;  $Q$  – загальний обсяг робіт, виконаних за той самий період.

Рівень комплексної механізації відображає масштаб використання машин на тих або інших роботах, але не дає змоги достеменно оцінити продуктивність монтажу об'єкта або установки загалом. Наприклад,  $P_{К.М.Р.}$  під час монтажу компресора дорівнює 80...85%, оскільки станини циліндрів, що становлять 75...80% маси компресора, піднімають механізмами, але в цих роботах бере участь не більш ніж 10% монтажників. Решту 20% робіт виконують 90% робітників, які монтують компресор. Це стосується багатьох видів устаткування, тому ефективність монтажу не можна оцінювати тільки за рівнем комплексної механізації, а слід брати до уваги й інші показники (обсяг робіт, які виконують ручними машинами і потребують перевірки тощо).

Для різних видів монтажних робіт заздалегідь складають проект у якому зазначають найефективніші методи їх виконання, що сприяють

зниженню собівартості і трудомісткості, скороченню тривалості будівництва об'єктів, підвищенню ступеня використання машин й устаткування для монтажу, поліпшенню якості будівельно-монтажних робіт. Виконувати будівельно-монтажні роботи без ПВР заборонено. У ПВР містяться вимоги до виконання, забезпечення й організації монтажних робіт, а також основні технологічні особливості і рекомендації щодо технології виконання спеціальних або складних робіт. Проекти розробляють спеціалізовані проектні та проектно-конструкторські організації. На нескладні роботи відділи або групи підготовки виробництва монтажною організації складають технологічні записки.

Розділ механізації ручної праці може бути представлений у вигляді пояснювальної записки, що містить такі обов'язкові дані: а) перелік операцій; б) відомість засобів малої механізації; в) розрахунок кількості засобів механізації; г) склад бригадних технологічних комплектів; д) вказівки щодо розміщення джерел живлення, постів під'єднання і допоміжного устаткування. За потреби до документації можуть бути додані технологічні карти на виконання масових трудомістких операцій, рекомендації з організації робочих місць, а також оцінка планованого рівня механізації ручної праці на монтажі конкретного об'єкта.

Розробляти розділ з механізації ручної праці починають зі складання переліку операцій, передбачених для виконання механізованим способом. У разі потреби визначають питомий обсяг операції в загальній трудомісткості монтажу і її трудомісткість як добуток загальної трудомісткості монтажу згідно ПВР та питомої ваги операції.

У виборі ручних машин для механізації трудомістких операцій потрібно керуватися такими настановами:

а) на монтажних майданчиках слід застосовувати електричні ручні машини з подвійною ізоляцією;

б) під час виконання робіт в судинах, апаратах, резервуарах та інших металевих спорудах рекомендується використовувати електричні на 36-42 В або пневматичні ручні машини;

в) на майданчиках для крупного складання і в місцях зосередження значних обсягів монтажних робіт доцільно застосовувати ручні машини з пневматичним приводом. Для виконання операцій

у важкодоступних місцях слід використовувати спеціальні насадки, шарніри, перехідники та пристрої, що розширюють сферу застосування ручних машин. Під час роботи ручними машинами масою понад 10 кг рекомендовано використовувати балансири.

Вказівки щодо організації робочого місця розробляють у разі виконання великого обсягу однотипних робіт.

Потрібну кількість інструментів за різних початкових даних визначають так.

1. Залежно від обсягу операцій і кількості робітників (бригад), виду технологічного устаткування, трубопроводів і металоконструкцій, що надходять на монтаж.

До цього способу вдаються у разі виконання робіт спеціалізованими бригадами.

2. Залежно від обсягу робіт і термінів монтажу устаткування різних видів.

Цей спосіб доцільний за відомих, наперед визначених термінів монтажу і певних видів монтованого устаткування, зокрема під час розроблення проектів виконання робіт.

3. Залежно від середньої кількості потреб в інструментах певного типорозміру, що надходять за зміну (робочий день), і тривалості використання робітником інструменту протягом зміни.

Цей спосіб доцільно застосовувати в організаціях та їх підрозділах з різноманітним, але стійким характером виконуваних робіт за видами та обсягом протягом досить тривалого періоду (два роки і довше).

За розрахунками, що ґрунтуються на основних положеннях теорії масового обслуговування, визначають потрібну кількість інструментів на один рік (технологічний комплект).

## **2.1. Визначення потрібної кількості інструментів залежно від обсягу операцій і відповідно до чисельності робітників (бригад)**

Розрахунок складається з двох етапів. На першому етапі визначають кількість інструментів відповідно до обсягу операцій, на другому – відповідно до кількості робітників (бригад).

Результати порівнюють і за потрібну кількість інструментів беруть найбільший показник.

## Визначення кількості інструментів відповідно до обсягу операцій

Обсяг операцій, виконуваних за допомогою інструменту, визначають за такими даними:

1) для монтажу трубопроводів потрібно в середньому на 100 м труб діаметром 100-150 мм виконати 32 різні із зняттям фаски для встановлення відведень, 19 – для фланців, 3 – для переходів, 9 – для патрубків, 5 – для стикування труб і 4 – для підганяння вузлів;

2) під час монтажу на 5 т металоконструкцій індустріального виготовлення і на 1 т конструкцій, які виготовляються на монтажному майданчику, припадає приблизно по 1 м різну і 0,5 м зачистки. Оббивку шлаку визначають за тоннажем витрачених електродів на ручне зварювання з розрахунку 1 т електродів на 3000 метрів.

Фаски від іржі очищують з розрахунку 10% їх загальної довжини;

3) кількість нарізних з'єднань монтованого устаткування визначають за масою встановлюваних за рік болтів: на 1 т в перерахунку на болти М16х60 їх кількість становить 9500 шт.;

4) обсяг інших операцій визначають на підставі фактичних даних за ПВР або шляхом спостережень.

За допомогою безпосередніх вимірів визначають продуктивність інструмента ( $\Pi$ ) і середній коефіцієнт його використання для певної операції ( $K_0$ ).

Кількість кожного виду інструменту  $N_i$ , потрібного для виконання всього обсягу операцій, визначають за залежністю

$$N_i = \frac{Q}{T_r \cdot \Pi \cdot K_0}, \quad (2.5)$$

де  $Q$  – обсяг операцій, які виконують інструментом за рік, м; м<sup>2</sup>; шт.;  
 $\Pi$  – продуктивність інструмента, м/хв, м<sup>2</sup>/хв, шт/хв;  $T_r$  – тривалість робочого часу протягом року, 125 000 хв;  $K_0$  – середній коефіцієнт використання інструмента.

**Приклад.** Припустимо, що потрібно зняти кромкорізом 100 000 м фаски. Продуктивність кромкоріза ( $\Pi$ ) становить 0,5 м/хв, коефіцієнт використання  $K_0 = 0,1$ , тоді

$$N_i = \frac{100000}{125000 \cdot 0,5 \cdot 0,1} = 16 \text{ шт.}$$

**Визначення кількості інструментів відповідно до кількості робітників (бригад).** Визначають кількість бригад кожної спеціальності:

$$n_1, n_2, n_3, \dots, n_i,$$

де  $n_i$  – кількість бригад певної спеціальності.

Наприклад,  $n_3$  – кількість бригад з монтажу технологічних металоконструкцій.

Визначають потрібну кількість інструментів певного типу для спеціалізованої бригади з шести осіб:

$$m_{1i}, m_{2i}, m_{3i}, \dots, m_{ki},$$

де  $m_{ki}$  – кількість інструментів певного типорозміру для певної спеціалізованої бригади;  $k$  – порядковий номер інструменту;  $i$  – шифр бригади.

Наприклад,  $m_{63}$  – кількість гайкових двосторонніх ключів ( $S = 6 \dots 12$ ) для спеціалізованої бригади з монтажу технологічних металоконструкцій.

Для певної кількості бригад визначають певну кількість інструментів на підрозділ  $N_i$  як добуток першого показника на другий:

$$N_i = n_i m_{ki}. \quad (2.6)$$

**Приклад.** Припустимо, що в управлінні або на ділянці 20 бригад виконують монтаж технологічних трубопроводів. Для однієї бригади потрібен один кромкоріз, отже, кількість кромкорізів дорівнює 20 шт.

Порівнявши кількість інструментів, визначену за результатами двох етапів, беремо більшу, тобто потрібна кількість кромкорізів без резерву становить 20 шт.

## **2.2. Визначення потрібної кількості інструментів залежно від обсягу робіт, часу використання інструменту і заданих термінів монтажу**

Потрібну кількість інструментів  $N_i$  для монтажу технологічного устаткування визначають за залежністю:

$$N_i = 0,007 P_0 \cdot T_0 + 1, \quad (2.7)$$

де  $P_0$  – кількість монтованого устаткування за місяць, т;  $T_0$  – час використання інструменту для монтажу 1 т технологічного устаткування, год.

Кількість інструментів ( $N_i$ ) для монтажу технологічних металоконструкцій визначають за залежністю:

$$N_i = 0,008P_M \cdot T_M + 2,3, \quad (2.8)$$

де  $P_M$  – кількість металоконструкцій, змонтованих за місяць, т;  $T_M$  – час використання інструменту для монтажу 1 т металоконструкцій, год.

Потрібну кількість інструментів ( $N_i$ ) для монтажу технологічних трубопроводів визначають за залежністю:

$$N_i = 0,007P_T \cdot T_T + 2,5, \quad (2.9)$$

де  $P_T$  – кількість трубопроводів, монтованих за місяць, т;  $T_T$  – час використання інструменту для монтажу 1 т трубопроводів, год.

**Приклад.** Припустимо, що за місяць робітники монтують 150 т компресорного устаткування, а час використання інструмента, наприклад кутошліфувальних машин для монтажу 1 т устаткування, – 1,24 год, тоді

$$N_i = 0,007 \cdot 150 \cdot 1,24 + 1 = 2,21.$$

Округлюємо до цілого більшого числа, отже кількість кутошліфувальних машин становить три штуки.

Кількість інструментів певного типорозміру визначають із залежності:

$$N_M = N_i \cdot K_S, \quad (2.10)$$

де  $N_i$  – кількість інструментів певного виду, шт.;  $K_S$  – коефіцієнт, що відображає обсяг робіт на операціях, що припадає на інструмент цього типорозміру певного виду.

Загальну потребу в інструментах  $N_0$  кожного виду визначають як суму інструментів  $N_i$  для кожної з груп устаткування:

$$N_0 = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_i. \quad (2.11)$$

Коли відомий обсяг робіт для певної групи технологічного устаткування і задані терміни монтажу, кількість інструментів кожного виду  $N_i$ , потрібних для монтажу кожної групи устаткування, можна визначити за залежністю:

$$N_i = \frac{P_i \cdot T_{\text{пит.}}}{T_i \cdot K_{\text{вик.}}}, \quad (2.12)$$

де  $P_i$  – обсяг монтажних робіт для певної групи технологічного устаткування, т;  $T_i$  – час монтажу технологічного устаткування певної групи згідно з проектом виконання робіт або директивним терміном, год;  $T_{\text{пит}}$  – питомі витрати часу на виконання робочих операцій інструментом, ін.-год/т;  $K_{\text{вик}}$  – коефіцієнт використання інструменту.

Питомі витрати часу  $T_{\text{пит}}$  на виконання робіт певним інструментом визначаються зазвичай за натурними спостереженнями. У разі виникнення ускладнень з визначенням  $T_{\text{пит}}$  за методом спостережень можна скористатися наближеною залежністю:

$$T_{\text{пит}} = \frac{d_{\text{пит.р.}} \cdot K_{\text{В}}}{K_{\text{М}}}, \quad (2.13)$$

де  $d_{\text{пит.р.}}$  – питомі витрати часу на виконання робочих операцій вручну, люд.-год/т;  $K_{\text{М}}$  – коефіцієнт підвищення продуктивності праці під час виконання робочої операції за допомогою механізованого інструмента порівняно з ручним способом;  $K_{\text{В}}$  – питома вага операції, яку можна виконати механізованим інструментом.

Значення  $T_{\text{пит}}$  і  $K_{\text{вик}}$  надалі можна корегувати залежно від умов виконання робіт, ступеня заводської готовності конструкцій, структури і трудомісткості монтажних робіт.

**Приклад.** Припустимо, що обсяг робіт з монтажу устаткування (великі верстати і преси) становить 2400 т, заданий час монтажу – 1000 год.

$T_{\text{пит}}$  для гайковертів – 0,38 год/т,  $K_{\text{вик}} = 0,183$ , тоді

$$N_i = \frac{2400 \cdot 0,38}{1000 \cdot 0,183} \approx 5 \text{ шт.}$$

### 2.3. Визначення потрібної кількості інструментів залежно від середньої кількості потреб в інструментах і тривалості їх використання протягом зміни

Кількість інструментів кожного виду визначають із залежності:

$$N_i = 0,15 \cdot n \cdot t + 5, \quad (2.14)$$

де  $n$  – середня потреба в інструментах за одну зміну для підрозділу, шт.;  $t$  – середній час користування інструментом протягом однієї зміни, год.

Середню кількість потреб в інструментах кожного типорозміру протягом однієї зміни (робочого дня) визначають за книгою обліку видачі інструменту за певний період часу.

Середню потребу в інструментах за зміну визначають як частку від розподілу загальної потреби в інструментах певного типорозміру протягом розрахункового періоду, помножену на кількість змін за той самий період.

Розрахунковий період обирають залежно від ступеня часової сталості видів й обсягів монтажних або спеціальних будівельних робіт, характерних для певного управління або його підрозділів. Цей період може становити від трьох до шести місяців й обов'язково охоплювати періоди (місяці) з найменшим середнім і найбільшим обсягом робіт, характерних для підрозділу.

Середню тривалість використання інструментів певного типорозміру протягом однієї зміни (робочого дня) за розрахунковий період визначають також за книгою обліку.

**Приклад.** Припустимо, що середня потреба в інструментах за зміну – 30, а середня тривалість їх використання протягом зміни дорівнює 5 год, тоді

$$N_i = 0,15 \cdot 30 \cdot 5 + 5 = 27,5 \text{ шт.}$$

Округлюємо до цілого більшого числа, отже, потреба в інструментах становить 28 шт.

#### **2.4. Розрахунок експлуатаційного фонду**

Для безперебійного забезпечення монтажних робіт потрібно мати оптимальні запаси інструментів, які слід систематично поповнювати. Запаси мають бути достатніми для безперервної роботи й одночасно мінімальними, щоб не заморожувати оборотні фонди і не затримувати їх обіг.

Експлуатаційний фонд складається з технологічного комплексу інструментів, резервного фонду на заміну інструментів, що вийшли з ладу раніше за середній термін працездатності, і страхового запасу:



$$F_E = F_T + F_P + F_{C.3.}, \quad (2.15)$$

де  $F_E$  – експлуатаційний фонд;  $F_T$  – технологічний комплект інструментів;  $F_P$  – резервний фонду у якому враховано час ремонту інструменту і термін його придатності;  $F_{C.3.}$  – страховий запас інструментів.

У випадках, коли термін працездатності інструменту  $T_C$  не перевищує року, технологічний комплект визначають із залежності

$$F_T = \frac{N_0}{T_C}. \quad (2.16)$$

Якщо  $T_C$  дорівнює одному року, то  $F_T = N_0$ ; коли  $T_C$  перевищує рік, то в подальші роки технологічний комплект інструментів поповнюється до  $F_T = N_0$ .

Страховий запас

$$F_{C.3.} = N_0 \frac{P_B - P_C}{P_C} 1,43, \quad (2.17)$$

де  $P_C$  – середнеспискова чисельність робітників в управлінні (на ділянці); 1,43 – коефіцієнт, що відображає випадковий спад інструменту і невчасність його поставки;  $P_B$  – передбачувана тимчасова максимальна чисельність робітників для виконання термінових робіт за розрахунковий період.

Резервний фонд

$$F_P = \frac{K_P \cdot F_T}{100}, \quad (2.18)$$

де  $K_P$  – запас інструменту з урахуванням термінів його служби і ремонту, %.

## 2.5. Організація робочих місць для ефективного використання

## **засобів механізації**

Інструментальне господарство монтажного управління

Основними завданнями інструментального господарства є своєчасне оснащення бригад, ланок й окремих робітників бригадними і індивідуальними наборами, а також інструментами певного виду для виконання виробничого завдання за встановленою технологією; організація обліку й зберігання інструментів; ефективне і безпечне застосування інструментів на робочих місцях; створення постійного резервного запасу інструментів; технічне обслуговування і ремонт інструментів.

Інструментальне господарство повинно бути оснащене електричними і пневматичними ручними машинами, монтажними пристосуваннями та інструментами.

До складу інструментального господарства належать інструментальні комори – центральна (з ремонтним відділенням), дільничні, бригадні і пересувна інструментальна майстерня.

Підрозділи інструментального господарства (рис. 2.1) разом утворюють групу (дільницю) малої механізації, очолювану керівником групи (начальником дільниці), керівництвом управління, призначеного з інженерно-технічних працівників. Група (дільниця) працює в тісній взаємодії з виробничо-технічним відділом і відділом (групою) підготовки виробництва. При керівнику групи (начальнику дільниці) на період масового впровадження нового інструменту слід створювати ланку з впровадження з двох-трьох кваліфікованих робітників.

Центральну інструментальну комору створюють при виробничій базі управління, її очолює слюсар-інструментальник 5...6-го розряду, який є матеріально відповідальною особою.

Центральну інструментальну комору розміщують в окремому сухому, світлому приміщенні й обладнують стелажми для зберігання інструменту і пристосувань, шафами і стелажми, які обертаються, для дрібного інструменту, стендами і приладами для перевірки справності інструменту, шафами для зберігання цінного і точного інструменту. Кожному виду інструментів на стелажах відводять певне місце.

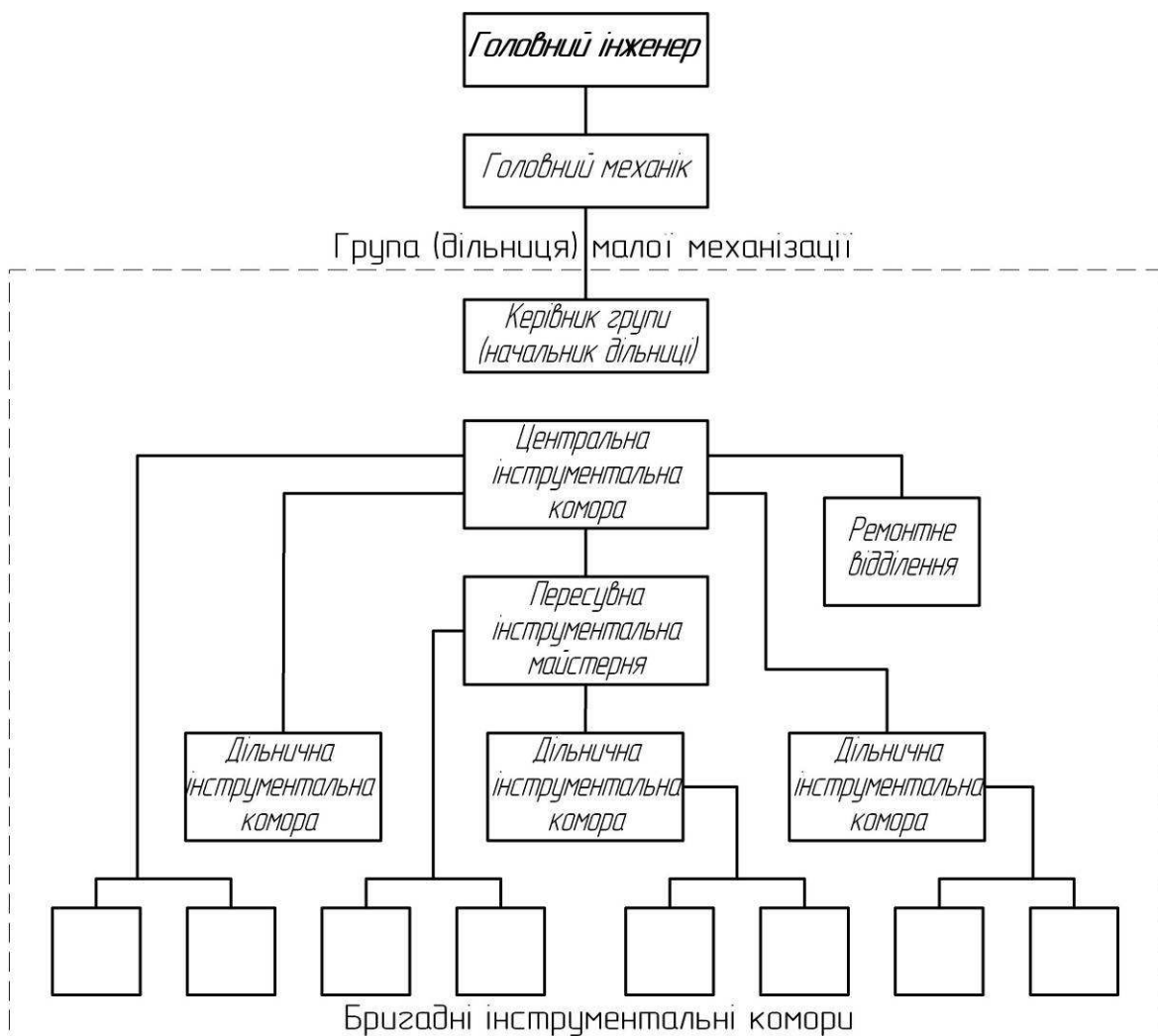


Рис. 2.1. Підрозділи інструментального господарства

При центральній інструментальній коморі організують ремонтне відділення для періодичних перевірок, технічного обслуговування і поточного ремонту інструментів, які повинні виконувати 1...3 слюсарі-інструментальники 5-го розряду.

Умови зберігання інструменту повинні бути відповідні вимогам підприємства-виробника, вказаним в інструкції з експлуатації.

Призначення центральної інструментальної комори: отримання інструменту з центрального матеріального складу управління; створення резервного запасу інструментів і запасних частин; забезпечення інструментами дільниць, бригад й окремих робітників; зберігання й облік руху інструменту; комплектація і видача інструментів; здійснення інвентаризації; проведення періодичних перевірок, технічного обслуговування і поточного ремонту; таврування інструментів; оформлення актів списання інструментів.

Дільничну інструментальну комору організують під час спорудження окремого об'єкта та в разі значного віддалення ділянки від центральної інструментальної комори. Роботу комори повинен очолювати слюсар-інструментальник не нижче як 4-го розряду, який є матеріально відповідальною особою.

Дільничну інструментальну комору розміщують в будівлях контейнерного типу або в стаціонарних приміщеннях, обладнаних стелажми, шафами, слюсарним верстаком, стендами або приладами для перевірки справності інструменту. Дільничні інструментальні комори слугують для отримання інструменту з центральної інструментальної комори; забезпечення інструментом бригад й окремих робітників на дільниці; зберігання й обліку його руху; технічного обслуговування інструменту; контролю за дотриманням правил експлуатації інструменту.

Пересувну інструментальну майстерню організують за наявності віддалених ділянок або бригад. Вона повинна здійснювати оперативний зв'язок між центральним, дільничними і бригадними інструментальними коморами. Майстерню обслуговує слюсар-інструментальник 5-го розряду, який виконує одночасно функції водія автомобіля.

Пересувну інструментальну майстерню створюють на базі спеціально пристосованого автотранспорту, оснащують стелажми для розміщення обмінного фонду, інструменту й устаткуванням для технічного обслуговування і перевірки інструменту.

Призначення пересувної інструментальної майстерні: доставка інструменту в дільничні і бригадні інструментальні комори; технічне обслуговування і перевірка інструменту безпосередньо на робочих місцях; заміна зношеного інструменту на працездатний; контроль за дотриманням правил експлуатації інструменту.

Бригадна інструментальна комора призначена для зберігання бригадного інструментального набору й інструменту періодичного користування; її організують безпосередньо на монтажному майданчику і розміщують в спеціальному контейнері.

Порядок розміщення інструменту в інструментальних коморах має сприяти його збереженню, швидкості пошуку й оперативності обліку.

Бухгалтерський облік інструменту, видачу його центральній і дільничним коморам проводять за формами встановленого зразка.

На час відпустки бригадира набори інструментів, за які він відповідальний, переоформлюють на робітника, який заступає бригадира. Якщо робочий, який є членом бригади, звільняючись, не здав інструмент, про це роблять запис у документі про звільнення, а потім утримують вартість інструменту відповідно до встановленого порядку.

Під час видачі інструменту перевіряють комплектність і надійність кріплення деталей; методом зовнішнього огляду – справність кабелю, наявність захисного кожуха тощо; чіткість роботи вимикача або пускового пристрою; роботу на холостому ходу.

Видавати інструмент спеціальний, а також з електричним і пневматичним приводами дозволено тільки робітникам, які пройшли виробниче навчання і мають кваліфікаційну групу з техніки безпеки.

На інструмент, що став непридатним, виконавець робіт або майстер у спеціальному сповіщенні вказує причину псування інструмента.

### **Запитання для самоперевірки**

1. У чому полягає механізація монтажних робіт? Охарактеризуйте її призначення та види.
2. За якими показниками оцінюють комплексну механізацію робіт на будівельному майданчику?
3. Чим керуються у визначенні потрібної кількості інструменту?
4. Наведіть принципи формування експлуатаційного фонду на механомонтажній дільниці.

## **3. МОНТАЖ РОЗНІМНИХ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ НА БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКАХ**

### **3.1. Технічні особливості нарізних з'єднань деталей**

**Складання нарізних з'єднань** – одна з найпоширеніших і відповідальніших операцій під час монтажу технологічного устаткування і трубопроводів, від якості виконання якої значною мірою залежить їх подальша працездатність.

Зростання потужностей установок і технологічного устаткування на підприємствах промисловості пояснюється збільшенням діаметрів нарізних з'єднань. Безперервне зростання вимог до якості монтажу нарізних з'єднань, збільшення їх міцності і надійності зумовлюють

потребу в постійному вдосконаленні методів складання, підвищення точності контролю зусиль затягування.

**Складання нарізних з'єднань** (особливо крупних) є наймасовішою трудомісткою операцією, на якій зайнято близько 10% загальної чисельності працівників на монтажі, а кількість щороку збираних нарізних з'єднань діапазоном від М4 до М125 обчислюється десятками мільйонів.

Нарізні з'єднання збирають переважно в процесі монтажу технологічного устаткування, трубопроводів і металоконструкцій. Найчастіше використовують болти М16-М20, які становлять у середньому 52% загальної кількості. Рідше застосовують болти діаметром понад М48, складання таких з'єднань є найбільш трудомістким.

**Трудомісткість складання нарізних з'єднань зумовлена певними чинниками:**

- розтягнутістю фронту робіт;
- відсутністю у монтажника постійного робочого місця;
- обмеженими умовами під час роботи у важкодоступних місцях;
- складністю контролю затягування;
- залежністю від кліматичних умов;
- підвищеними вимогами техніки безпеки.

На відміну від машинобудівних підприємств, де монтовані вироби подають до робочого місця складання, оснащеного спеціальним інструментом, складальними пристроями тощо, монтажні роботи виконують за принципово іншою технологією: робітник пересувається у міру переміщення робочого місця (до апарата, вузла, фланця). Така специфіка не дає змоги застосовувати стаціонарні і напівстаціонарні потужні й ефективні пристрої для підвищення продуктивності праці.

У процесі монтажу, особливо трубопроводів, часто доводиться працювати в обмежених умовах, коли доступ до нарізних з'єднань, наприклад, розміщених на фланцях, ускладнений.

Найпоширенішим видом ронітного стику є фланцеві з'єднання торців трубопроводів, що стягуються болтами. Зокрема, на об'єктах нафтохімічної промисловості на фланцеві з'єднання припадає близько 65% всіх нарізних з'єднань.

**Залежно від типів й орієнтації в просторі фланці можна поділити так (рис. 3.1):**

- відкриті, коли доступ до нарізних з'єднань не обмежений сусідніми конструкціями, устаткуванням і трубопроводами;
- підлогові, коли відстань від підлоги до нижніх гайок фланця не допускає вільного повороту ключа;
- пристінні, коли зазор між стіною і гайками фланця не допускає вільного повороту ключа, причому трудомісткість затягування залежить також від відстані між гайками;
- кутові, коли фланці розміщені в горизонтальних або вертикальних кутках. Кількість важкодоступних гайок в таких вузлах більша, ніж в пристінних і підлогових;
- парні, коли фланці розміщені в одній площині з паралельними трубопроводами (трудомісткість залежить від величини  $T$  та типу фланців);
- групові, коли фланці розміщені в одній площині з трьох-чотирьохпаралельними трубопроводами.

Менш трудомістким є складання нарізних з'єднань, коли фланці розміщено врозбіжку, тобто в різних площинах один відносно одного.

Кришки, люки, заглушки в технологічному устаткуванні можуть бути плоскими й опуклими, а за орієнтацією в просторі – вертикальними і горизонтальними.

У металевих конструкціях основний обсяг складання нарізних з'єднань припадає на вузли з профільного прокату: кутники, швелери, двотаври.

Складання нарізних з'єднань у заглибинах, пазах, нішах під час монтажу технологічного устаткування на фундаментах є найбільш трудомістким.

Перед складанням нарізних з'єднань їх заздалегідь затягують для того, щоб під дією зовнішньої сили  $P$  стик не розкрився. У разі розкриття стику все навантаження сприймається болтами. Якщо на з'єднання діють змінні навантаження, то внаслідок розкриття стику в болтах виникають напруги від ударних навантажень, що різко знижує довговічність з'єднання.

**Нарізні з'єднання поділяють на такі типи:** а) з'єднання в металоконструкціях, де болти працюють на зріз, при цьому потрібна така величина зусилля попереднього затягування, за якої між тримною поверхнею й сполучуваними елементами нарізного з'єднання виникли сили тертя, які б перешкождали самовідгвинчуванню; б) фрикційні

з'єднання, у яких зусилля попереднього затягування, окрім самовідгвинчування, має забезпечити необхідне стиснення сполучуваних деталей, а також убезпечити болти від згинальних та зрізувальних зусиль за знакозмінних навантажень; в) з'єднання, у яких болти сприймають зовнішнє осьове навантаження.

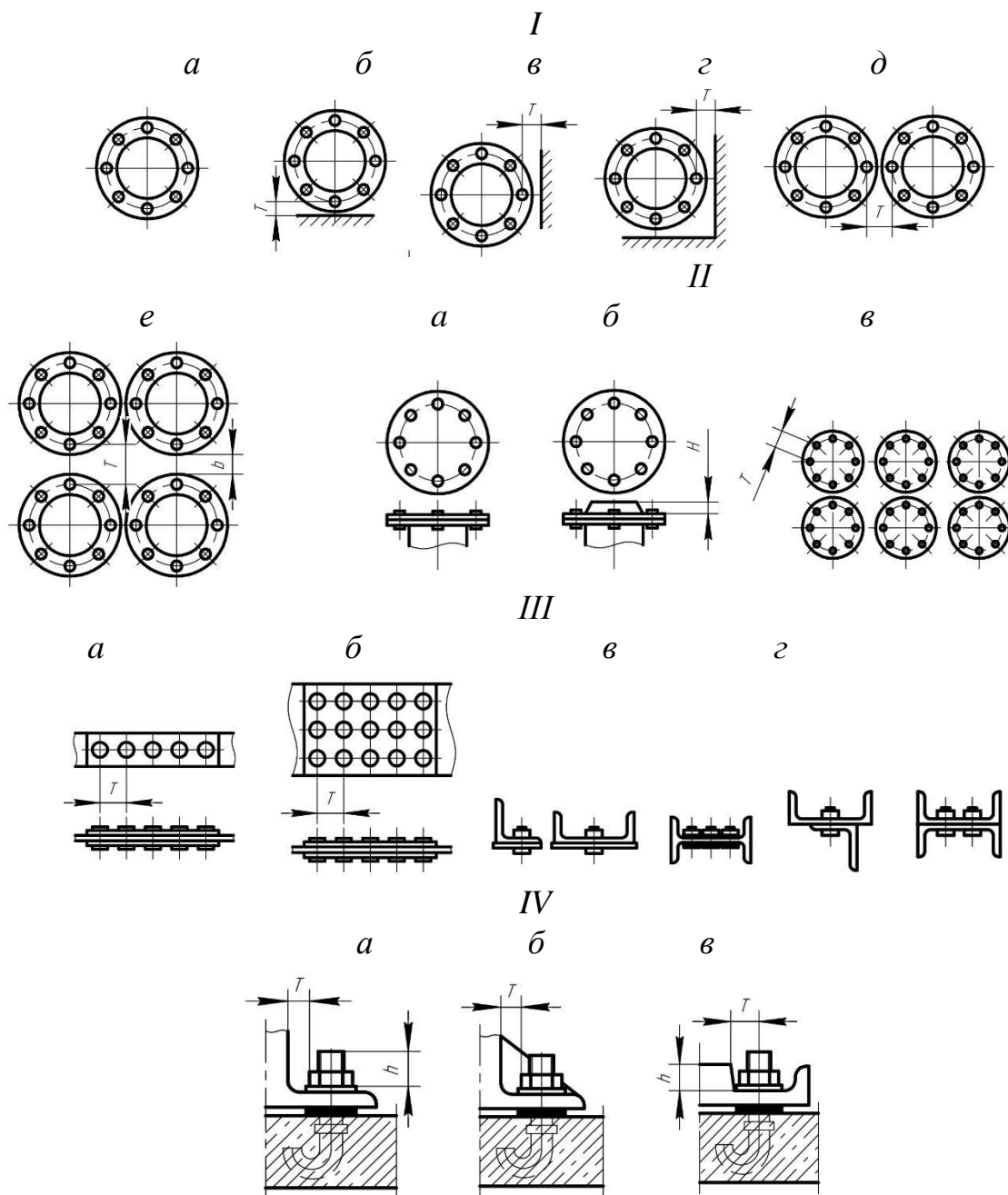


Рис.3.1. Класифікація найбільш поширених монтажних вузлів на нарізних з'єднаннях:

*I* – фланці: *a* – відкриті; *б* – підлогові; *в* – пристінні; *г* – кутові; *д* – парні;  
*e* – групові; *II* – кришки, люки, заглушки: *a* – плоскі; *б* – опуклі; *в* – групові;  
*III* – вузли металевих конструкцій: *a* – листові однорядні; *б* – листові багаторядні; *в* – профільно-листові; *г* – профільні; *IV* – анкерні болти:  
*a* – гайка відкрита; *б* – те саме, у відливках; *в* – те саме, потайна



Попереднє затягування виконують із зусиллям, яке залежить від зовнішніх сил, що діють на з'єднання, і від жорсткості збираних деталей.

Унаслідок прикладання до болта зусилля  $Q_B$  довжина стрижня нарізного з'єднання (болта, шпильки) збільшується на величину  $\delta_B$ , а складані деталі стискаються на величину  $\delta_D$ . Визначаючи величину попереднього затягування  $Q_B$ , до уваги беруть величини цих деформацій.

Для затягування нарізного з'єднання до гайки або головки болта повинен бути прикладений крутний момент  $M = PL$ , де  $P$  – сила, прикладена до ключа;  $L$  – довжина ключа. Цей момент має утворити силу  $Q_B$ , яка діє вздовж осі болта, але не повинен допускати виникнення в ньому напруги, вищої за розрахункову, щоб не відбулося ослаблення болта. Момент  $M$  в процесі затягування нарізного з'єднання долає не тільки силу  $Q_B$ , а й силу тертя в нарізному з'єднанні і силу тертя між торцевою поверхнею сполучуваних деталей і торцевою поверхнею гайки або головки болта.

Для визначення величини потрібного крутного моменту  $M_{КЛ}$  (момент на ключі) для нарізного з'єднання з кутом на вершині профілю  $60^\circ$  послуговуються залежністю

$$M_{КЛ} = Q \left[ (0,16s - 0,5d_{СР}\mu) + \frac{DT}{2}\mu_0 \right], \quad (3.1)$$

де  $Q$  – осьове зусилля;  $s$  – крок різі;  $d_{СР}$  – середній діаметр різі;  $\mu$  – коефіцієнт тертя фрикційної пари «болт – гайка»;  $\mu_0$  – коефіцієнт тертя по опорній поверхні гайки:

$$\frac{D_T}{2} = \frac{1}{3} \left| \frac{D^3 - d_0^3}{D^2 - d_0^2} \right| - \text{для плоскої кільцевої поверхні за рівномірного}$$

розподілу тиску, які найчастіше трапляються, де  $D$  і  $d_0$  – зовнішній і внутрішній діаметри опорної кільцевої поверхні.

Зазвичай коефіцієнти  $\mu$  і  $\mu_0$  прирівнюють і замінюють зведеним коефіцієнтом  $\mu_{ГП} = \mu = \mu_0$ , тоді

$$M_{КЛ} = Q \left[ 0,16s + \mu_{ГП} \left( 0,58d_{СР} + \frac{DT}{2} \right) \right]. \quad (3.2)$$

З наведеної залежності випливає, що частина роботи із загвинчування витрачається на подолання тертя в різі та на торці гайки. Величина цих втрат непостійна і залежить від змащення тощо. Тому осьова сила, що виникає вздовж осі болта, а отже, і витягування болта, за одного й того самого прикладеного моменту може бути різною.

На підставі дослідних даних можна стверджувати, що середні величини крутних моментів для затягування нарізних з'єднань залежать від діаметра різі та матеріалу болта (рис. 3.2). Наприклад, для сталі Ст3 за діаметра болта 20 мм потрібен момент 500 Н·м. Для отримання такого моменту за довжини ключа  $L=0,044$  м потрібно прикласти зусилля 1200 Н, а зусилля робочого моменту може фактично становити 200...300 Н, тому загвинчування гайок діаметром понад 20 мм звичайними ключами потребує спеціальних подовжувачів, отже, їх загвинчування є малопродуктивним.

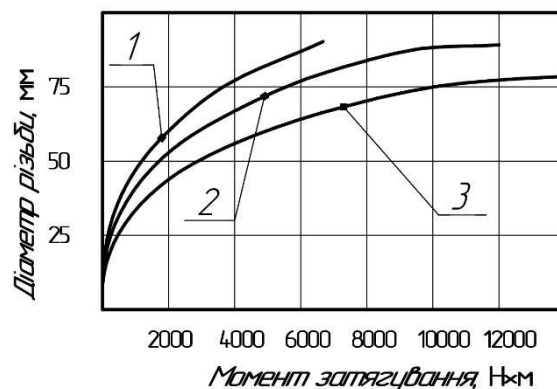


Рис. 3.2. Величини крутних моментів, потрібних для затягування нарізних з'єднань:

1 – для сталі Ст3; 2 – для сталі 35; 3 – для сталі 40 X

Від зусилля попереднього затягування ( $Q_3$ ) залежить середня довговічність болтів і надійність роботи нарізного з'єднання. Для багатьох нарізних з'єднань таке зусилля обумовлюється в технічній документації.

Напругу, спричинену зусиллям затягування нарізного з'єднання, визначають за формулою

$$\sigma_3 = k \frac{P}{F_B} (1 - \chi), \quad (3.3)$$

де  $F_B$  – площа поперечного перетину тіла болта (по внутрішньому діаметру різі);  $k$  – запас за густиною, який унеможливилює розкриття стику у разі збільшення зовнішнього навантаження в  $k$  раз ( $k = 1,25 \dots 1,5$  – для постійного навантаження;  $k = 2,5 \dots 4$  – для динамічного навантаження);  $P$  – зовнішнє зусилля, прикладене до болта;  $\chi$  – коефіцієнт основного навантаження ( $\chi = 0,2 \dots 0,3$ ).

Напруження затяжки для нарізних з'єднань, виготовлених з різних матеріалів, слід визначати відповідно до межі текучості для даного матеріалу:

$$\sigma_3 = V\sigma_T, \quad (3.4)$$

де  $v$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу нарізного з'єднання.

Зазвичай для легованих сталей  $V = 0,5 \dots 0,6$ , вуглецевих  $V = 0,6 \dots 0,7$ , високовуглецевих  $V = 0,8 \dots 0,9$ .

Потрібного напруження в болтах досягають різними засобами для складання нарізних з'єднань. Їх можна поділити на три основні групи:

- ручні інструменти (ключі, викрутки);
- ручні машини (гайко-, шпилько- і гвинтоверти);
- спеціальні пристрої і пристосування.

Остання група слугує переважно для складання нарізних з'єднань на болтах великого діаметра (понад М48).

Застосування різних засобів залежить від типу монтованого вузла, нарізного з'єднання й умов роботи.

Ручні машини характеризуються величиною крутного моменту, який вони можуть створити.

Спеціальні пристрої і приладдя залежно від конструкції можуть характеризуватися як величиною крутного моменту, так і зусиллям попереднього розтягування болта, шпильки.

Ручні інструменти (гайкові ключі) характеризуються довжиною ключа.

Зусиль, потрібних для розтягування болта в нарізному з'єднанні, досягають загвинчуванням гайки або болта з певним крутним моментом.

Робітник, прикладаючи зусилля ( $P$ ) до ключа, створює крутний момент, величина якого залежно від фізичних даних робітника коливається у великих межах, тобто момент на одному і тому самому ключі може бути різний. Для того щоб не сталося руйнування нарізного з'єднання внаслідок зрізу витків різі або обриву болта (шпильки),

зусилля, яке діє на ключ, має бути відповідним напрузі затягування з огляду на матеріал болта, гайки або шпильки:

$$P = \frac{0,1d^3\nu\sigma_T}{l}, \quad (3.5)$$

де  $d$  – діаметр болта (шпильки).

Оскільки гайкові ключі – стандартні вироби, то якщо відомі матеріал і діаметр нарізного з'єднання, можна затягувати його з певним крутним моментом.

Обираючи типи гайкових ключів для складання нарізних з'єднань, можна скористатися графіком (рис. 3.3), згідно з яким тільки для різі діаметром М6...М27 залежно від матеріалу можна застосовувати стандартні ключі; для різей діаметром М16...М36 слід використовувати ключі з подовжувачами. Для складання з'єднань на болтах діаметром більш як М36 із сталей 35 і 40Х потрібні ручні машини або спеціальні пристрої.

Ручні машини для складання нарізних з'єднань – це електро- і пневмогайковерти. Гайковерти придатні для складання нарізей діаметром М8...М100, утворюючи крутний момент від 63...8000 Н·м.

Для складання з'єднань на болтах з високоміцних сталей, діаметром більш як М56, коли крутні моменти перевищують 8 кН·м, застосовують різноманітні гідравлічні і пневмогідравлічні гайковерти і пристрої, що дають змогу створити крутний момент близько 20 кН·м.

У процесі монтажу устаткування і трубопроводів, а також металоконструкцій, у яких нарізні з'єднання є відповідальними елементами, слід контролювати зусилля затягування або виконувати тарироване затягнення. На такі нарізні з'єднання складають паспорт, у якому зазначають потрібний крутний момент або зусилля затяжки.

Контроль за зусиллям затягнення, особливо під час складання з'єднань на високоміцних болтах, групових з'єднань, потрібен для рівномірного навантаження на кожен окремий елемент з'єднання, що підвищує надійність в експлуатації зібраного монтажного вузла, конструкції, технологічного апарата, а іноді й всі технологічної лінії.

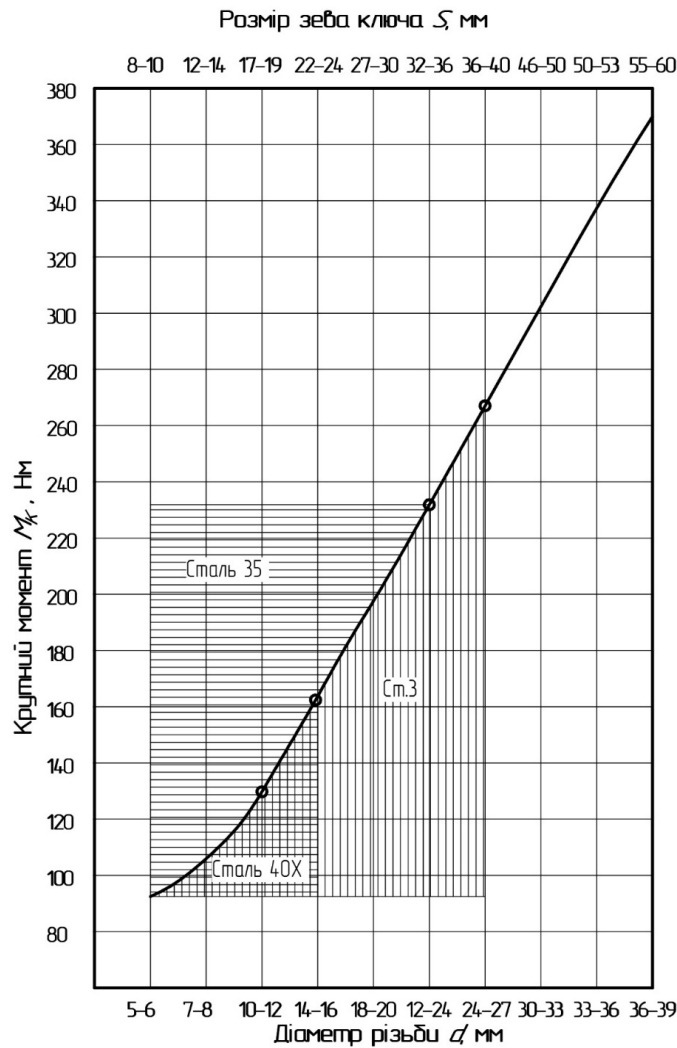


Рис. 3.3. Графік для вибору типу гайкових ключів

Відомі методи контролю можна поділити на три групи: за збільшенням довжини болта; за кутом повороту гайки; за крутним моментом.

Вважають, що найбільшій точності досягають, контролюючи збільшення довжини болта. Проте цей спосіб дуже важко застосувати, оскільки найчастіше не можна розмістити вимірювальні скоби між торцевими поверхнями болта (рис. 3.4, а, б). Вимірювання величини збільшення довжини не по торцевих поверхнях, а відстані між однією з торцевих поверхонь болта й однією з опорних поверхонь (рис. 3.4, в) є більш зручним, але в такому разі на точність вимірювання впливає деформація стягваних деталей, а також похибки під час вимірювання.

Точність вимірювання за першого способу залежить від похибки в процесі виготовлення болта, в другому випадку – від похибок вимірювання (тобто від допуску на вимірювальний інструмент).

Широко застосовують засоби контролю за допомогою проміжних елементів-шайб (рис. 3.4, з). В цьому випадку під час вимірювання збільшення довжини точність значною мірою залежить від точності вимірювання досить малого зазору, а також величини помилки під час тарирування шайби.

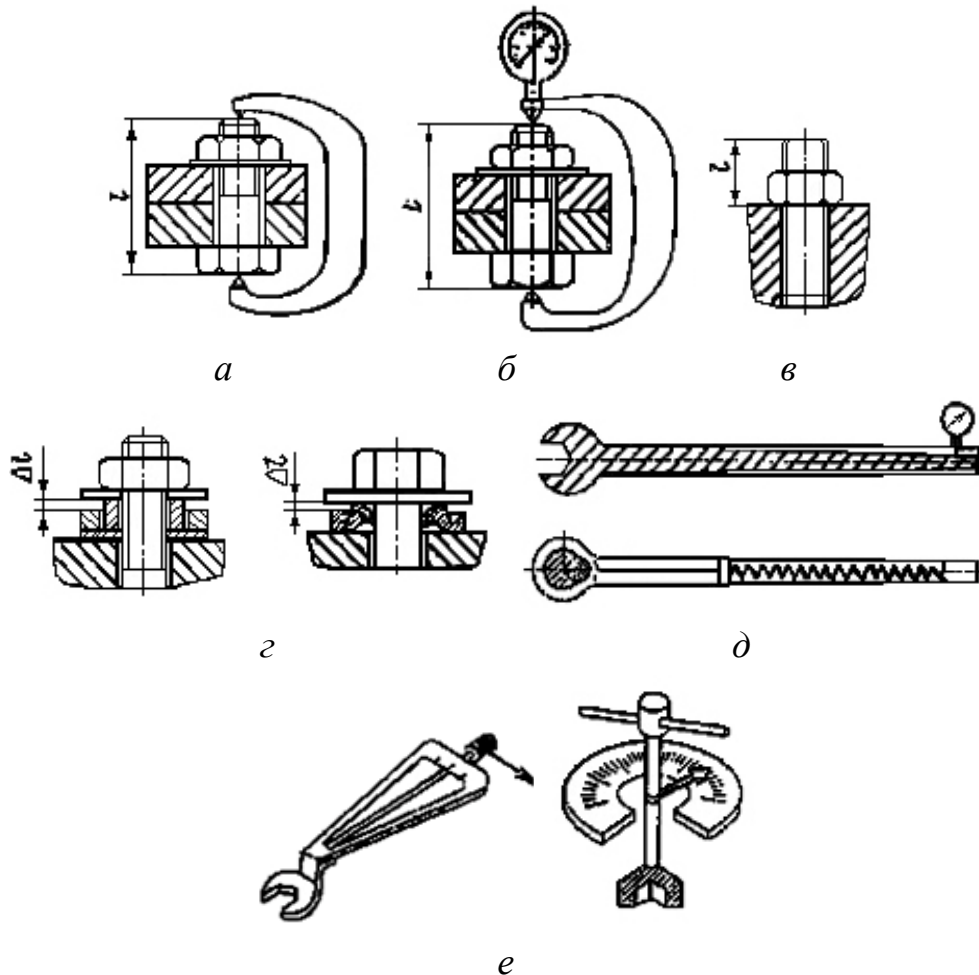


Рис.3.4. Засоби контролю затягування нарізних з'єднань

Найточнішим є метод контролю, оснований на вимірюванні збільшення довжини болта (шпильки). Застосовують його для затягування особливо відповідальних з'єднань. Зусилля затягування визначають за різницею довжин болта (шпильки)  $\Delta l$  до і після затягування:

$$Q_3 = \frac{\Delta l}{\lambda_B}, \quad (3.6)$$

де  $\lambda_B$  – коефіцієнт податливості, відношення деформації до зусилля затягування.

За такого методу контролю торці болта (шпильки) повинні бути відшліфовані та паралельні один одному (це зумовлюється точністю вимірювання) або мати конічні центрові отвори для сферичних наконечників вимірювального інструмента.

Точність такого способу контролю залежить в основному від точності виміру збільшення довжини, похибка якого пов'язана з довжиною болта (шпильки): чим менша довжина болта, тим менша деформація і тим більшою може бути похибка. Наприклад, за точності вимірювання  $\pm 5$  мкм болта завдовжки 100 мм точність зусилля затягування становить  $\pm 10\%$ .

Затягуючи болти, довжина яких менша від п'яти діаметрів ( $l < 5d$ ), слід брати до уваги деформацію болта на його нарізній ділянці, додаючи до розрахункової довжини приблизно  $1/3$  висоти гайки, а для шпильок такої самої довжини – деформацію ділянки шпильки, загвинченої в тіло деталі.

Під час монтажу в обмежених умовах не завжди може бути доступ для вимірювання збільшення довжини по торцях болта (шпильки). У таких випадках можна виміряти довжину, що виступає над корпусом. При цьому похибка виявляється значно більшою, оскільки величина подовження складається не тільки з пружної деформації болта і стягуваних деталей, а й з пластичної деформації найбільш навантажених елементів з'єднання.

Збільшення довжини болта (шпильки) можна вимірювати мікрометрами, штангенциркулями, скобами з індикаторами.

Менш точним, ніж описаний метод, є метод контролю зусилля затягування за кутом повороту гайки, причому кут повороту починають відлічувати після того, як будуть вибрані всі зазори між стягваними деталями і гайка щільно прилягатиме до поверхні з'єднання.

Кут  $\gamma$  залежно від необхідного зусилля затягування можна визначити з умов рівноваги і спільності деформацій болта і стягуваних деталей:

$$\gamma = 360 \frac{Q}{S} \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (3.7)$$

де  $S$  – крок різі;  $\sum_{i=1}^n$  – сумарна податливість болта і стягуваних деталей;  $n$  – кількість деталей у з'єднанні (індекс 1 приписують болту).

У наближених розрахунках можна знехтувати податливістю сполучуваних деталей як досить малою величиною порівняно з податливістю болта.

Точність контролю зусилля затягування за цим методом становить  $\pm 20\%$ , а для контролю болтів, довжина яких менша від п'яти діаметрів ( $l < 5d$ ), цей метод взагалі не придатний, оскільки розрахунковий кут повороту відносно малий, через що збільшуються похибки.

Кут повороту за цим методом вимірюють за допомогою мірних підкладок, монтажних шаблонів, транспортирів тощо.

Найпоширенішим в монтажній практиці є метод контролю зусилля затягування, оснований на вимірюванні моменту затягування.

Момент затягування  $M_3$ , що прикладається до гайки, витрачається на подолання тертя в нарізній парі «гайка – болт» ( $M_P$ ) і тертя торця гайки по опорній поверхні збираних деталей ( $M_T$ ), тобто:

$$M_3 = M_P + M_T. \quad (3.8)$$

Момент тертя на торці гайки можна визначити за формулою:

$$M_T \approx \mu_T Q_3 R_T \quad (3.9)$$

де  $\mu_T$  – коефіцієнт тертя на торці гайки;  $R_T$  – радіус тертя гайки, який залежить від форми торця.

Крутний момент в нарізній парі становить:

$$M_P = Q_3 \frac{d_C}{2} \operatorname{tg}(\beta + \rho') = Q_3 \frac{d_C}{2} \frac{\frac{S}{\pi \cdot d_C} + \mu'}{1 - \mu' \frac{S}{\pi \cdot d_C}}, \quad (3.10)$$

де  $\beta = \frac{S}{\pi \cdot d_C}$  – кут піднімання гвинтової лінії;  $d_C$  – середній діаметр різи;

$S$  – крок різи;  $\rho' = \operatorname{arctg} \mu'$  – кут тертя;

$\mu' = \mu / \sqrt{1 - \cos^2 \beta + \cos^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha}$  – коефіцієнт тертя в різі;

$\mu$  – коефіцієнт тертя фрикційної пари;  $\alpha$  – кут профілю різи.



Якщо врахувати, що кут  $\beta$  для нормальних різей досить малий, то

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (3.11)$$

Оскільки  $\mu' \frac{S}{\pi d_C}$  істотно менше за одиницю, то:

$$M_P = Q_3 \frac{d_C}{2} \left( \frac{S}{\pi d_C} + \mu' \right), \quad (3.12)$$

або в результаті переходу до зовнішнього діаметра різі  $d$  одержимо

$$M_P = k Q_3 d, \quad (3.13)$$

$$\text{де } k = \frac{1}{2} \frac{d_C}{d} \left( \frac{S}{\pi d_C} + \mu' \right).$$

Тоді момент затягування:

$$M_3 = Q_3 (kd + \mu_T R_T). \quad (3.14)$$

Звідси випливає, що сила затягування пропорційна крутному моменту, якщо в процесі затягування коефіцієнти тертя  $\mu'$  і  $\mu_T$  залишаються незмінними.

Насправді цього не відбувається, оскільки на коефіцієнти тертя впливають наявність і вид покриття різі, чистота поверхні, змащення, швидкість загвинчування, повторюваність складання тощо. Тільки завдяки змащуванню коефіцієнт тертя знижується на 20...30%.

Усі ці чинники позначаються на точності методу контролю за крутним моментом.

Сучасними засобами контролю затягування нарізних з'єднань за крутним моментом слугують спеціальні динамометричні та граничні ключі (рис. 2.4,  $\delta$ ). Динамометричні ключі конструктивно найбільш точні, розраховані вони на невеликі крутні моменти (до 400 Н·м), а граничні ключі мають меншу точність і розраховані на моменти, менші за 1400 Н·м.

Динамометричні ключі основані на принципі вимірювання деформації пружного елемента, а граничні – на принципі обмеження моменту затягування.

Граничні ключі основані на принципі «зламу» рукоятки після досягнення потрібного моменту. Ключі обох типів перед застосуванням слід тарувати.

### **3.2. Технологічні особливості нарізних з'єднань деталей**

Технологію складання обирають залежно від таких чинників:

- кількості нарізних з'єднань, які треба змонтувати на одній ділянці;
- розміщення нарізних з'єднань уздовж фронту робіт;
- розмірів нарізних з'єднань, які потрібно збирати;
- точності затягування;
- умов доступу до нарізних з'єднань;
- джерел живлення машин (електроенергія, компресори, гідростанції).

Якщо на одній ділянці потрібно змонтувати велику кількість нарізних з'єднань, то найбільш доцільно застосувати поетапний метод. Суть цього методу полягає в тому, що гайку нарізного з'єднання після її наживлення загвинчують до упору за допомогою легкого гайковерта, а остаточне затягування виконують будь-якими іншими пристосуваннями (важким гайковертом, звичайним гайковим або тарованим ключем), завдяки яким досягають потрібного моменту затягування.

**За поетапного методу складання нарізних з'єднань роботу можна виконувати одним з трьох способів:**

1) спочатку один робітник наживлює групу гайок, потім гайковертом затягує їх до упору, після чого затягує їх гайковим ключем з потрібним моментом затягування;

2) один робітник наживлює всі гайки або групу гайок, а другий затягує їх гайковертом до упору, після чого перший робітник, що звільнився після наживлення гайок, затягує їх з потрібним моментом затягування вручну;

3) один робітник наживлює всі гайки або групу гайок, другий затягує їх гайковертом до упору, а третій робітник затягує їх з потрібним моментом затягування вручну.

Перший спосіб слід рекомендувати, якщо кількість одночасно загвинчуваних гайок така, що один робітник встигає протягом зміни виконати всі операції (наживлення, затягування гайок до упору і перевірку). У такий самий спосіб рекомендується загвинчувати гайки у важкодоступних місцях.

Другий спосіб доцільно застосовувати, коли загальна кількість гайок така, що їх загвинчування повністю виконують двоє робітників, а всі гайки розміщуватимуться на досить невеликій відстані одна від одної.

До третього способу вдаються, коли доводиться вмонтовувати таку кількість гайок, з якою можуть впоратися не менш як троє робітників (під час монтажу металоконструкцій), або коли гайки розміщені на великій відстані одна від одної (під час монтажу трубопроводів).

Для складання з'єднань на болтах діаметром не більш як 56 мм, якщо кількість болтів не перевищує 50-100, слід застосовувати ручний інструмент. Проте, якщо болти потрібно періодично міняти або ревізувати, краще використовувати спеціальні пневматичні або гідравлічні пристрої.

У разі складання великої кількості з'єднань на болтах діаметром понад 56 мм економічно доцільно застосовувати спеціальні пристрої, а попереднє затягування гайок до упору слід виконувати звичайними вкороченими ключами.

За поетапного методу складання нарізних з'єднань можна домогтися підвищення продуктивності праці робітників в середньому у 2,7 раза, одночасно значно знизивши їх стомлюваність.

Час, що витрачається на окремі процеси складання нарізних з'єднань звичайним і поетапним методами, залежить від діаметра різі (рис. 3.5). Крива I відображає намотування (наживлення) гайки на 0,5...1 оберт. Очевидно, що через збільшення діаметра різі з M12 до M48 час на загвинчування не зростає пропорційно. Якщо на загвинчування гайки діаметром M20 потрібно 10 с, то для гайки M48 – лише 15 с. Те саме можна сказати про остаточне затягування гайки (крива III). Крива II відображає дозагвинчування гайки вручну. Зусиллям робітника може бути досягнуте затягування гайки діаметром до M36 мм з потрібним крутним моментом. По цій кривій видно, що час різко зростає із збільшенням діаметра різі. Для дозагвинчування гайки M12 мм потрібно 18 с, а гайки M48 мм (якщо її загвинчувати вручну) – 75 с. Крива IV відображає сумарний час на повне затягування нарізного з'єднання.

Час, потрібний на нагвинчування гайки за поетапним методом (рис. 3.5, б, крива I), однаковий з часом за звичайного методу. Час на

остаточне затягування (крива III) дещо менший за поетапного методу через те, що після затягування гайки гайковертом до упору залишається кут догвинчування для остаточного затягування з'єднання менший порівняно із кутом за звичайного методу затягування.

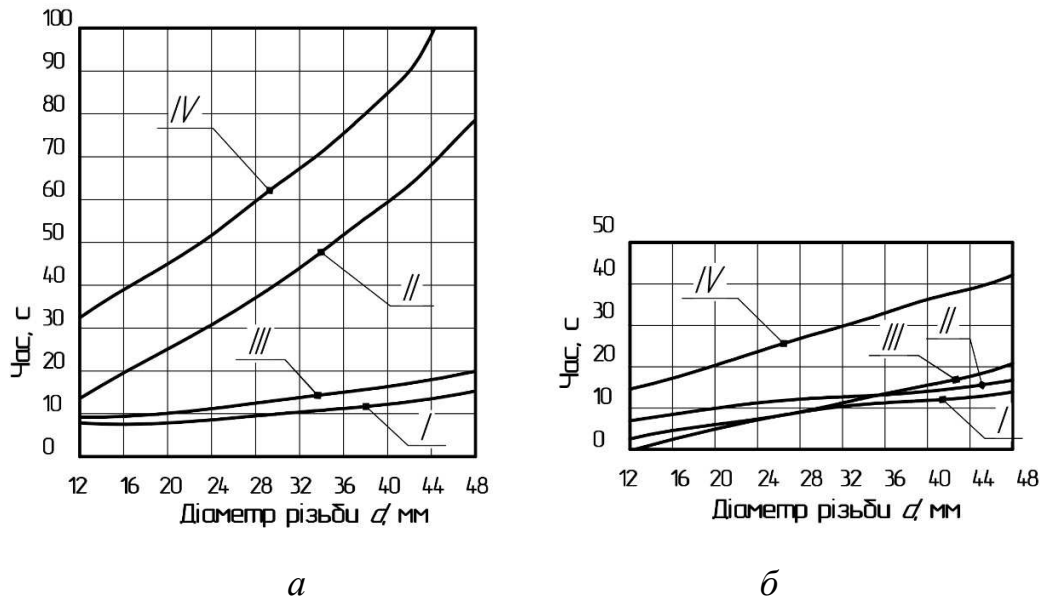


Рис. 3.5. Графіки залежності часу, потрібного на складання нарізних з'єднань, від діаметра різі

На догвинчування гайки гайковертом до упору (крива II) потрібно в 2,5...3 рази менше часу, ніж на виконання аналогічної ручної операції, саме цим пояснюється значний вигреш сумарного часу на операції складання нарізних з'єднань за поетапним методом.

Нарізні з'єднання збирають ручними машинами, ключами і за допомогою спеціальних знарядь і пристроїв.

Нарізні з'єднання збирають гайковертами. За принципом дії гайковерти можна поділити на дві групи – обертальної і ударно-обертальної дії.

У гайковертів першої групи крутний момент від двигуна звичайно передається на шпindel за допомогою шестерної передачі, реактивний момент сприймається руками робітника, тому гайковерти, викрутки, шуруповерти і подібні механізми виготовляють для малих діаметрів різей M10.

У ручних машин другої групи крутний момент від двигуна передається на шпindel через ударно-імпульсний механізм, завдяки якому гаситься реактивний момент. Крім того, такий механізм дає змогу одержувати великі крутні моменти, отже, збирати з'єднання на болтах

великих діаметрів, тому більшість гайковертов виготовляють з ударно-імпульсним механізмом. Використовують гайковерти з моментом затягування 8...10 кН·м і з моментом затягування до 20 кН·м. Гайковерти можуть мати електричний, пневматичний і гідравлічний приводи.

Головний параметр гайковертів – крутний момент, який він може розвивати, а рештою параметрів є потужність двигуна, частота обертання шпинделя і маса.

Як засвідчує практика, найбільш вигідно експлуатувати електрогайковерти з подвійною ізоляцією, які живляться від однофазної мережі змінного струму напругою 220 В без будь-яких допоміжних засобів.

Монтаж крупніших нарізних з'єднань виконують за допомогою гайковертів з пневматичним двигуном.

Для експлуатації пневмогайковертів потрібні потужні компресори, які не завжди є на монтажних майданчиках. Проте пневмогайковерти мають істотну перевагу над електричними, яка полягає у тому, що їх маса за однакових крутних моментів майже вдвічі менша.

Суднобудівна промисловість використовує пневмогайковерти з крутним моментом 5 і 8 кН·м і потужні гайковерти з гідравлічним приводом, які дають змогу затягувати нарізні з'єднання з крутними моментами в межах 20 кН·м. Такі гайковерти можна застосовувати для монтажу, зокрема апаратів колонного типу, у важкодоступних місцях.

Живлення гайковертів здійснюється від пневмогідравлічного приводу, який складається з пневмогідравлічного насоса, маслонапірного циліндра із запобіжно-перепускним клапаном, запобіжних і регулювальних пристроїв. Один такий привод може забезпечити одночасну роботу двох гайковертів.

Робота ручними машинами в обмежених умовах є найбільш трудомісткою. Згідно з аналізом трудовитрат відношення часу, потрібного для загвинчування гайки, до часу на загвинчування гайки у важкодоступних місцях, в багато разів більше, ніж те саме відношення під час монтажу нарізних з'єднань в доступних місцях. Тому особливого значення набувають пристрої, які дають можливість заздалегідь загвинчувати гайки у важкодоступних місцях. Один з найпоширеніших пристроїв – шарнірний перехідник (рис. 3.6, а), який складається з головки 1, що має з одного боку квадрат для насадки змінної головки, а з другого – циліндричний глухий отвір, куди входить шарнір 4, у якого з

одного боку є квадратний отвір для кріплення на гайковерті, а з другого – сферична головка з отвором під штифт 2. За допомогою цього штифта шарнір з'єднується з головкою. Перехідник допускає відхилення головки 1 відносно осі гайковерта на 18-20°. Крутний момент передається від шарніра 4 головці 1 через штифт 2. Кріплення шарніра 4 з гайковертом здійснюється штифтом 6. Для запобігання випаданню штифтів 2 і 6 встановлені гумові кільця 3 і 5.

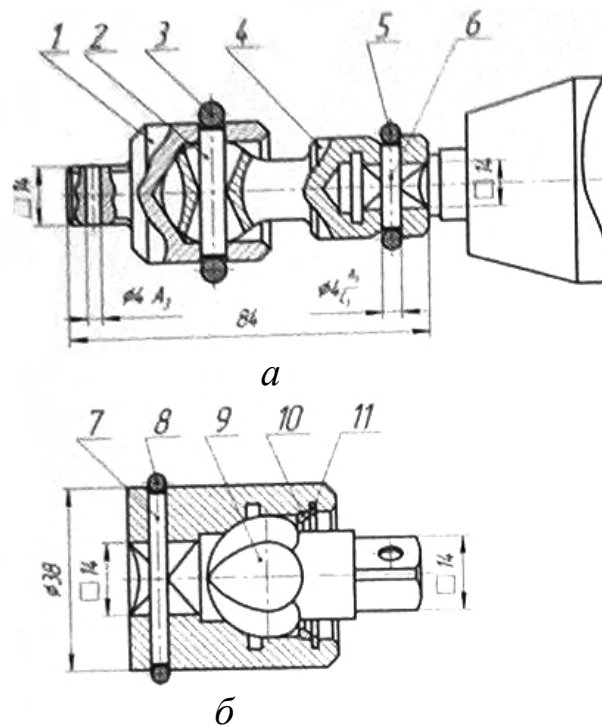


Рис. 3.6. Шарнірні перехідники: 1 – головка; 2, 6, 7 – штифти;  
3, 5, 8 – гумові кільця; 4 – шарнір; 9 – вал; 10, 11 – кільця

Перехідник (рис. 3.6, б) складається з головки 1, яка має з одного боку квадратний отвір для кріплення на гайковерті, а з другого – шестигранний отвір, куди входить вал 9. Цей вал з одного боку закінчується шестигранником, обробленим під сферу, а з другого – квадратом для насаджування змінної головки. Вал 9 утримується в головці за допомогою кілець 10 і 11. Перехідник допускає відхилення вала 9 відносно осі гайковерта на 15...18°. Кріплення головки 1 з гайковертом здійснюється штифтом 7, для запобігання випаданню штифта встановлюють гумове кільце 8. Крутний момент передається безпосередньо від головки 1 вала 9 без проміжної ланки, що має велику, порівняно з першим перехідником, поверхню контакту. Це дає змогу передавати більший крутний момент. Такий перехідник значно складніший у виготовленні, ніж перехідник, наведений на рис. 3.6, а.

Основна складність – отримання шестигранника на сферичній поверхні. Крім того, з досвіду експлуатації переходників відомо, що значно зручніше використовувати шарнірний перехідник (рис. 3.6, *a*).

Багато гайок доводиться загвинчувати за допомогою подовжувачів (рис. 3.7, *a*), що є стрижнем круглого перетину, один кінець якого закінчується квадратом для змінної головки, а другий – квадратним отвором для кріплення на гайковерті.

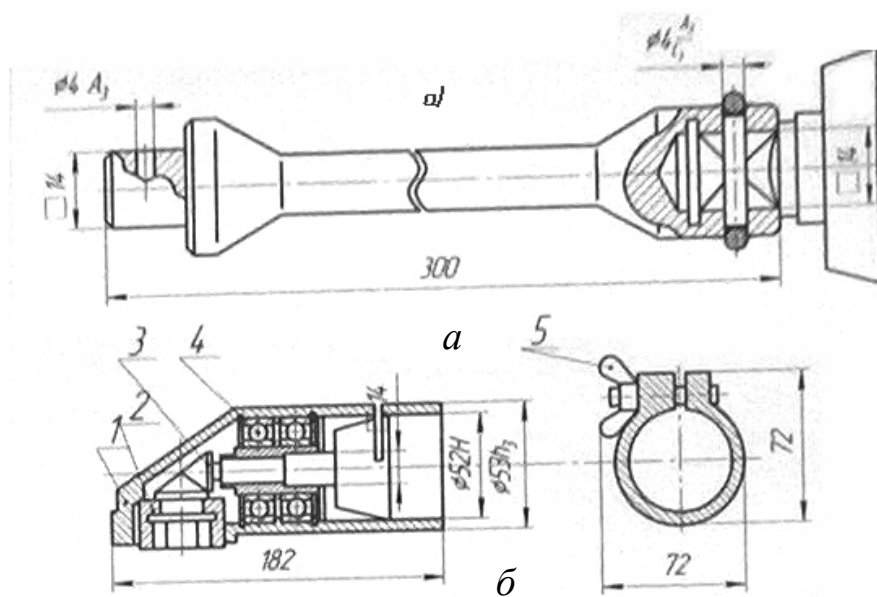


Рис. 3.7. Кутовий подовжувач (*a*) та перехідник-насадка (*б*):  
1 – корпус; 2, 3 – шестерні; 4 – підшипниковий вузол; 5 – гвинт

Нарізні з'єднання в низьких нішах збирають за допомогою кутових перехідників – насадок (рис. 3.7, *б*), що являють собою корпус 1, у якому змонтовано пару конічних шестерень 2 і 3. Шестерня 3 обертається в підшипниковому вузлі 4. Хвостовик шестерні 3 має квадратний отвір для з'єднання з гайковертом. У шестерні 2 є шестигранний отвір під загвинчувану гайку. Корпус насадки 1 кріпиться на гайковерті за допомогою гвинта 5.

Для загвинчування гайок великого діаметра (понад 40 мм) застосовують гідравлічні ключі (рис. 3.8). На загвинчувану гайку встановлюють ключ 5 з привареною до нього гребінкою. У пази гребінки упирається шток 4 гідроциліндра 3, закріпленого на кронштейні 2, кінець 6 якого встановлюють на одну з сусідніх гайок. До кронштейна прикріплений упор 1, який також упирається в одну з гайок. У процесі подачі рідини в порожнину А гідроциліндра шток

переміщується по стрілці Б, повертаючи гребінку з ключем, внаслідок чого гайка загвинчується під дією моменту  $M$ , що дорівнює  $Pl$ . Для того щоб скоротити час на переміщення штока, після повороту на кут  $\alpha$  шток упирається в наступний виступ гребінки, і цикл повторюється. Якщо для затягування гайок кут повороту, який досягається за один хід штока недостатній, шток знову повертають у вихідне ліве положення, ключ знімають, встановлюють у вихідне положення і цикл повторюється.

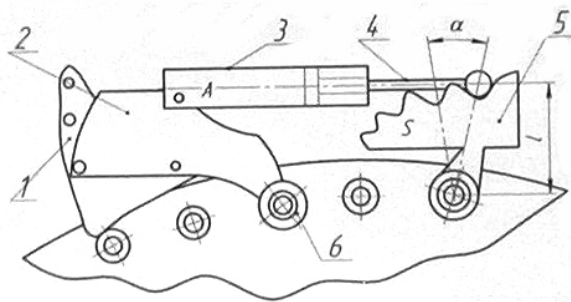


Рис.3.8. Схема загвинчування гайок гідравлічним ключем

Олива в шток гідроциліндра надходить від гідростанції. Величина сили  $P$  залежить від площі поршня і тиску в циліндрі. За цим тиском контролюють величину створюваного зусилля, а також момент для загвинчування гайки.

Для загвинчування гайок діаметром понад 60 мм застосовують метод затягування з попереднім витягуванням болта на ту величину, на яку його мала б розтягнути гайка.

Ручні ключі залежно від конструкції і призначення можна класифікувати як відкриті, накидні, комбіновані, торцеві, тріскачкові, спеціальні, динамометричні і граничні (рис. 3.9).

Відкриті ключі мають відкритий зів, що уможливорює вільний підхід до граней гайки (болта) збоку. Застосування відкритих ключів залежить від напрямку зіву головки щодо рукоятки, тобто кута між осями зіву і рукоятки.



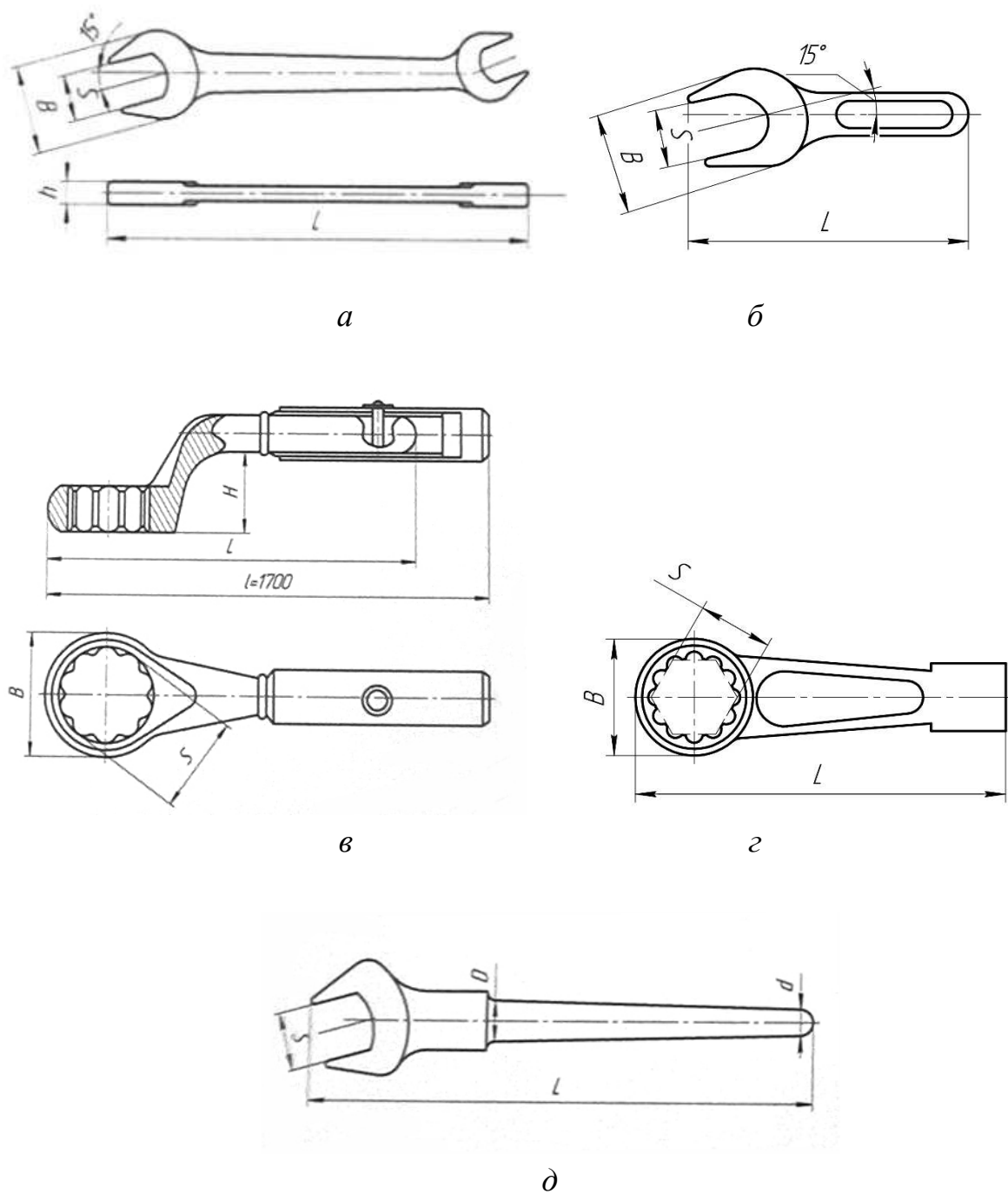


Рис. 3.9. Ручні гайкові ключі:

*а* – з відкритим зівом двосторонні; *б* – з відкритим зівом односторонні вкорочені;  
*в* – накидні з подовжувачем; *г* – накидні молоткові; *д* – кількові

### 3.3. Експлуатаційні особливості ключів

Експлуатаційні особливості ключів залежать від повороту головок:

- вісь зіву збігається з віссю рукоятки – ключі такої конструкції можна використовувати, коли кут можливого повороту ключа 60 або більше градусів;
- вісь зіву головки повернена на  $15^\circ$  – такі ключі можна застосовувати, коли кут повороту ключа лише  $30^\circ$ . За кутів можливого повороту  $30\dots60^\circ$  такі ключі після кожного повороту треба повертати навколо осі на  $180^\circ$ ;
- ключі з віссю зіву головок, поверненою на 22,5, 30, 45, 60, 75, 82,5 і 90 градусів, зручні, коли інші ключі не придатні через важкодоступні або обмежені умови роботи (фланці трубопроводів й арматура). Наприклад, складання фланців трубопроводу, розміщеного біля стіни, стандартним ключем неможливе, а ключ з головкою, поверненою на 90 градусів, дає змогу затягнути болти.

Накидні гайкові ключі відрізняються від відкритих конструкцією головки. Замкнена кільцева головка накидних ключів має такі переваги:

- охоплює всі шість граней гайки (а не дві, як у відкритих ключів). Це дає змогу знизити питомий тиск на грані і запобігти зминанню ребер. Крім того, унеможлиблюється зрив ключа під час передавання максимального крутного моменту, що підвищує безпеку роботи з ним;

- накидна головка міцніша, ніж відкрита, для аналогічних розмірів гайок в 1,5 і більше разів, завдяки чому можна затягувати болти з високоміцних сталей;

- стінка накидної головки має невелику товщину, сприяє доступу до гайок, розміщених з невеликим зазором від стіни, сусідніх гайок, відливок тощо;

- замкнута кільцева головка надійніша, ніж головка відкритого ключа, вона утримується під час передачі навантаження, розміщеного зовні площини гайки. Тому застосування накидних зігнутих ключів у багатьох випадках більш ефективно щодо гайок, загвинчування яких потребує долання різноманітних перешкод, і підвищує продуктивність праці.

**Комбінованими гайковим ключами** називають двосторонні однорозмірні ключі. У них поєднано переваги відкритих і накидних

ключів, оскільки на протилежних кінцях рукоятки вони мають відкриту і накидну головки на один розмір гайки. Така конструкція розширює сферу їх застосування.

Відкрита головка звичайно слугує для швидкого нагвинчування гайки до упору і для затягування у випадках, коли незначні зазори між гайкою і стіною не дають змоги використовувати накидну головку.

Накидною головкою остаточно затягують гайку, її застосування унеможливорює зрив, підвищує безпеку монтажу під час роботи на висоті, в обмежених і незручних місцях. Крім того, за допомогою накидної головки можна затягувати гайки в обмежених місцях з малим кутом можливого повороту ключа (до  $15^\circ$ ).

**Торцеві ключі**, як і накидні, встановлюють на гайку або головку болта з торця, проте для цього потрібен значний вільний простір над гайкою. Тому торцеві ключі застосовують, коли гайки нарізних з'єднань розміщені в глибоких пазах, заглибленнях або коли в площині опори гайок відкриті, та накидні ключі не мають достатнього кута повороту.

Під час монтажних робіт застосовують понад 100 типорозмірів різних ключів торців, що сприяє зручності їх виконання і зниженню трудомісткості робіт із загвинчування важкодоступних гайок.

Загвинчування гайок відкритими і накидними ключами складається з окремих рухів: встановлення на гайку, робочий поворот, знімання з гайки, повернення в початкове положення (а в обмежених умовах ще й поворот ключа). У місцях до яких доступ обмежений, а також коли гайку до упору неможливо нагвинчувати «від руки», трудомісткість складання нарізних з'єднань різко зростає через багаторазове (10-50 разів) переставлення ключа. Для затягування гайок з високими болтами або шпильками (понад 6...10 ниток різі) слід застосовувати торцеві ключі з комірчиками.

**Тріскачкові ключі** не мають цих недоліків. Спеціальний пристрій дає можливість затягувати болти або гайки з одного встановлення на гайку і працювати в умовах монтажу з малим кутом повороту ключа ( $8...20^\circ$ ).

Застосування тріскачкових ключів позбавляє необхідності переставляти їх під час затягування, що особливо важливо у складанні вузлів з прихованими і важкодоступними гайками, завдяки цьому трудомісткість може бути снижена в 6...10 разів. Ключі-тріскачки з набором змінних головок на гайки розміром 30...50 мм мають масу

меншу, ніж набір прямих і кутових торцевих ключів на ті самі гайки відповідно на 48 і 58%. Застосування тріскачкових ключів дає змогу підвищити продуктивність праці на 14...46%, а на деяких вузлах – майже на 70%.

**Спеціальні ключі** призначені для затягування нарізних з'єднань, коли доступ інших типів ключів до гайок неможливий або їх застосування спричинює значне підвищення трудомісткості затягування, зниження якості складання і безпеки виконання робіт.

Це особливо важливо на монтажних роботах, коли не можна отримати затяжки високої якості за допомогою стандартних ключів.

Спеціальні ключі за своєю конструкцією можуть бути модифікацією стандартних ключів або мати конструкцію, призначену для виконання складної роботи.

До **ручних ключів** належать спеціальні пристрої, що дають змогу складати нарізні з'єднання в діапазоні крутних моментів від 700 до 8000 Н·м. Застосовують пристрої двох типів: КМ – ключі-мультиплікатори та УКМ – збільшувачі крутних моментів (рис. 3.10).

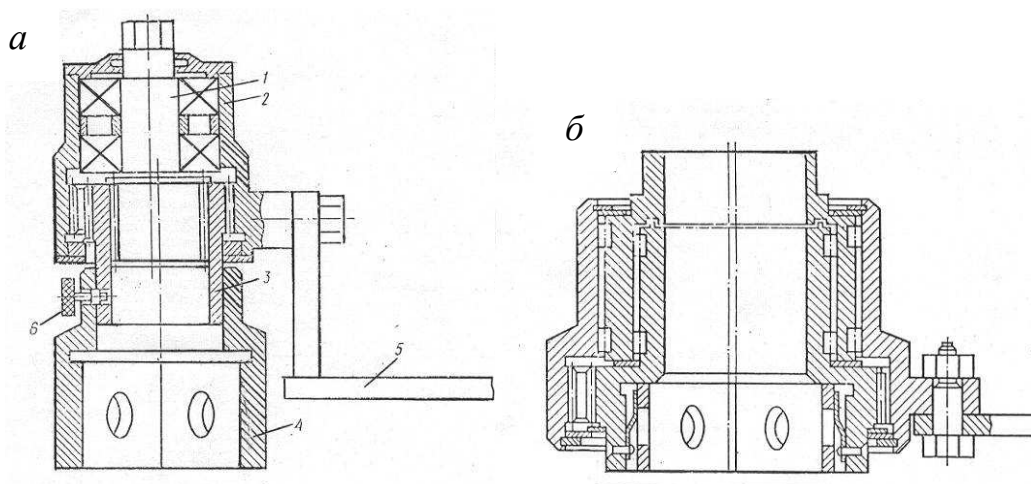


Рис. 3.10. Ключі типу КМ і УКМ:

*a* – ключ-мультиплікатор КМ; *б* – збільшувач крутного моменту УКМ;  
*1* – ексцентриковий вал; *2* – корпус; *3* – сателіт; *4* – змінна головка; *5* – опорний кронштейн; *б* – гвинт

Для монтажу нарізних з'єднань з обмеженим простором навколо гайки застосовують ручні механізми типу КМ, якщо кількість витків різі, які виступають над гайкою, менша, ніж п'ять (наприклад, фланцеві з'єднання трубопроводів); і ручні механізми типу УКМ, якщо кількість витків різі над гайкою більша, ніж п'ять (наприклад, анкерні, фундаментні болти).

Диференційоване застосування для монтажу нарізних з'єднань ручних механізмів КМ і УКМ дає змогу полегшити працю робітників за одночасного підвищення продуктивності праці.

Крутний момент визначає вимоги до конструкцій ключів і ручних механізмів з редукуванням крутного моменту, призначених для зтягування нарізних з'єднань, тому він є основним параметром у визначенні оптимальної номенклатури збільшувачів крутного моменту.

Аналіз технічних характеристик збільшувачів крутного моменту свідчить: чим більший номінальний крутний момент, тим вищі габарити і маси КМ і УКМ за відносно постійного ККД.

При цьому передаточне відношення змінюється в межах від 13,6 до 40. Що більший типорозмір КМ і УКМ, то їх питома металоємність дещо менша. Застосування збільшувачів крутного моменту (УКМ-70, УКМ-130, УКМ-200, УКМ-400, УКМ-600, УКМ-800) і ключів-мультиплікаторів КМ-70, КМ-130, КМ-200, КМ-400, КМ-600, КМ-800 дає можливість виконувати монтаж нарізних з'єднань, створюючи при цьому момент зтягування відповідно до 70, 130, 200, 400, 600, 800 кгс·м. Відповідно до міцнісних характеристик кріпильних деталей цими ключами можна виконувати монтаж нарізних з'єднань від М24 до М85 для кріпильних деталей зі сталі Ст3 і від М24 до М45 – для сталі 40ХНМА.

Основний принцип роботи ключів полягає у тому, що, обертаючи багато разів з невеликим зусиллям звичайним ключем вхідний вал, робітник передає обертання через редуктор, дає змогу приводному елементу одержувати більше передавальне число  $i$ . При цьому момент на приводному елементі  $M_3$  дорівнює моменту на веденому елементі (вхідний вал)  $M_B$ , помноженому на передавальне число  $i$  передачі і її коефіцієнт корисної дії  $\eta$ , тобто

$$M_3 = M_B i \eta.$$

Таким чином, цей пристрій, незважаючи на значний програш у відстані (шляху) дає змогу виграти в зусиллі (моменті зтягування).

Звідси випливає, що чим більше передавальне число такого механізму, тим більший момент можна одержати на приводному валу.

Ключ-мультиплікатор типу КМ (див. рис. 3.10, а) складається з корпусу 2 з опорним кронштейном (реактивним важелем) 5, вхідного ексцентрикового вала 1 і сателіта 3, ключа, що є одночасно вихідним

валом. На його шестигранному кінці за допомогою гвинта 6 кріплять змінні головки 4.

У процесі загвинчування (відгвинчування) крутний момент передається на гайку (болт) за допомогою звичайного або граничного ключа, або гайковерта, встановленого на шестигранник ексцентрикового вала 1. Реактивний момент при цьому сприймає корпус ключа через кронштейн 5, який в процесі затягування впирається в сусідню гайку (болт) або збирану конструкцію.

Збільшувач крутного моменту типу УКМ (див. рис. 3.10, б) за принципом дії не відрізняється від ключа-мультиплікатора, основна конструктивна відмінність полягає у тому, що у водилі та сателіті є наскрізні отвори для вільного проходу подовженого нарізного стержня болта (шпильки), який виступає з гайки. Ключі типу УКМ випускають в комплекті з полегшеним тріскачковим ключем і спеціальним тріскачковим ключем із запобіжним пристроєм, що убезпечує від перевантаження.

Ключі-мультиплікатори придатні для затягування крупних нарізних з'єднань, як звичайних, так і відповідальних, що потребують високого ступеня точності загвинчування. Їх можна використовувати і для відгвинчування. Компенсація реактивного моменту опорним важелем можлива практично в усіх випадках. Форма і розміри опорного важеля за специфічних умов розміщення нарізних з'єднань можуть бути змінені в майстернях монтажно-ї організації.

Збільшувачі крутного моменту типу УКМ призначені для загвинчування (відгвинчування) нарізних з'єднань діаметром не більш як 90 мм, зокрема тих, у яких нарізна частина болта виступає над гайкою на п'ять і більш витків різі (анкерні, фундаментні та інші болти).

Застосування збільшувачів крутного моменту типу УКМ сприяє зменшенню трудовитрат під час загвинчування нарізних з'єднань на 40...50% порівняно з ручним інструментом.

З метою оптимального вибору інструмента для загвинчування слід брати до уваги матеріал болта (шпильки) і діаметр різі. Під час роботи ключами типу КМ і УКМ рекомендується поетапний метод складання нарізних з'єднань: спочатку загвинчують гайку до упору (з крутним моментом до 100 Н·м) за допомогою тріскачкових ключів або малогабаритних, невеликої потужності пневмо- та електрогайковертів,

оснащених великими змінними головками; потім за допомогою КМ або УКМ остаточно затягують гайку із заданим значенням крутного моменту (500...12000 Н·м).

### **Запитання для самоперевірки**

1. Якими чинниками зумовлюється складання нарізних з'єднань?
2. Як виконують контроль нарізного з'єднання?
3. Які типи ручного інструменту використовують для утворення нарізних з'єднань з гарантованим моментом затягування?
4. Як класифікують ключі для загвинчування нарізних з'єднань?

## **4. ВІДРІЗНІ І ЗАЧИСНІ ОПЕРАЦІЇ. ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ДО РОБОЧИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ЇХ СКЛАД, КОНСТРУКЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ**

### **4.1. Відрізні і зачисні операції**

Відрізні і зачисні операції, виконувані під час монтажу технологічного устаткування, трубопроводів, металоконструкцій, є масовими, а їх трудомісткість становить більш як 13% загальної трудомісткості монтажних робіт.

Щороку в процесі будівництва і ремонту підприємств нафтової, хімічної, металургійної, харчової і енергетичної промисловості виконують різання труб з вуглецевої і легованих сталей з умовним діаметром (Ду) до 150 мм, що становить приблизно 85% загальної довжини монтованих труб. Під час монтажу внутрішньоцехових і міжцехових трубопроводів виконують відповідно один різ кожні 1 і 10 м монтованих труб.

На 5 т металоконструкцій індустріального виготовлення і 1 т конструкцій, виготовлених на монтажному майданчику, припадає приблизно 1 м різання і 0,5 м<sup>2</sup> зачищення.

На будівельно-монтажних роботах різання і зачищення металу виконують на виробничих базах і монтажних майданчиках. Залежно від умов експлуатації до машин для різання висувають різні вимоги. На виробничих базах застосовують машини із значною потужністю приводу

і масою, тоді як на монтажному майданчику, коли різання і зачищення у багатьох випадках виконують в обмежених умовах, до машин, крім вимог щодо продуктивності, енергоємності, зручності в роботі, висувають жорсткі вимоги стосовно маси і габаритних розмірів.

Різнання застосовують для видалення монтажного припуску труб, підганяння стику труби під зварювання, видалення ділянки труби з дефектним зварним швом, підганяння нестандартного устаткування, утворення «вікон» у металевих листах під час ремонтних робіт, щитах управління в процесі монтажу КПП й автоматики, підганяння повітроводів під час монтажу вентиляційних систем. Для виконання цих операцій застосовують вогняне і механічне різання.

**Вогняне різання** (газове, легкодугове, плазмово-дугове) вирізняється достатньо високою продуктивністю, але після нього потрібно зачищати кромки різі механічними способами, після різання вуглецевих і низьколегованих сталей – до цілковитого видалення поверхневих слідів різання, високолегованих сталей газовим або легкодуговим різанням – на глибину не менш як 3 мм, після плазмово-дугового різання труб з легованих і високолегованих сталей – на глибину не менш ніж 0,2 мм. Більшість пристроїв для вогняного різання мають складну конструкцію, велику масу (до 5 000 кг) і потребують застосування спеціальних газів (аргону, азоту, водню та ін.). Тому ці пристрої, високоефективні в стаціонарних умовах, стають малоефективними, а часом взагалі неприйнятними в монтажних й інших подібних умовах.

**Механічне різання** виконують труборізами з різцевими інструментами, дисковими і стрічковими пилками. Труборізи з різцевими інструментами різних типорозмірів застосовують для різання труб діаметром, що не перевищує 570 мм, і для зняття фасок. Вони мають досить невисоку продуктивність унаслідок недостатньої жорсткості конструкції і неможливості охолодження, а отже, виконання різання на високих швидкостях. Різцевими труборізами не можна обробляти тонкостінні труби, оскільки через зусилля для закріплення, потрібного для їх роботи, відбувається деформація стінок труби. Крім того, різальний інструмент труборізів потребує частого і кваліфікованого заточування, що в монтажних умовах важко виконувати.

Машини з ножівковими полотнами малопродуктивні і мають низькі енергетичні показники через втрати на тертя під час зворотного



холостого ходу, а термін служби ножівкових полотен невеликий. Машини цього типу мають досить великі габарити і масу, на них не можна оброблювати кромки під зварювання.

Аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду свідчить про те, що серед механічних способів різання найпродуктивнішим є абразивне, завдяки якому досягають високої продуктивності, точності, чистоти поверхні і незмінності структури розрізаного металу і яке не потребує додаткової обробки. Такі незаперечні переваги абразивного різання порівняно з вогняними способами пояснюються механізмом взаємодії абразивного інструмента з оброблюваним виробом.

#### **4.2. Особливості використання абразивного інструмента для відрізних та зачисних операцій**

Абразивний круг аналогічний дисковій фрезі з безліччю різальних зубців (зерен), які мають невизначену геометрію. Між зернами, скріпленими зв'язкою, є пори, в які в процесі знімання потрапляє стружка. Під час різання через періодичну силову і теплову дію витираються вершини різальних кромки і з'являються площинки зношеності, викришуються мікрочастинки і вириваються цілі зерна із зв'язки. Ці види зношування позитивно впливають на різання, сприяючи самозаточуванню інструмента (одна з основних відмінностей абразивного інструмента від лезного), тобто внаслідок викришування і виривання з'являються нові гострі зерна, що дає змогу зберегти високу різальну здатність круга до його цілковитого зношення. У контактній зоні виникають високі температури, що підвищують пластичність матеріалу, чим значною мірою пояснюється легкість і швидкість його обробки. Частина утвореного тепла відводиться із стружкою, решта переходить в оброблюваний матеріал і зв'язку круга. Слід обирати такі режими роботи інструмента, щоб тепло відводилося із зони контакту і не викликало перегрівання поверхні обробки і зв'язки круга. При цьому поверхні виробів з вуглецевих і легованих сталей виходять чистими, без структурних змін, тобто додаткова обробка перед зварюванням не потрібна.

Абразивне різання і зачищення набули поширення після освоєння виробництва абразивних армованих кругів і машин, насамперед електричних кутошліфувальних з подвійною ізоляцією для їх приводу.

Абразивні армовані круги призначені для безпечного і продуктивного різання сталевих і пластмасових труб, металопрокату, будівельних матеріалів, для виконання зачисних операцій. Швидко збільшується їх виробництво, розширюється номенклатура, створюються й удосконалюються приводні механізми. Різання і зачищення абразивними армованими кругами – один з найефективніших і найпростіших способів оброблення металу в умовах будівельно-монтажного майданчика і виробничої бази (рис. 4.1).

Широке застосування абразивних армованих кругів зумовлене їх універсальністю і низькою вартістю. Різання абразивними армованими кругами обходиться в 5...7 разів дешевше порівняно з вогняними

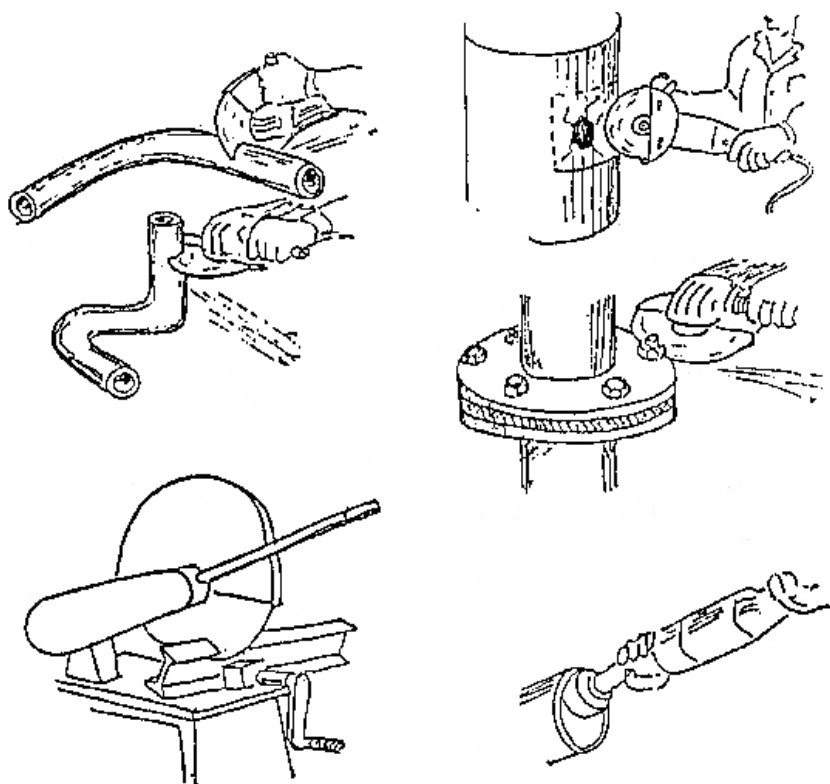


Рис. 4.1. Різання та зачищення ручними і переносними машинами з абразивними робочими інструментами

способами, а використання кругів для зачищення зварних швів замість пневморубильних молотків підвищує продуктивність праці втричі.

Абразивні армовані круги застосовують практично в кожній організації, яка монтує технологічне устаткування, трубопроводи і металоконструкції. Використання кругів дало змогу зовсім відмовитися від ручної обробки шамотних вогнетривких виробів й уникнути великої кількості бракованого дорогого матеріалу; підвищити ефективність різання пластмасових труб та інших матеріалів.

Велика зацікавленість монтажних організацій у вирішенні питань, пов'язаних з механізацією масових трудомістких відрізних і зачисних операцій, багато в чому визначила ініціативу Мінмонтажспецбуду, який вперше в СРСР (1967) організував виробництво абразивних армованих кругів на Пермському заводі монтажних виробів і засобів автоматизації.

Нині тільки в СНД щороку виготовляють понад 100 млн абразивних армованих кругів. Найбільшими виробниками в Україні є Запорізький абразивний комбінат й Іршавський абразивний завод, у Росії – Лузький та Пермський абразивні заводи, серед західноєвропейських країн – підприємства – Німеччини, Італії, Австрії. Випускається широкий асортимент кругів, призначених для різання вуглецевих і легованих сталей, кольорових металів і неметалевих матеріалів.

Абразивні армовані круги діаметром 115; 125; 150; 180 і 230 мм використовують у поєднанні з ручними кутошліфувальними машинами, а круги діаметром 300; 400; 500 мм – з переносними маятниковими пилками. Круги діаметром 600...1500 мм призначені тільки для стаціонарного устаткування.

Згідно з чинним в СНД міждержавним стандартом 21963-2002 відрізний абразивний круг типу 41 (диск) із зовнішнім діаметром 300 мм, заввишки 3мм, діаметром посадкового отвору 32 мм, з нормального електрокорунду марки 14А, зернистістю 63Н із звуковим індексом (ЗІ) 41-43, на бакелітовій зв'язці із зміцнювальними елементами для різання металу з граничною робочою швидкістю 80 м/с 2-го класу неврівноваженості позначають таким чином: «Круг відрізний 41 300x3,0x32 14А 63Н 41-43 ВФМ 80м/с2клГОСТ 21963-2002».

На етикетках відрізних кругів повинні бути позначки у вигляді жовтої, червоної або зеленої смуги відповідно для інструментів, гранична окружна швидкість яких обмежується 60, 80 і 100 м/с.

Абразивні армовані круги, які використовують переважно в поєднанні з ручними машинами з робочою швидкістю 80м/с, є інструментами підвищеної небезпеки. Зважаючи на масове поширення не тільки в будівництві, а й в інших галузях народного господарства, далі досить докладно розглянуто питання впливу абразиву, складу, конструкції, режимів й умов роботи на безпечну й ефективну експлуатацію абразивного інструменту під час оброблення металу і неметалевих матеріалів.

Абразивний армований круг є багатокомпонентною композицією, що являє собою абразивні зерна, закріплені в органічній матриці, яка

складається із зв'язки і наповнювача. Для підвищення міцності і безпеки робочий круг армують зміцнювальними елементами. До основних чинників, які впливають на експлуатаційні показники кругів, належать структура інструмента, ступінь його твердості, марка абразивного матеріалу і його зернистість, тип зв'язки, конфігурація бічних поверхонь круга, конструкція і розміщення армувальних елементів.

Термін «структура абразивного інструмента» має специфічне значення: на відміну від загальноновживаного, він не означає власне внутрішньої будови виробу. **Структура** – це співвідношення об'ємів абразивного матеріалу, зв'язки і пор в інструменті. Чим крупніші пори, тим ефективніше під час обробки видаляється стружка, охолоджується зона контакту, інтенсивнішим є самозаточування абразивного круга.

Структура абразивного круга характеризується об'ємним вмістом абразивних зерен в інструменті і позначається номерами. Закритій структурі (№ 1, 2, 3, 4) відповідає 60, 58, 56 і 54% абразивних зерен в об'ємі круга, середній (№ 5, 6, 7, 8) – 52, 50, 48 і 46%, відкритий (№ 9, 10, 11, 12) – 44, 42, 40 і 38%.

Абразивні армовані круги для різання і зачищення металу виготовляють з об'ємним умістом зерен 48-52% і 10-15% – пор. Решту об'єму становить зв'язка. Збільшення об'ємного змісту зерна в крузі обмежується заданою геометрією інструмента. У кругах для різання каменю об'ємний уміст зерна становить 48-50%, а пор – 20-30%.

Окрім марки абразивного зерна, його зернистості, виду зв'язки, абразивний інструмент характеризується твердістю. Поняття «твердість» абразивного інструменту не має ніякого відношення до відповідної властивості фізичних тіл, зокрема до твердості (мікротвердості) абразивних матеріалів. У практику виробництва і застосування абразивного інструменту термін «твердість» введено як комплексний показник, що характеризує властивості абразивного інструменту чинити опір порушенню зчеплення між зернами і зв'язкою за збереження характеристик (експлуатаційних, фізичних) інструменту в межах встановлених норм. За слабого опору виробу вириванню з нього абразивного зерна інструмент матиме меншу твердість, ніж у разі значнішого опору. У першому випадку інструмент буде м'якшим, ніж у другому.

У СНД застосовують шкалу твердостей абразивного інструменту, що складається з 16 основних ступенів: VM1 і VM2 – досить м'який;

M1-M2 і M3 – м'який; CM1-CM2 – середньо-м'який; C1 і C2 – середній; CT1, CT2 і CT3 – середньо-твердий; T1 і T2 – твердий; BT – досить твердий; CT – надзвичайно твердий. У цій шкалі цифри 1, 2 і 3 характеризують зростання твердості абразивного інструменту.

Ступінь твердості абразивних кругів для оброблення металу повинен бути в межах CT3–BT1, а для різання каменю – C2-CT1. Саме такі показники зумовлюють належні експлуатаційні властивості інструменту.

Вимірювати твердість абразивного інструменту можна шляхом руйнування поверхні виробу струменем кварцового піску, а також без руйнування виробу за допомогою акустичного методу контролю.

У разі застосування акустичного методу інформативним параметром для абразивних виробів як об'єктів контролю є величина

$$G_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

де  $E$  – густина матеріалу. Величина  $G_1$  виражається в звукових індексах (ЗІ). Для переважної більшості абразивних інструментів цей параметр достатньо повно відображає їх пружні характеристики і поведінку в процесі експлуатації. Він пов'язаний також з рецептурними і технологічними характеристиками інструментів та їх твердістю. Акустичний метод дає змогу з високим ступенем точності визначати вказаний параметр через частоту коливань контрольованих виробів.

Цей метод контролю реалізують за допомогою приладу «Звук», який широко застосовують на підприємствах абразивної й інших галузей машинобудування (підшипникової, автомобільної тощо). Теоретичні і експериментальні дослідження засвідчили, що звукові індекси (ЗІ) можна використовувати для визначення і твердості абразивних інструментів, і їх фізико-механічних властивостей, що дає змогу прогнозувати поведінку контрольованого інструмента в роботі і визначати оптимальні умови його експлуатації. При цьому параметр ЗІ слугує для визначення згаданих характеристик інструментів, виготовлених з абразивних матеріалів різних марок і зернистостей на різних зв'язках.

Абразивні матеріали поділяють на два класи: штучні (синтетичні) і природні. Синтетичні алмази і матеріали на основі карбиду бору, виділені

в окрему групу абразивних матеріалів, називають надтвердими матеріалами (СТМ).

До **природних абразивних матеріалів**, які мають промислове значення, належать алмаз, гранат, корунд, кремій та ін.

Алмаз (маркування – А) – мінерал, який складається з кристалічного вуглецю з кубічною структурою ґратки, має найбільшу твердість серед усіх відомих абразивних матеріалів (твердість за МООС – 10,0; мікротвердість – 8600-10000 кгс/мм<sup>2</sup>). Близько 80% видобутих алмазів використовують з технічною метою (20% – для виготовлення ювелірних виробів). Маса алмаза визначають у каратах. Один карат дорівнює 0,205 гр.

З синтетичних алмазів виготовляють інструменти для шліфування, доведення і різання різноманітних матеріалів, для буріння гірських порід, оброблення каменю, свердлення скла тощо.

Синтетичні алмази, промислова технологія виробництва яких у СРСР вперше (1961) була освоєна в Києві, дедалі ширше застосовують у промисловості. Цьому сприяло розкриття походження та властивостей алмазу, який відомий світу понад три тисячі років.

Уперше цей мінерал був знайдений в Індії у вторинних покладах (у пісках, сланцях і в річкових наносах), що свідчило про утворення алмазу десь в іншому місці. Потім алмаз був знайдений в Борнео, а на початку XVIII ст. – в Бразилії.

До другої чверті XVIII століття Індія і Борнео були монополістами у сфері постачання цього коштовного каменю на світовий ринок.

У 60-х роках XIX ст. алмаз знайшли в Південній Америці, дещо пізніше – в Північній Америці, Канаді і Британській Гвінеї, а в першій чверті XX століття – у деяких африканських країнах: Південній Родезії, Анголі, Ліберії, Танганьїку та ін.

Серед потужних пластів сланців і пісковиків знайдено безліч величезних колоноподібних жил – трубок, схожих на жерла вулканів, які йдуть глибоко в землю. Деякі з них, заповнені вулканічною магнезійною породою зеленого кольору – кімберлітом, містили алмази.

Відтоді почали вивчати утворення трубок кімберліту.

За сучасними уявленнями, в процесі утворення земної кори потужні вибухи проривали її і викидали з надр землі по вулканічних жерлах природний силікатний розплав (магму), переповнений газами і насичений вуглецем.

Рух магми до поверхні не був спокійним і рівним; її верхні шари, застигаючи, закупорювали жерла, утворюючи камеру, тиск у якій, зростаючи, врешті-решт її підривав.

За максимального тиску в магмі вуглець викристалізовувався у формі алмазу. У міру зниження тиску кристали алмазу починали частково розчинятися, внаслідок чого набували заокруглених контурів (загострені ділянки розчинялися швидше). З цієї причини природні кристали алмазу часто мають заокруглену форму.

Гранат (маркування – 92 E) – мінерал, що є сполукою алюмінію, заліза, хрому, кальцію, магнію і марганцю з кремнекислотою.

Залежно від домішок гранат буває темно-червоного (піроп), червоного (альмандин), оранжево-жовтого (спесартин), буро-червоного, чорного (андрадит) або смарагдово-зеленого (уваровіт) кольорів. Мікротвердість гранату – 1300-1650 г/см<sup>2</sup>, твердість за МООС – 6,5-7,5; густина – 3,5-4,2 кгс/см<sup>2</sup>. З цього мінералу виготовляють шліфувальне зерно та мікропорошки. Зерно використовують для виготовлення шліфувальної шкурки, яку застосовують для оброблення дерева, пластмас, шкіри, порошки – у вільному вигляді для оброблення скла.

Корунд – чорна порода, яка складається переважно з кристалічного окису алюмінію (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) з невеликою домішкою кварцу й інших мінералів. Колір залежить від домішок: червоний, бурий, жовтий, синій, сірий або білий. Густина – 3,9-4,1г/см<sup>2</sup>, мікротвердість – 1900-2200 кгс/мм<sup>2</sup>, твердість за МООС – 9,0. З корунду виготовляють шліфувальні порошки для виробництва абразивного інструменту і мікропорошки для полірування скла і металу.

Кремій (маркування – 81 Kp) – щільна гірська порода, що складається з кремнезему і мікроскопічних зерен кварцу і домішок. Колір – від світло-сірого до чорного. Мікротвердість 1000...1100 кгс/мм<sup>2</sup>; густина – 2,5...2,6 г/см<sup>2</sup>. Застосовують мінерал для виготовлення шліфувальної шкурки для оброблення шкіри, ебоніту, дерева.

Наждак – тонкозерниста гірська порода, що складається з корунду (близько 30%) з домішкою кварцу. Використовують для шліфування вільним зерном, належить до найдавніших абразивних матеріалів, використовуваних людиною, зокрема, для млинових жорен.

**Штучні абразивні матеріали** вирізняються більшою стабільністю фізико-механічних властивостей порівняно з природними. Останнім

часом штучні абразивні матеріали, за винятком алмазу, практично повністю витіснили в промисловості природні.

До штучних абразивних матеріалів належать алмаз синтетичний, карбід бору, карбід кремнію, технічне скло, ельбор (борозон), електрокорунд та ін.

Алмаз синтетичний (маркування – АСВ, АСР) – абразивний матеріал, який отримують у процесі синтезу графіту за високого тиску і температури. Властивості і застосування аналогічні природному мінералу. У виготовленні інструменту основною характеристикою є вміст алмазу в алмазозносному прошарку або концентрація алмазу. стовідсоткова концентрація означає що його вміст становить 4,39 карата в 1 см<sup>2</sup> алмазозносного прошарку. Виготовляють інструмент з концентрацією 50, 75, 100%, на замовлення – 25, 125 і 150%.

Карбід кремнію (маркування 64С-62С і 55С-52С) – абразивний матеріал, являє собою хімічну сполуку кремнію з вуглецем (SiC), твердість за МООС – 9,1; мікротвердість – 3300...3600 кгс/мм<sup>2</sup>; одержують в електричних печах з кварцу і нафтового коксу за температури 1 500...2 300 °С. Розрізняють зелений і чорний карбід кремнію.

Електрокорунд – абразивний матеріал, що складається з корунду (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) і невеликої кількості домішок. Промисловість виробляє декілька різновидів електрокорунду: нормальний, білий, хромовий, титановий, цирконієвий, моно- та сферокорунд.

Найширше використовують нормальний електрокорунд (маркування – 16А-12А), який отримують в електричних печах з бокситів, мікротвердість – 1900...2000 кгс/мм<sup>2</sup>, густина – 3,85...3,95 г/см<sup>3</sup>.

Інструменти з електрокорунду використовують для обробки матеріалів з високим опором розриву (стали, ковкий чавун, латунь, бронза). Інструментами з карбіду кремнію обробляють матеріали з низьким опором розриву, високої твердості і крихкості (камінь, кераміка, тверді сплави), а також в'язкі матеріали (алюміній, мідь).

Поява синтетичних алмазів в середині минулого сторіччя стала однією з визначних подій науково-технічної революції, що справедливо стоїть в одному ряду з винайденням приладів електронної техніки, лазерів, досягненнями атомної фізики, космічної механіки. Декілька сторіч видатні учені, серед яких були А. Лавуазьє, К. Деві, М. Ломоносов, М. Каразін, Г. Муасан, а також нобелівський лауреат



П. Бріджмен, намагалися здійснити фазове перетворення вуглецю з графіту в алмаз. Усі досліди виявилися марними. Потрібно було створити великі пресові тисячетонні установки, нагрівати реакційні осередки до температури плавлення сталі. І це виявилось можливим тільки в 1953-1954 рр., хоча теоретичний прогноз фізико-хімічної основи фазового перетворення вуглецю був виконаний російським ученим О. І. Лейпунським й опублікований в доступному академічному джерелі в 1939 році.

Уперше синтез алмазу був здійснений в лютому 1953 р. у Швеції в лабораторії фірми АСЕА, а потім незалежно повторений у США в грудні 1954 р. в лабораторії фірми «Дженерал електрикс», відтак незалежно від інших дослідників був виконаний в лабораторії Інституту фізики високого тиску Академії наук СРСР. Пошуки потрібної технології були глибоко засекречені в усіх трьох країнах. Тривало жорстке творче змагання, тому відоме тільки прізвище шведа Лундבלата, проте його пріоритет в синтезі алмазів не був зафіксований своєчасними публікаціями і він не удостоєний відповідними відкриттю лаврами разом з його співвітчизником фон Платтенном, що створив потрібну для синтезу потужну пресову установку. Фірма «Дженерал електрикс» у 1955 р. широко розголосила про досягнення, запатентувала його. Проте через розбіжності в колективі авторів – Г. Холл, Х. Стронг, Ф. Банді, Р. Венторф – так і залишилося невідомим, хто ж з них першим виконав успішні досліди. Так само і в колективі авторів (Л. Верещагін та ін.) було ухвалене і дотримане рішення – хоч би хто першим одержав алмази в синтезі з графіту за високого тиску і високотемпературного нагрівання, вважати успіх загальним надбанням.

З початком промислового виробництва синтетичних алмазів у США з 1957 р., а в СРСР – з 1961 р. в рекордно стислий термін після наукового досягнення питання про пріоритетність особистого досягнення відійшло на другий план, розвиток виробництва СТМ, алмазних порошків зумовлений потребами економіки, підтримувався потребами інструментального виробництва. У 1961 р. Л. Верещагін, Ю. Рябінін і В. Галактіонов були відзначені Ленінською державною премією за наукове досягнення, а в 1963 р. учені Л. Верещагін (Москва) і В. Бакуль (Київ) були удостоєні звання Героя Соціалістичної Праці. Нині Інститут надтвердих матеріалів НАН України названо ім'ям його першого директора В. Бакуля. А в 1972 р.

О. Лейпунський одержав диплом на відкриття, що визначило успіх експериментальних робіт через 14...20 років.

Надтвердим інструментальним матеріалами з середини ХХ ст. належить важливе місце в техніці і виробництві.

До абразивних матеріалів застосовують дроблення, подрібнення, збагачення, розсівання. У результаті отримують шліфувальне зерно або порошок потрібної крупності (розміру).

**Зернистість абразивного матеріалу** – показник, який визначає розмір шліфувального матеріалу.

У РФ позначення зернистості і склад матеріалу містить ГОСТ 3647:

320, 250, 200, 160, 125, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3 – отримують в результаті розсівання на ситах;

M63, M50, M40, M28, M20, M14, M10, M7, M5, M3, M2, M1, отримують за методом гідравлічної класифікації.

Терміни, які вживають на позначення шліфматеріалу залежно від зернистості:

шліфувальне зерно                    320...16;

шліфувальні порошки                12...3.

Визначальною характеристикою зернистості є її основна фракція. Крупність основної фракції продуктів розсівання залежить від розмірів отворів двох сит, крізь перше всі зерна основної фракції проходять і затримуються на другому. За зернистість беруть номінальний розмір сторони отвору в сітці, на якій затримується зерно. Наприклад, для основної фракції розміром 500-400 мкм зернистість становить 40.

В Україні і країнах, що належить до Європейської організації виробників абразивів (FEPA), застосовують інші стандарти на позначення зернистості. Складено таблиці, в яких у зіставленні наведено зернистість, відповідно до розмірів зерен основних фракцій за ГОСТ 3647 і за стандартними FEPA.

Абразивні армовані круги для оброблення металу виготовляють з нормального електрокорунду марок 13А і 14А зернистістю 50, 63, 80. Круги, виготовлені з електрокорунду марки 14А, мають вищу зносостійкість, ніж круги, виготовлені з 13А. Це пояснюється тим, що електрокорунд марки 13А порівняно з 14А містить приблизно втричі більше домішок окису заліза і в 1,3 раза більше окису кальцію, які негативно впливають на механічну міцність абразивного зерна. Зокрема, руйнівне навантаження на зерна електрокорунду марки 13А становить

20,66 Н/зерно, а марки 14А – 26,50 Н/зерно. Нижча міцність зерен електрокорунду марки 13А порівняно із зернами електрокорунду марки 14А є основною причиною меншої зносостійкості відрізних кругів, виготовлених з електрокорунду 13А.

Застосування легованого електрокорунду – титанового, хромтитанового, цирконієвого – доцільне для виготовлення абразивних армованих кругів. Зокрема, круги з хромтитанового електрокорунду слід використовувати для оброблення легованих сталей.

Зернистість абразиву істотно впливає на експлуатаційні властивості інструментів. Зносостійкість кругів з електрокорунду марки 14А зернистістю 80 порівняно з кругами зернистістю 50 в середньому на 22% вища під час різання труб 89х4 мм з вуглецевої сталі. Це пояснюється тим, що за більших розмірів абразивного зерна негативний вплив температури на зв'язку круга є меншим. Проте зернистість обмежується висотою абразивного круга, яка повинна бути не меншою за сумарну товщину 5-6 зерен.

Різання будівельних матеріалів, пластмас, які мають низький опір розриванню, виконують кругами з карбїду кремнію чорного марки 54С. У процесі різання матеріалів, наприклад титанових сплавів, які мають низьку теплопровідність, зношення інструменту відбувається переважно внаслідок вигорання зв'язки і викиршування абразивних зерен. Для їх різання доцільно застосовувати круги з карбїду кремнію, які мають більшу теплопровідність, ніж електрокорундові, дає можливість поліпшити відведення тепла із зони різання.

Для підвищення зносостійкості абразивних кругів ефективно заздалегідь обробляти абразивні зерна з метою зменшити негативний вплив високих температур, що виникають в процесі роботи, і поліпшити адгезію зерна до зв'язки круга. Наприклад, оброблення зерна кремнієорганічним силікатом сприяє підвищенню експлуатаційних та міцнісних характеристик відрізних абразивних кругів. Проте цей процес досить трудомісткий і в промисловому виробництві абразивних армованих кругів його не застосовують.

**Зв'язка** – це власне зв'язувальна речовина та наповнювачі. Вид зв'язки має визначальне значення для міцності і режимів роботи абразивного інструмента. У виробництві абразивних інструментів застосовують зв'язки двох видів: неорганічні (мінерального походження) й органічні – бакелітову, вулканітову, епоксидну.

**Неорганічні зв'язки (керамічні)** є багатоконпонентними сумішами, складеними в певних пропорціях з подрібнених сирих матеріалів: вогнетривкої глини, плавунів (польового шпату, борного скла), тальку й деяких інших матеріалів. Недоліком керамічної зв'язки є її висока крихкість, через що круги на цій зв'язці не можна використовувати за ударних навантажень (обдирне і силове шліфування), а їх низька межа міцності за згинання унеможливорює застосування таких кругів для відрізних робіт.

Основа **бакелітової зв'язки** – фенолформальдегідні смоли (рідкі та порошкоподібні) з наповнювачами неорганічної природи (кріоліт, пірит, алебастр та ін.). Абразивний інструмент на бакелітовій зв'язці має високу міцність, особливо на стиск й ударну міцність, перевершуючи за цими показниками інструменти на основі кераміки. Висока міцність бакелітової зв'язки дає абразивному інструменту змогу працювати за великих навантажень і високих швидкостей обробки – понад 80 м/с.

Недоліки бакелітової зв'язки: невисока теплостійкість – деструкція відбувається за температури 400 – 700 °С, недостатня стійкість до дії лужних розчинів обмежує застосування охолоджувальних рідин (небажаним є застосування розчинів, що містять більш ніж 1,5% лугів).

**Вулканітова зв'язка** – композиція, основним компонентом якої є синтетичний каучук. Добавки: вулканізувальний агент – сірка, прискорювачі вулканізації (каптакс, тіурам та ін.), мінеральні й органічні наповнювачі, які регулюють фізико-механічні й експлуатаційні властивості абразивних інструментів і формувальні властивості маси. Інструмент на вулканітовій зв'язці еластичний і щільний, тому його можна використовувати і для звичайних видів шліфування, й у відрізних операціях. Круги на вулканітовій зв'язці можуть бути виготовлені дуже тонкими. Недоліком є низька теплостійкість (250 – 300 °С) і слабе закріплення зерна у зв'язці, що пояснює нижчу зносостійкість кругів порівняно з бакелітовими і керамічними.

Зв'язка, разом з маркою зерна і зернистістю, є найважливішою характеристикою абразивного інструменту, що визначає сферу його застосування, різальну здатність, економічну ефективність. Експлуатаційні показники абразивних армованих кругів залежать від структури, твердості, теплофізичних властивостей зв'язки, особливо від теплопровідності, теплоємності і температуропровідності. Зв'язка зумовлює не тільки високу різальну здатність круга, але й найповніше

використання абразивного зерна в інструменті. Вона не тільки утримує різальні зерна в крузі, а й взаємодіє з оброблюваним матеріалом, істотно впливає на процеси, що відбуваються в зоні контакту. Унаслідок тертя зв'язки утворюється тепло, кількість якого залежить від її складу і фрикційних властивостей. Вона повинна мати високу адгезію до поверхні абразивного зерна, сприяти розкриттю нових різальних зерен і видаленню затуплених, тобто постійну роботу круга із самозаточуванням, інакше зношені зерна не випадатимуть із зв'язки, що призведе до залипання різальної кромки і втрати працездатності круга.

Абразивні армовані круги, виготовлені на бакелітовій зв'язці, мають високу питому міцність, пружність, досить високі експлуатаційні показники. Її зв'язувальними речовинами є продукти фенолформальдегідних смол: фенолове порошкоподібне зв'язне СФП-012А (аналог пульвербакеліта ПБ) і зволожувач – рідкий бакеліт БЖЗ з умовною в'язкістю 2-10 секунд. СФП – тонкий порошок від білого до темно-коричневого кольору, що складається з подрібненої суміші фенолформальдегідної смоли з уротропіном. Кількість уротропіну становить 6-9% маси смоли. СФП має високу вологостійкість, легко поєднується з іншими порошкоподібними компонентами. Теплостійкість його значно нижча за температуру, яка виникає під час роботи абразивного круга, і не перевищує 250 °С. У процесі нагрівання зв'язне проходить стадії розм'якшення в інтервалі 50...100 °С і твердіння за 140 °С. Після твердіння за 185 °С зв'язне набуває високої міцності та стійкості до розчинення у воді. У разі тривалого зберігання СФП поглинає з повітря вологу і збирається в грудки, що призводить до утворення раковин і здуття під час термічної обробки кругів, тому зв'язне слід зберігати в закритій тарі.

Рідкий бакеліт використовують для зволоження абразивних зерен на зв'язному СФП. **Рідкий бакеліт** – в'язка однорідна рідина коричнево-бурого кольору, що не містить зважених часток. Після нагрівання в результаті складних хімічних реакцій бакеліт твердне. При цьому розчинник випаровується і речовина втрачає близько 20% маси.

До складу зв'язки для підвищення фізико-механічних властивостей абразивних армованих кругів вводять наповнювачі різного функціонального призначення. Вони можуть змінювати теплофізичні властивості зв'язки і твердість круга, підвищувати його міцність і різальну здатність, сприяти змащенню в зоні різання, справляти хімічну дію на оброблюваний матеріал та інші параметри інструменту.

Властивості круга залежать також від параметрів абразивного зерна. Оскільки електрокорунд – це переважно окис алюмінію, зерно досить добре взаємодіє із зв'язкою, що за раціонального технологічного режиму сприяє високій адгезії. Полімерні зв'язні поблизу поверхні зерна значною мірою зумовлюють властивості всієї композиції. Наповнювач може цьому сприяти, якщо він активний відносно зв'язного.

Наповнювачі можна поділити на неактивні і активні. **Неактивні наповнювачі**, хімічно інертні, дають змогу поліпшити механічні властивості зв'язки круга. З цією метою можуть бути використані волоконні матеріали, наприклад азбест і скловолокно. **Активні наповнювачі** справляють фізико-хімічну дію в процесі різання. До них належать сполуки фтору, хлору і різні класи речовин, що містять сірку. Ці речовини в зоні контакту за  $T=250...450\text{ }^{\circ}\text{C}$  розкладаються з поглинанням тепла та виділенням сполук, які активно впливають на процес обробки. Наприклад, кріоліт – сполука фтористого натрію й алюмінію в зоні контакту розкладається з поглинанням тепла. При цьому одним з продуктів термічної реакції є фтористоводнева кислота, яка утворює агресивне середовище й активно впливає на різання.

Можливе також введення наповнювачів, які не тільки поглинають тепло, а й виділяють дисперсні метали, що поліпшують тепловідведення із зони контакту, підвищуючи зносостійкість круга. До таких наповнювачів належать форміати міді, нікелю, свинцю. Деякі наповнювачі, зокрема оксиди металів, кремнію, порошкоподібні метали, дають можливість поліпшити механічні характеристики круга шляхом структуризації і зміцнення полімерної зв'язки. Завдяки додаванню до зв'язки свинцю, олова, вісмуту підвищуються її антифрикційні властивості.

Для зменшення коефіцієнта тертя між кругом й оброблюваним матеріалом до зв'язки вводять наповнювачі з низьким коефіцієнтом тертя, наприклад дисульфід молібдену, графіт та інші. Деякими наповнювачами можна покривати зовнішню поверхню круга, хоча вони не належать до складу зв'язки, потрапляючи в зону контакту, справляють на матеріал фізико-механічну дію. До цієї групи належать різноманітні поверхнево-активні речовини (ПАР), особливо жирні кислоти та їх солі. Використання таких сполук у процесі оброблення зумовлює ефект Ребіндера, що полягає в зниженні міцності розрізаного матеріалу унаслідок виникнення розклинювального тиску

після попадання ПАР в мікротріщини і дефекти поверхневого шару металу.

Експериментальні дані, накопичені в процесі застосування абразивного інструменту з різними наповнювачами, практично не досліджені. Питання, пов'язані з вибором і впливом наповнювачів на процес абразивного оброблення, є таємницею фірм-виробників. Створення фізико-хімічних основ впливу наповнювачів різного функціонального призначення на зносостійкість абразивного інструменту є актуальним і потребує комплексних наукових досліджень, зокрема систематичних досліджень впливу наповнювачів на термічний стан зв'язки в широкому температурному діапазоні із застосуванням сучасних методів хімічного аналізу. У процесі досліджень потрібно виявити вплив кожного з компонентів зв'язки на композицію круга загалом, що дасть змогу визначити шляхи цілеспрямованого науково обґрунтованого добору наповнювачів з метою створення абразивних армованих кругів для ефективного оброблення металу і неметалічних матеріалів.

Позитивний вплив наповнювачів на експлуатаційні показники відбувається завдяки введенню до складу зв'язки цинкового порошку та окису цинку, що дає можливість підвищити зносостійкість кругів для різання вуглецевої сталі в середньому на 24%. Це пояснюється тим, що в результаті хімічної взаємодії частинок цинку й окису цинку з фенолформальдегідною смолою частина зв'язувальної речовини переходить у зміцнювальний стан, що сприяє підвищенню міцності інструменту, збільшенню його твердості, отже, і зносостійкості абразивного армованого круга. Цинковий порошок підвищує теплопровідність зв'язки.

Завдяки додаванню до зв'язки круга форміатів нікелю, міді, свинцю також підвищується зносостійкість абразивного круга, оскільки ці наповнювачі справляють багатофункціональний вплив на зв'язне. В процесі різання такими кругами за підвищення температури в зоні контакту відбувається поглинання тепла, зумовлене розкладанням наповнювача, а також виділенням високодисперсної металевої фази (нікелю, міді, свинцю) в робочій зоні. Крім того, високодисперсні метали, які виділяються внаслідок розкладання форміатів, виконують роль змащення, перешкоджаючи «залипанню» інструмента. За допомогою методу диференціально-термічного аналізу визначено, що

форміати нікелю, розкладаючись у температурному інтервалі 190...230 °С, тобто до розкладання кріоліту, поглинають тепло і збільшують теплопровідність зв'язки ще на початковій стадії різання.

Підвищення зносостійкості абразивних армованих кругів відбувається і завдяки додаванню структурувальних наповнювачів до маси інструмента: каоліну, модифікованого алкамоном, і різноманітних модифікацій аеросилу. Це пояснюється тим, що навіть їх мала кількість утворює просторовий каркас в об'ємі маси, підвищує твердість круга. Наявність високодисперсного модифікованого каоліну сприяє утворенню додаткових просторових зв'язків між поверхнею наповнювача і бакелітовою зв'язкою, отже, її зміцненню. Аналогічно впливають на зв'язку модифікації аеросилу. Застосування навіть незначної кількості цих речовин дає можливість підвищити експлуатаційні показники абразивних армованих кругів.

Додавання до зв'язки інструменту активних наповнювачів можна вважати одним з напрямів у створенні абразивних армованих кругів спеціального призначення, зокрема для різання легованих сталей. Під час різання легованих сталей зносостійкість кругів в 2-2,5 раза менша, ніж у випадку з вуглецевими, що багато в чому пояснюється меншою теплопровідністю легованої сталі, отже, інтенсивнішим нагріванням зв'язки під час роботи. Зносостійкість абразивних армованих кругів для різання легованої сталі може бути підвищена завдяки додаванню до їх складу сірки та сірковмісних сполук. Аналогічним є ефект різання легованих сталей кругами, які містять пірит (сірчистий колчедан) у поєднанні з кріолітом.

Круги армують склосіткою з ячейками розміром 5×5 мм і завтовшки близько 1 мм. Відрізні абразивні круги Д180х3х22, Д230х3х22 і Д300х3х32 мм армують двома склосітками по площі бічних поверхонь, круги Д400х4х32 і Д500х5х32 мм – трьома склосітками: однією внутрішньою посередині круга і двома діаметром 180-230 мм по бічних поверхнях; зачисні круги 180х6х22 і 230х6х22мм – чотирма склосітками: двома по бічних поверхнях і двома внутрішніми (рис. 4.2).

З технологічних міркувань круги Д400х4х32 і Д500х5х32 мм для різання будівельних матеріалів виготовляють з внутрішнім армуванням по всьому перетину, оскільки в разі армування лише по бічних поверхнях в результаті тертя між вузлами закріплення горизонтальних і вертикальних ниток склосітки і розрізуваним матеріалом, відбувається



перетирання склосіток. Круги стають фактично неармованими і небезпечними під час експлуатації.

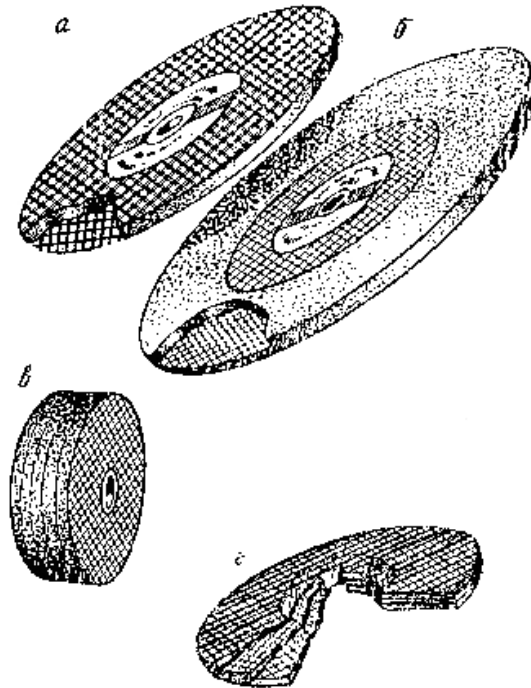


Рис. 4.2. Абразивні армовані круги: *а* – відрізний тип 41 (дві сітки);  
*б* – відрізний тип 41 (три сітки); *в* – зачисний тип ПП; *г* – зачисний тип 27

Армування значно підвищує механічну міцність круга, є гарантією його безпечної роботи. Розривна швидкість круга Д400х4х32 мм, армованого однією внутрішньою склосіткою, порівняно зі швидкістю неармованого збільшується, залежно від методу пресування, в 1,4-1,6 раза. Розміщення склосіток істотно впливає на міцнісні характеристики абразивних кругів.

Найбільшу міцність мають круги з двома склосітками на бічних поверхнях. Для поліпшення адгезії із зв'язкою склосітку заздалегідь просочують пильвербакелітом з пластифікаторами.

Працездатність круга залежить від конструкції та фізико-механічних властивостей матеріалу армувальної сітки. Для відрізних кругів використовують сітки тільки з отворами, не меншими за 1,5 мм, інакше круги, армовані по бічних поверхнях, в процесі роботи нагріваються і залипають. У разі внутрішнього армування круга такими сітками відбувається його розшарування.

Вертикальні та горизонтальні нитки склосітки у вузлах перетину повинні бути жорстко скріплені між собою. Склосітки з рухомими

нитками, наприклад, не можна використовувати в кругах для різання каменю із змочуванням водою з метою запобігання шкідливому пилеутворенню. Це пояснюється тим, що основним чинником, який впливає на зношувальність скловолокна, є величина коефіцієнта тертя між склосіткою і каменем, яка в разі різання з водою знижується в 2-3 рази. Унаслідок підвищення зносостійкості скловолокна, склосітки з рухомими нитками не видаляються з різальної кромки, а «замочалюють» її (рис. 4.3). Для армування кругів слід застосовувати склосітки з переплетенням, за якого вертикальні і горизонтальні нитки у вузлах перетину жорстко сполучені між собою.

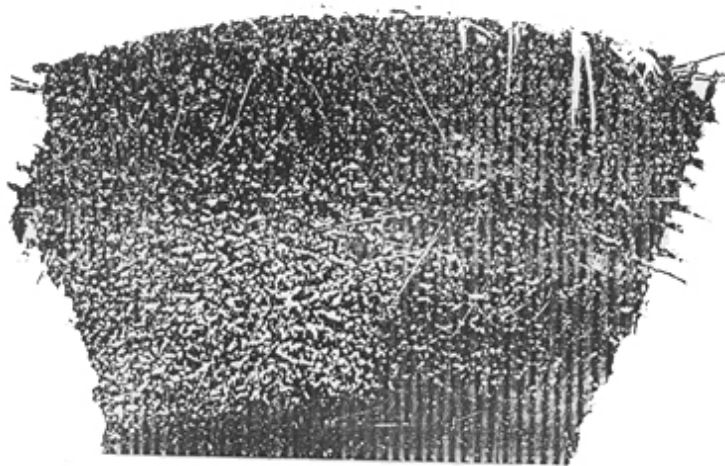


Рис. 4.3. «Замочалювання» різальної кромки круга скловолокном

Від фізико-механічних властивостей армувальних матеріалів безпосередньо залежить працездатність кругів. У процесі роботи зношуються сітки, виготовлені з термореактивних матеріалів, температура руйнування (згорання) яких становить 160...250 °С (віскоза, бавовна, полінозний корд). Сітки, виготовлені з термопластичних матеріалів, температура плавлення або розм'якшення яких дорівнює 140-250 °С (анід, лавсан, нітрон, поліпропілен), заплавлюють різальну кромку і спричинюють поломку круга. Температура плавлення скловолокна вища за температуру в зоні різання, тому воно не плавиться, а лише стирається в процесі роботи. Таким чином, для армування абразивних кругів потрібно використовувати матеріали, які не плавляться в процесі роботи. Саме скловолокно як найміцніший досить низькостійкий до стирання матеріал застосовують для армування абразивних кругів.

Експлуатаційні показники відрізних абразивних армованих кругів залежать від конфігурації їх бічних поверхонь. У кругах з гладкими

поверхніми абразивні зерна розміщені на одному рівні із зв'язкою. Недостатня ефективність таких кругів пояснюється інтенсивним тепловиділенням в контактній зоні в процесі роботи, особливо за значної глибини різання. Це є причиною можливого заклинювання кругів, що особливо небезпечно під час роботи ручними машинами, а також пропалювання на оброблюваних виробах.

Усунути згадані недоліки можна, зменшивши площу контакту абразивного інструмента з розрізуваним матеріалом. Бажаного ефекту досягають, використовуючи круги з шорсткими бічними поверхнями. Виготовляють такі круги за допомогою пресформ, на робочих плитах яких жорстко закріплюють поліуретанові прокладки (див. рис. 3.4). У процесі пресування абразивні зерна проникають в поліуретан, при цьому їх виліт над зв'язкою сягає 15-20% розміру зерна. Поліуретанова прокладка повинна витримувати багаторазові навантаження за питомого тиску 250...300 кгс/см<sup>2</sup>, повністю передавати зусилля пресування, надійно кріпитися до металевих робочих плит пресформи, не прилипати до запресованого круга (можливе застосування змащених паперових прокладок) і мати високу зносостійкість, тобто без заміни витримувати значну кількість пресувань.

Зносостійкість кругів з шорсткими бічними поверхнями на 17-32% вища, ніж кругів з гладкими бічними поверхнями. При цьому чим більша глибина різання, тим вища ефективність кругів з шорсткими бічними поверхнями. Підвищення зносостійкості – результат сприятливішого температурного режиму в зоні контакту інструмента з розрізуваним матеріалом. Це пояснюється тим, що навколо абразивних зерен виникають вихрові потоки повітря, які сприяють інтенсивнішому відведенню тепла з бічних поверхонь круга. Крім того, зменшується площа контакту з об'єктом обробки, а абразивні зерна виконують мікрорізання матеріалу. Під час різання такими кругами не відбувається заклинювання інструмента чи пропалювання.

#### **4.3. Технологія виготовлення абразивних армованих кругів**

Технологія виготовлення абразивних армованих кругів охоплює такі основні операції: вхідний контроль і підготовка компонентів, приготування абразивної маси, формування, термічна обробка (бакелізація) і перевірка кругів на відповідність стандартом.

Компоненти абразивної маси заздалегідь перевіряють: зерно – на відповідність хімічному і зерновому складу, зв'язне СФП-012А (пульвербакеліт) і наповнювач (кріоліт) – на текучість і наявність вологи. У разі застосування інших наповнювачів їх також перевіряють на відповідність нормативам.

Усі компоненти, що надходять на ділянку змішувача, повинні бути сухими з температурою 20 °С. Вологі компоненти погіршують якість круга і є причиною напливів і здуття на його поверхні.

На ділянці змішувача віддозовані відповідно до рецепта компоненти завантажують у лопатевий змішувач у певній послідовності: абразивне зерно, рідкий бакеліт, наповнювач, пульвербакеліт. Співвідношення компонентів в абразивній масі визначають з розрахунку на 100 мас.ч.зерна. Абразивне зерно перемішують з рідким бакелітом протягом 90 с, потім зволожене зерно з наповнювачем – 120 с і з пульвербакелітом – 90 с. Після закінчення змішування абразивна маса повинна бути сухою, сипкою, без грудок і пилу, а стиснута в руці – досить липкою. У приміщеннях, де відбувається приготування мас і формування кругів, слід підтримувати постійну температуру.

Приготовану абразивну масу з мішалки висипають у ківш і подають для просівання на механічне сито, а потім – до постів пресування. Формування абразивних армованих кругів виконують на гідравлічних пресах у пресформі, що складається з кільця, двох робочих плит (верхньої і нижньої) і керна, який має розміри, відповідні до діаметра посадкового отвору круга. Для виготовлення кругів з шорсткими бічними поверхнями на верхній і нижній робочих плитах закріплюють поліуретанові прокладки (рис. 4.4).

Для формування кругів застосовують гаряче, тепле і холодне пресування. Гаряче пресування трудомістке і малопродуктивне, але дає змогу формувати круги на пресовому устаткуванні, що має приблизно втричі меншу потужність, ніж за холодного. У процесі такого пресування спочатку за кімнатної температури формують заготовки кругів, які потім встановлюють в прес-форми, нагріті до 150-160 °С. Пакет, складений з цих пресформ, витримують під пресом 60...90 с за питомого тиску (1,5-2)·10 Па для розігрівання зв'язки круга, а потім близько 1200 с залежно від типорозміру круга – за тиску 100 кгс/см<sup>2</sup>. Круг виштовхують з пресформи в гарячому стані й укладають між рівними металевими плитами для охолодження. Під час термічної обробки круг нагрівають до 190 °С і витримують протягом трьох годин.

За методом гарячого пресування не можна виготовляти круги з шорсткими бічними поверхнями, оскільки поліуретан за високої температури втрачає міцність. Через зазначені недоліки гаряче пресування не набуло поширення, застосовують його тільки тоді, коли немає устаткування для потрібного питомого тиску.

Тепле пресування полягає у тому, що формування круга виконують у пресформах, заздалегідь нагрітих до 80 °С, що дає змогу поліпшити адгезію між зв'язкою і склосіткою. Недолік теплового пресування – прилипання відформованого круга до робочих плит пресформи, а також зниження міцності поліуретанових прокладок.

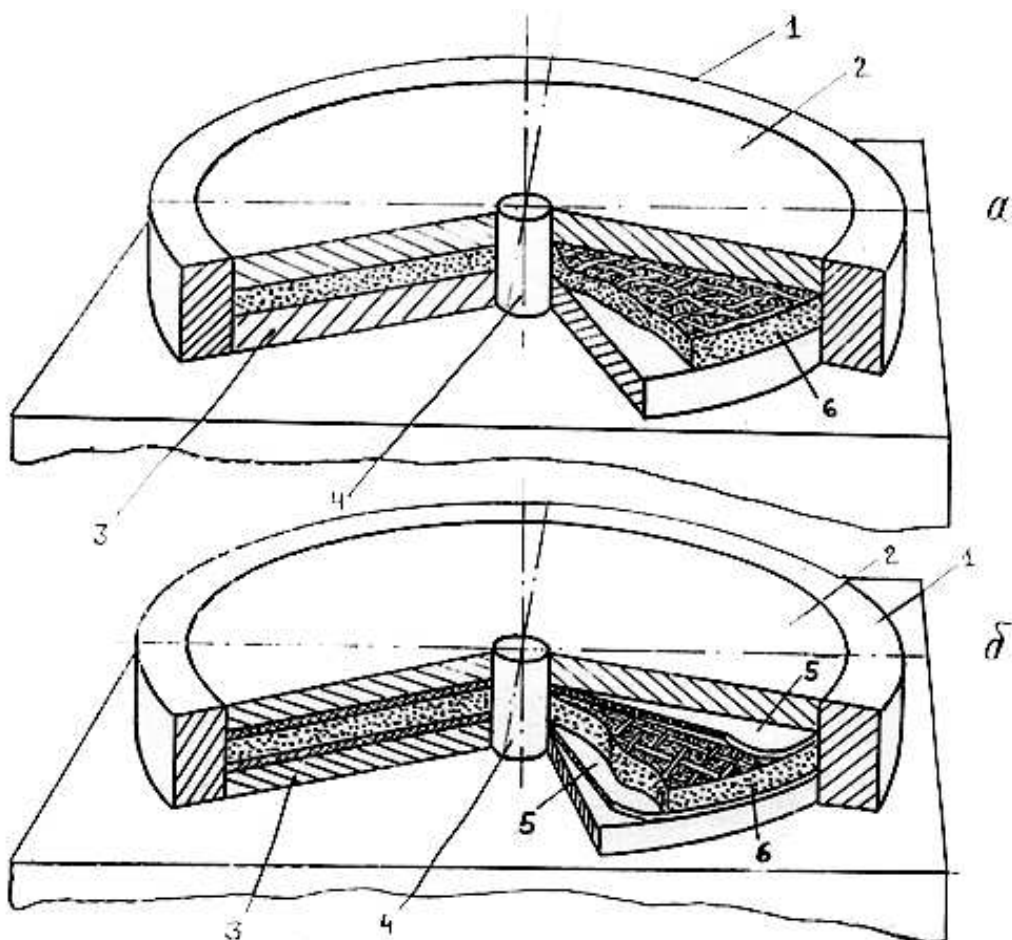


Рис. 4.4. Пресформи для формування кругів:  
*a* – з гладкими бічними поверхнями; *б* – шорсткими бічними поверхнями;  
 1 – кільце; 2 – верхня робоча плита; 3 – нижня робоча плита; 4 – керн;  
 5 – поліуретанова прокладка; 6 – абразивний круг

Холодне пресування, коли абразивну масу розрівнюють і формують за кімнатної температури, найбільш поширене, але потребує належного пресового устаткування потужністю 250-300 кгс/см<sup>2</sup>.

Формування кругів діаметром 180 і 230 мм виконують на гідравлічних пресах зусиллям 160 т, Ø300 мм – 250т, Ø400 мм – 400 т, Ø500 мм – 630 т.

Густину сирого круга визначають за формулою:

$$\gamma = \frac{\gamma_1 V_1 + \gamma_2 V_2 + \gamma_3 V_3}{100}, \quad (4.1)$$

де  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  – відповідно густина абразивного зерна, зв'язного (рідкий бакеліт і пульвербакеліт), наповнювача, кг/м<sup>3</sup>;  $V_1, V_2, V_3$  – об'ємний вміст зерна, зв'язного, наповнювача в крузі, %.

Густина сирого абразивного армованого круга, призначеного для різання і зачищення металу, переважно становить  $2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, а для різання будівельних матеріалів –  $1,85 \dots 2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Навішування абразивної маси для одного круга визначають за формулою:

$$P = V\gamma - nP_1, \quad (4.2)$$

де  $V$  – об'єм круга, м<sup>3</sup>;  $P_1$  – маса диска склосітки, кг;  $n$  – кількість дисків у крузі.

Виготовляють круги, армовані двома склосітками по бічних поверхнях, так: на нижній робочій плиті пресформи, встановленій на спеціальному пристрої, розміщують диск із склосітки і засипають абразивну масу, яку розрівнюють спеціальною лінійкою в пресформі, що обертається. Потім укладають другий диск склосітки, калібрувальну металеву втулку, внутрішній діаметр якої дорівнює посадковому отвору круга, і виконують пресування, при цьому верхня робоча плита закріплена на пуансоні преса. Виготовляючи круги з внутрішнім армуванням, абразивну масу укладають частинами. Зокрема, для виготовлення кругів 400×4×32 і 500×5×32мм навішування ділять на дві частини, а кругів 180×6×22 і 230×6×22 мм – на три частини.

Розрівнювання маси бункером застосовують у виготовленні кругів діаметром 300 мм і більше. Ширина бункера дорівнює радіусу круга, вісь його обертання розміщена в центрі прес-форми. Заповнений абразивною масою і забезпечений роликками бункер вручну обкочують навколо осі обертання по конику нерухомої прес-форми. На дні по всій ширині бункера є регульоване вікно, через яке під час обертання рівномірно надходить абразивна маса.

Відцентрове розрівнювання маси застосовують для виготовлення кругів діаметром не більш як 230 мм. Пресформу встановлюють на спеціальній пристрій, на якому вона обертається із заданою швидкістю. На місці верхньої робочої плити встановлюють диск з горловиною. Абразивну масу засипають в горловину, під дією відцентрових сил вона рівномірно розподіляється в пресформі. Тривалість пресування одного круга – близько 30 с. За цей час він набуває потрібної густини. Для того, щоб унеможливити прилипання круга до робочих плит, їх заздалегідь змащують мастилом, яке складається з парафіну, гасу і воску. Заформований круг виштовхується з пресформи пневмовиштовхувачем і укладається в пакет між силуміновими плитами.

Пакети збирають на стелажі і встановлюють в бакелізатор періодичної дії, де відбувається термічна обробка кругів.

**Бакелізація** – процес перетворення сирової зв'язки абразивного інструмента в затверділу, яка має високу міцність і теплостійкість. Абразивні армовані круги затвердівають у такому режимі: 1 год за 20-80 °С, 6 год – 80-100 °С, 3 год – 100-120 °С, 5 год – 120-140 °С, 3 год – 140-185 °С, 6 год – 185 °С. Далі їх охолоджують в печі до 80-100 °С і вивантажують за 30-40 °С. За  $t = 60$  °С із зв'язки виділяється приблизно десята частина летючих речовин. Температуру в цьому інтервалі підвищують досить швидко. В інтервалі 20-80 °С інтенсивність процесу значно зростає, а за 100 °С видаляється майже 70% всіх летючих речовин. Для запобігання здуттю, тріщинам, оплавленню підвищення температури уповільнюють.

В інтервалі 120-140 °С починається розкладання уротропіну, тому швидкість підвищення температури також сповільнюється. За 140 °С і вище відбувається інтенсивне затвердіння інструменту, при цьому підвищення температури пришвидшується.

Кінцева температура також впливає на якість круга. Зокрема, в інтервалі 180-190 °С зв'язка інструмента виходить твердою і в'язкою, а за 200 °С – твердою і крихкою. Тому температура термообробки не повинна перевищувати 185 °С.

Після термообробки під час зовнішнього огляду поверхні перевіряють, чи немає тріщин, здуття, пошкодження кромки круга, а також відповідність його чинним стандартам.

Дисбаланс круга є причиною збільшення вібрації, отже, і передчасного виходу з ладу шпинделя й інших вузлів привідного пристрою. Якщо припустити, що абразивний круг цілком однорідний, то центр маси круга повинен бути на геометричній осі, яка збігається з віссю обертання. Однак технологічний процес не дає змоги виготовляти круги з рівномірною густиною по всьому об'єму. Неврівноваженість, спричинена тим, що центр маси круга не збігається з віссю обертання, характеризується статичним дисбалансом. Розрізняють чотири класи незрівноваженості кругів залежно від їх маси. Незрівноваженість визначають за допомогою спеціального пристрою, що складається зі сполучених між собою горизонтальних пластин одного розміру, на яких встановлено оправку з кругом. На периферії круга закріплюють вантаж певної величини. Вантаж добирають доти, доки круг не опиниться в зрівноваженому положенні. Сумарна маса вантажу і становитиме статичний дисбаланс круга.

Допускається незрівноваженість 2-7,5 г залежно від типорозміру інструмента. Перевірці підлягають 5% кругів.

Усі круги перевіряють на механічну міцність: відрізні круги діаметром понад 200 мм – з випробувальною швидкістю, що на 30% перевищує робочу, а зачисні – на 50%.

Останнім часом абразивні заводи виготовляють круги на напівавтоматах, на робочих столах яких встановлюють одночасно до шести пресформ залежно від типорозміру круга. Абразивну масу з бункера засипають у пресформи. Робітник вручну тільки укладає диски склосітки і знімає заформований круг. За такої технології продуктивність виготовлення кругів значно збільшується, проте внаслідок нестабільності властивостей абразивної маси залежно від часу її використання і кліматичних умов не завжди вдається досягти стабільної якості абразивного круга.

### **Запитання для самоперевірки**

1. Назвіть умови використання машин для різання.
2. Для виконання яких операцій засовують вогняне та механічне різання?



3. З чого складається абразивний круг? На які класи поділяють абразивні матеріали?
4. Як внутрішня структура абразивного відрізного диска впливає на фізико-механічну особливість процесу різання?

## 5. АБРАЗИВНИЙ РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ

### 5.1. Працездатність абразивних армованих кругів

Продуктивність виконання відрізних і зачисних операцій залежить від параметрів абразивного інструмента, приводної машини і оброблюваного об'єкта.

Продуктивність різання абразивним армованим кругом у поєднанні з ручною шліфувальною машиною (рис. 5.1) обчислюють за формулою:

$$P_p = \frac{M_g}{\tau_p}, \quad (5.1)$$

де  $M_g = F_g \cdot H \cdot \rho_g \cdot N$  – маса зруйнованого під час різання матеріалу, кг;

$\tau_p = \frac{NL_0 + R_0 - R_\phi - L_1}{V_n}$  – час, який витрачається на різання, с;

$F_g$  – площа поперечного перетину розрізуваного об'єкта, м<sup>2</sup>;

$\rho_g$  – густина оброблюваного матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  – висота абразивного круга, м;  $V_n$  – швидкість подавання абразивного інструмента, м/с;

$N$  – кількість різів, які можна виконати одним кругом;  $L_0$  – розмір розрізуваного об'єкта в напрямі подачі, м;  $L_1$  – товщина розрізуваного матеріалу, м;  $R_0, R_\phi$  – радіуси круга і затискного фланця, м.

Зносостійкість відрізного абразивного круга характеризується коефіцієнтом шліфування

$$S_p = \frac{dF_g}{dF_{KP}}, \quad \text{м}^2/\text{м}^2, \quad (5.2)$$

де  $dF_g$  – елементарна площа поперечного перетину розрізуваного об'єкта, м<sup>2</sup>;  $dF_{KP}$  – елементарна площа зношеної частини круга, м<sup>2</sup>.

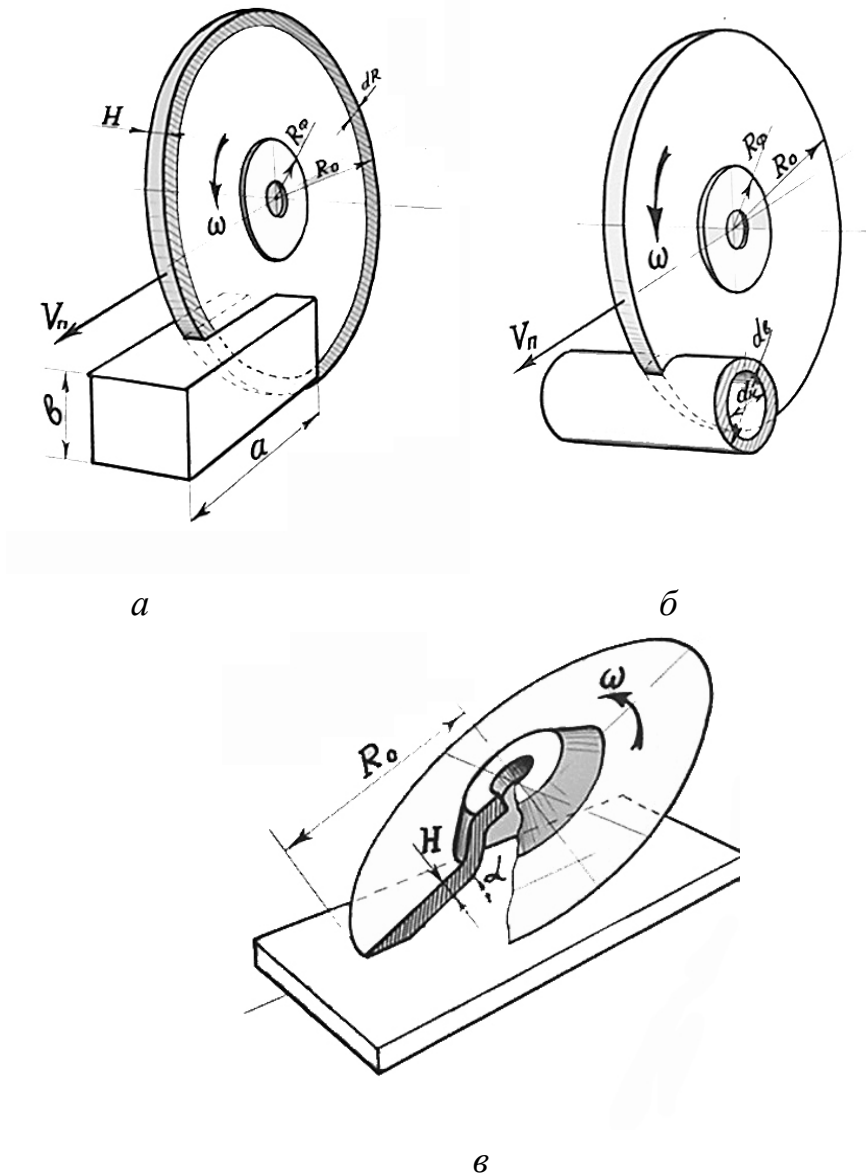


Рис. 5.1. Схеми різання (а, б) і зачищення (в)

За  $N$  різів круг зношується від початкового радіуса  $R_0$  до величини, що складається з радіуса притискного фланця і товщини розрізуваного матеріалу  $R_\phi + L_1$ . У такому разі з формули (5.2) маємо:

$$N F_g = 2\pi \int_{R_\phi + L_1}^{R_0} S_p R dR,$$

або

$$N = \frac{2p}{F_g} \int_{R_\phi + L_1}^{R_0} S_p R dR, \quad (5.3)$$

де  $R$  – відстань від центра круга, м.

Підставивши рівняння (5.3) у формулу (5.1), маємо:

$$\Pi = \frac{2\pi H \rho_g \int_{R_\varphi + L_1}^{R_0} S_p R dR}{\tau_p}. \quad (5.4)$$

Продуктивність у процесі зачищення одним абразивним кругом становить:

$$\Pi_3 = \frac{M_g}{\tau_3}, \quad (5.5)$$

де  $\tau_3$  – час роботи, с.

Зносостійкість зачисного круга дорівнює:

$$S_3 = \frac{dM_g}{dM_{KP}}, \text{ кг/кг}, \quad (5.6)$$

де  $dM_g$  – елементарна маса відшліфованого матеріалу, кг;

$dM_{KP}$  – елементарна маса зношеного круга, кг.

Елементарна маса зношеного круга становить;

$$dM_{KP} = 2\pi R dR \frac{H}{\sin \alpha} \rho_{KP},$$

де  $\alpha$  – кут нахилу круга до оброблюваної поверхні, рад;  $\rho_{KP}$  – густина круга, кг/м<sup>3</sup>.

Інтегруючи рівняння (5.6), одержуємо:

$$\Delta M_g = 2\pi \frac{H}{\sin \alpha} \rho_{KP} \int_{R_\varphi}^{R_0} S_3 R dR. \quad (5.7)$$

Із залежностей (5.4) і (5.8) видно, що невідомими параметрами є зносостійкість абразивних армованих кругів. При цьому з аналізу залежностей випливає: чим більша зносостійкості інструмента, тим вища продуктивність.

Під час роботи ручними машинами слід брати до уваги стомлюваність оператора в процесі різання і зачищення, яка залежить переважно від маси машини або величини зусилля, прикладеного робітником до рукояток для ручної подачі інструмента, а також від тривалості роботи.

Абразивний армований круг є багатокомпонентною композицією, що складається із зерна, закріпленого в органічній матриці, температура руйнування якої сягає 250-300 °С. Проте внаслідок його взаємодії з оброблюваним об'єктом в зоні контакту виникають вищі температури. Тепло, що виділилося, розподіляється між інструментом, об'єктом, стружкою і навколишнім середовищем і безпосередньо позначається не тільки на зносостійкості абразивного круга, а й на якості обробленої поверхні та режимі роботи. Наприклад, якщо ділянка матриці круга після виходу із зони контакту до наступного робочого циклу не втратить тепло, його температура підвищуватиметься доти, доки він не почне руйнуватися. У разі скорочення часу обробки, тобто збільшення подачі, швидкість просування фронту високих температур зростає, що позитивно позначається на якості розрізуваної поверхні (рис. 5.2).

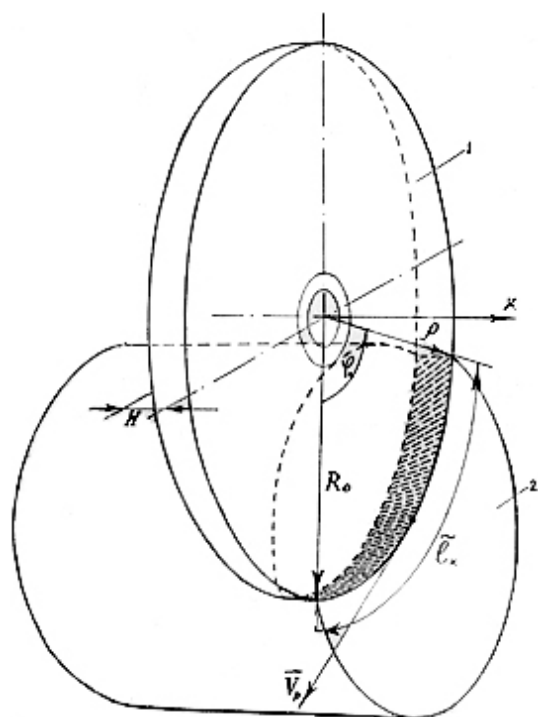


Рис. 5.2. Зона тепловиділення під час контакту круга з об'єктом обробки:  
1 – круг; 2 – об'єкт обробки

Таким чином, тільки на підставі дослідження теплових процесів можна визначити ступінь впливу режимів роботи, теплофізичних характеристик та інших технологічних параметрів кругів на їх зносостійкість, а також розробити сучасні якісні абразивні армовані інструменти.

Зусиллями декількох поколінь учених в галузі шліфування металів були розв'язані теоретичні і практичні завдання, що дало змогу виявити взаємозв'язки між контактними температурами і якістю обробленої поверхні. Значно меншою мірою досліджено питання, пов'язані з поширенням теплоти в абразивному крузі, що суттєво впливає на його зносостійкість під час виконання відрізних операцій, оскільки не було взяте до уваги обертання абразивного круга і тепловіддача в навколишнє середовище з його бічних поверхонь.

Досліджуючи вплив теплових процесів на зносостійкість обертального абразивного інструменту, слід виявити взаємозв'язки між температурою, яка виникає в будь-якій точці полімерної матриці круга, режимами його експлуатації, геометричними розмірами, конструкцією, теплофізичними характеристиками, довжиною дуги контакту. Зважаючи на те, що відрізнi абразивні круги мають невелику порівняно з діаметром висоту, а тепловіддача з їх бічних поверхонь істотно впливає на розподіл теплоти в крузі, потрібно розв'язати тривимірну задачу, беручи до уваги нагрівання круга в робочій зоні й охолодження його повітрям поза цією зоною, а також те, що руйнування бакелітової зв'язки абразивного інструмента відбувається не миттєво, а протягом певного часу до початку горіння.

Слід зазначити, що потоки тепла під час обертання та необертання круга, який контактує з металом, значно відрізняються між собою. Потік тепла від круга, що обертається, значно інтенсивніший, ніж від металу.

Отже, розв'язання задачі про розподіл температури в абразивному крузі впродовж одного періоду обертання з подальшим підсумовуванням за кількістю обертів дає змогу не тільки виявити основні фізичні особливості процесу теплового зношення круга, а й визначити температуру в кожній його точці під час роботи.

Результатом розв'язання за методом функцій Гріна рівняння теплопровідності з відповідними граничними умовами, у яких відображено виділення тепла в зоні контакту, тепловідведення усередину круга, тепло, яке видаляється зі стружкою в процесі різання, а також тепловіддачу навколишньому середовищу, є досить громіздкою аналітичною залежністю від режимів роботи та теплофізичних характеристик. Розглянемо деякі її висновки.

Зокрема,

$$T \approx \frac{1}{c\rho} \exp(-P_e), \quad (5.9)$$

де  $T$  – температура у зв'язці круга;  $P_e = \frac{RV_P}{a} = \frac{RV_P c\rho}{\lambda}$  – критерій Пекле,  $c$ ,  $\rho$ ,  $a$ ,  $\lambda$  – відповідно теплоємність, густина, температуропровідність та теплопровідність матеріалу зв'язки;  $R$  – радіус круга;  $V_P$  – робоча швидкість.

Таким чином, регулюючи *коефіцієнт температуропровідності зв'язки*  $\alpha$ , який характеризує кількість тепла, що протікає за одиницю часу через одиницю поверхні, можна оптимізувати теплові процеси в зоні різання, отже, і зносостійкість абразивного круга.

На цій основі розробляють склад зв'язок для абразивних армованих кругів, що мають високу температуропровідність. Виявлено, що чим більша температуропровідність, тим вища зносостійкість кругів. Найкращих результатів за зносостійкістю досягнуто під час різання кругами, до складу зв'язки яких введено формиат нікелю, цинк та окис цинку, модифіковані аеросил та каолін.

У міру підвищення температуропровідності формиат нікелю, розкладаючись за температури різання, виділяє дисперсний нікель, який поліпшує тепловідведення із зони різання, а в результаті хімічної взаємодії окису цинку з фенолформальдегідною смолою підвищується твердість інструменту. Модифіковані каолін і аеросил утворюють також просторовий каркас в об'ємі маси зв'язки, що підвищує її твердість, отже, і зносостійкість круга.

Введення до складу активних наповнювачів є одним з найпростіших і найефективніших способів підвищення зносостійкості абразивних кругів.

Температура у зв'язці залежить також від *коефіцієнта Біо*, який характеризує відношення швидкості віддачі тепла з поверхні до швидкості підведення його до неї.

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}, \quad (5.10)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі.

Зростання числа Біо сприяє інтенсифікації тепловіддачі навколишньому середовищу, зниженню температури у зв'язці і, як наслідок, підвищенню зносостійкості абразивного інструменту. Число Біо може бути збільшене, наприклад, завдяки використанню в процесі різання охолоджувальних рідин, а також шляхом зміни конфігурації бічних поверхонь круга. Найбільш доцільно застосовувати відрізи круги з шорсткими бічними поверхнями, у процесі різання якими відбувається турбулізація ламінарного підшару повітря, безпосередньо біля бічних

поверхонь, що зумовлює збільшення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$ , отже, і  $Bi$ , в 1,5-2 рази. Зносостійкість кругів з шорсткими бічними поверхнями порівняно з гладкими збільшується в середньому на 25%. Ще одна істотна перевага пов'язана з характером взаємодії бічних поверхонь з металом в пропилі. У разі роботи кругами з гладкими бічними поверхнями відбувається деформація металу абразивними зернами і виділяється значна кількість тепла, яка є причиною утворення пропікань. Під час роботи кругами з шорсткими бічними поверхнями абразивні зерна здійснюють мікрорізання, а разом зі стружкою видаляється метал, який зазнав впливу високих температур. У такому випадку різ виходить чистим, без пропікань. Крім того, внаслідок розширення пропилю унеможливується заклинювання кругів, тобто підвищується безпека їх експлуатації, що особливо важливо під час роботи ручними шліфувальними машинами.

Наведені залежності свідчать про те, що температура полімерної матриці абразивного круга пов'язана зі швидкістю його обертання за декількома параметрами. Унаслідок підвищення швидкості в контактній зоні зростає кількість теплових імпульсів, що негативно позначається на зносостійкості круга. Одночасно збільшується тепловіддача з його бічних поверхонь, яка визначається коефіцієнтом теплопередачі. Що вища окружна швидкість, то більша тепловіддача в навколишнє середовище, що сприяє підвищенню зносостійкості круга. При цьому також скорочується час перебування круга в зоні високих температур. Таким чином, збільшення робочої швидкості абразивного армованого круга є доцільним.

Найменш сприятливі умови тепловіддачі виникають під час роботи кругів з гладкою бічною поверхнею (рис. 5.3), оскільки до неї прилягає ламінарний підшар повітря і теплопередача в навколишню атмосферу відбувається завдяки теплопровідності. Наявність рифлень сприяє інтенсивнішому охолодженню бічної поверхні круга внаслідок порушення ламінарного підшару і виникнення турбулентності в граничному шарі. У разі шорстких бічних поверхонь навколо абразивних зерен виникають турбулентні завихрення і теплопередача відбувається завдяки конвекції, що дає змогу збільшити коефіцієнт тепловіддачі майже вдвічі порівняно з кругами, які мають гладкі поверхні. Зносостійкість абразивного круга може бути також підвищена в результаті інтенсифікації тепловідведення шляхом збільшення

температуропровідності полімерної матриці або її примусового охолодження.

Чим більші швидкість подачі і деформація стружки, тим більше виділяється тепла, частина якого проникає в оброблюваний об'єкт. Зважаючи на це, слід визначити оптимальну величину подачі, за якої можлива максимальна зносостійкість абразивного інструменту і належна якість розрізуваної поверхні.

Більша довжина дуги контакту круга з оброблюваним об'єктом зумовлює більше тепловиділення. Слід мати на увазі, що в зоні контакту відбувається нагрівання круга, а поза нею – охолодження внаслідок

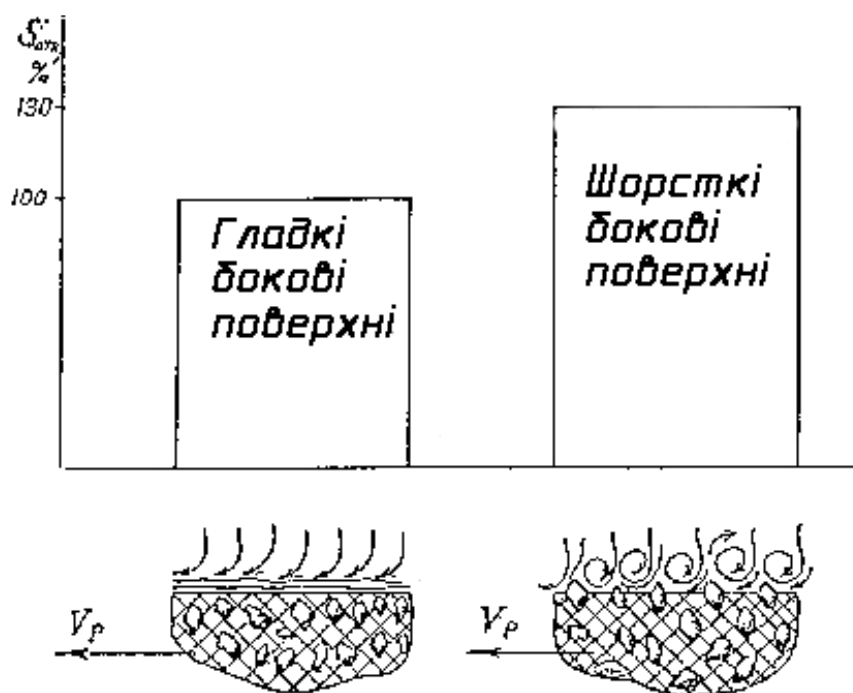


Рис. 5.3. Залежність відносної зносостійкості ( $S_{ВІД}$ ) від конфігурації бічної поверхні

тепловіддачі в навколишнє середовище. Завдяки цьому зношення абразивного інструменту тим нижче, чим менше відношення між довжиною дуги контакту і довжиною різальної кромки круга поза контактом. Такого ефекту можна досягти, обравши максимально можливий діаметр круга.

Таким чином, визначаючи раціональний режим і схему роботи абразивного армованого круга, слід брати до уваги вплив теплових процесів.

Залежно від технологічних вимог абразивні армовані круги під час ремонтних і монтажних робіт використовують для різання з водяним



охолодженням або без примусового охолодження. Обираючи матеріал і конструкцію армувальної сітки, а також склад полімерної матриці, треба зважати на вплив інтенсивності теплообміну на працездатність абразивних інструментів.

Стабільна робота абразивного круга залежить від фізико-механічних властивостей армувальної сітки, яка повинна видалятися з різальної кромки в процесі експлуатації.

Вплив теплових процесів на вибір матеріалу армувальної сітки був підтверджений в результаті визначення температури в зоні контакту. Під час різання з водяним охолодженням і без нього температура практично однакова і становить залежно від режиму 700-800 °С. Це означає, що внаслідок механічного стирання з різальної кромки можуть бути видалені тільки сітки, температура плавлення (розм'якшення) яких перевищує наведені значення.

Водяне охолодження, знижуючи майже в чотири рази температуру полімерної матриці, істотно впливає не тільки на конструкцію армувальної сітки, а й на склад абразивної маси круга. Інструмент працює стійко, якщо в процесі взаємодії з оброблюваним об'єктом з різальної кромки викришуються затуплені абразивні зерна. Під час різання без охолодження самозаточування круга відбувається в результаті термомеханічного руйнування полімерної матриці, а з водяним охолодженням – переважно внаслідок механічного викришування абразивних зерен. Зважаючи на різний механізм зношення кругів під час роботи з водяним охолодженням і без охолодження, склад їх полімерних матриць потрібно розробляти відповідно до умов експлуатації інструменту.

Зокрема, круги для різання з водяним охолодженням можуть бути виготовлені шляхом збільшення пористості полімерної матриці абразивного круга. Такі абразивні армовані інструменти можна використовувати, наприклад, для різання каменю міцністю, що не перевищує 25 МПа. За більшої міцності оброблюваного об'єкта абразивні зерна стають тупими внаслідок меншої кількості ударних навантажень, що негативно позначається на самозаточуванні абразивного армованого круга і, як наслідок, його працездатності.

Згадані недоліки можуть бути значною мірою усунені шляхом зниження теплостійкості полімерної матриці на межі із зерном. У цьому випадку зношення круга відбувається не тільки в результаті механічного

викришування абразивних зерен з полімерної матриці, а й внаслідок її термічного руйнування. Завдяки таким абразивним армованим кругам можна виконувати ефективне різання каменю міцністю майже 60 МПа.

У разі **охолодження круга повітрям** з метою збільшення тепловіддачі зростає надходження кисню в зону контакту, що спричинює інтенсивне зношення абразивного круга. Доцільно охолоджувати абразивний круг дисперговою водою в струмені повітря, але такий спосіб малоефективний під час роботи ручними і переносними машинами.

Абразивні армовані круги, які використовують як різальні інструменти ручних і переносних машин, призначені для роботи з максимальною коловою швидкістю 80 м/с, оскільки її збільшення лімітується підвищенням шумових і вібраційних навантажень. Різання з швидкістю 100 м/с рекомендується тільки на металоємних стаціонарних верстатах. Подальше підвищення робочої швидкості супроводжується інтенсивним зношенням круга внаслідок передчасного викришування абразивних зерен з полімерної матриці.

Вплив окружних швидкостей і подачі на працездатність кругів визначають в умовах, яких реально досягають під час роботи ручними і переносними машинами.

Наприклад, під час різання на швидкості подач, меншій за  $3,3 \cdot 10^3$  м/с, якість поверхні незадовільна внаслідок утворення пропікань та задирок. За більшої подачі зростає швидкість просування фронту високих температур, що позитивно позначається на якості поверхні різі. З наведених залежностей видно, що за більшої швидкості подачі (від  $3,3 \cdot 10^3$  до  $8,3 \cdot 10^3$  м/с) і постійної робочої швидкості зносостійкість круга зменшується в 1,4-1,6 рази, а за робочої швидкості від 80 до 40 м/с – у 1,8-2 рази. Це пояснюється тим, що кожне абразивне зерно, знімаючи велику стружку, інтенсивніше викришується з полімерної матриці. Збільшивши розміри абразивного зерна, можна підвищити зносостійкість абразивного круга, оскільки при цьому створюється сприятливіший тепловий режим.

Зносостійкість залежить від жорсткості вузла шпинделя машини.

Відмінність схеми вузлів шпинделів ручних, стаціонарних машин і маятникових пил (рис. 5.4) одна від одної полягає в довжині консолі  $l_{\text{КОН}}$ , на якій розміщено круг, й у відстані  $l_{\text{ОП}}$  між опорами.

Жорсткість вузла шпінделя з двома підшипниковими опорами визначають за формулою:

$$\gamma = \left( \frac{K}{\gamma_{\text{ОП}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{КОН}}} + \frac{1}{\gamma_1} \left( 1 + \frac{1}{K} \right)^2 + \frac{1}{\gamma_2} \cdot \frac{1}{K^2} \right)^{-1}, \quad (5.11)$$

де  $\gamma_{\text{ОП}} = 3E_{\text{М}}I_1$  – коефіцієнт жорсткості вала в просвіті між  $l_{\text{ОП}}^3$  опорами, Н/м;  $E_{\text{М}}$  – модуль пружності матеріалу вала, Па;  $\gamma_{\text{КОН}} = 3E_{\text{М}}I_2$  – коефіцієнт жорсткості вала шпінделя на  $l_{\text{ОП}}^3$  консолі, Н/м;  $K = l_{\text{КОН}}$  – коефіцієнт, який характеризує відстань  $l_{\text{ОП}}$  між опорами;  $I_1$  – момент інерції перетину валу шпінделя в просвіті, м<sup>4</sup>;  $I_2$  – момент інерції перетину вала шпінделя на консолі, м<sup>4</sup>;  $\gamma_1, \gamma_2$  – коефіцієнти жорсткості підшипникових опор, Н/м.

Відповідно до виразу (5.11) найбільше жорсткість вузла шпінделя залежить від величин  $l_{\text{КОН}}, K, I_1$  і  $I_2$ , тобто вона може варіюватися залежно від довжини консолі і відстані між опорами. Зокрема, зносостійкість абразивних армованих кругів зумовлена жорсткістю вузла шпінделя під час роботи в ідентичних умовах ручною шліфувальною машиною, встановленою в пристосуванні (І зона), маятниковою пилою (ІІ зона) і на стаціонарному верстаті (ІІІ зона) (рис. 5.4). Очевидно, що за  $\gamma = 2 \cdot 10^6$  Н/м коефіцієнт шліфування близький до нуля, оскільки в цьому випадку круги внаслідок значних вібраційних навантажень руйнуються. Таким чином, не слід зменшувати масу машини за рахунок шпіндельного вузла, жорсткість якого повинна бути по можливості максимальною.

Під час роботи ручними машинами слід унеможливити заклинювання абразивних армованих кругів в процесі різання. Розглянемо причини, які викликають заклинювання.

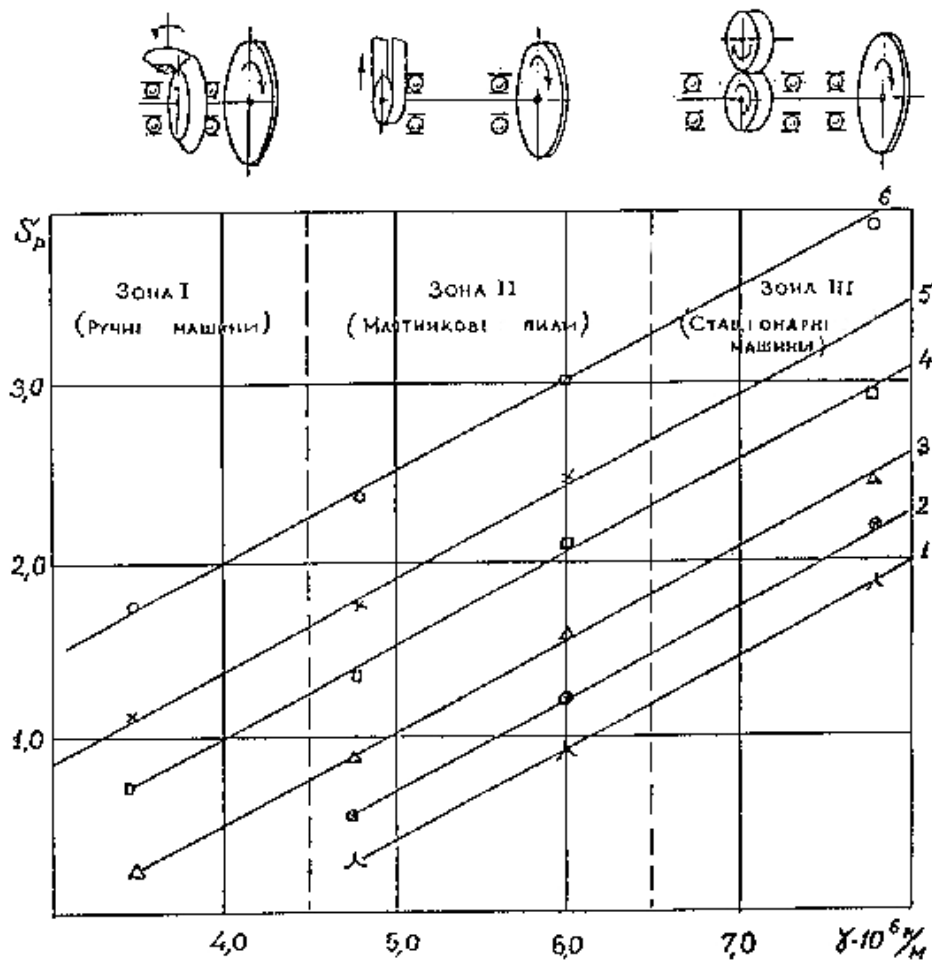


Рис. 5.4. Залежність зносостійкості кругів ( $S_p$ ) від жорсткості вузла шпинделя ( $\gamma$ ):

1, 3, 5 –  $V_p = 60$  м/с; 2, 4, 6 –  $V_p = 80$  м/с; 1, 2 – різання труби  $\text{Ø}57 \times 4$  мм;  
3, 4 – різання труби  $\text{Ø}27 \times 3$  мм; 5, 6 – різання труби  $\text{Ø}21,3 \times 3,2$  мм

Для виконання ремонтних і монтажних робіт металопрокат закріплюють звичайно у двох точках, розміщених досить далеко від місця різання. Обираємо для аналізу деталь прямокутного перетину завдовжки  $l_0$ , оскільки в цьому випадку математичні формули мають найпростіший вигляд, а результат може бути перенесений на металопрокат будь-якого профілю. Під дією власної ваги деталь провисає, а її первинна довжина змінюється на величину  $\Delta l_0$  (рис. 5.5), яка безпосередньо визначається за законом Гука.

$$l_1 = l_0 + \Delta l_0 = l_0 \left( \frac{M_g g}{a \cdot b \cdot E_g} + 1 \right), \quad (5.12)$$

де  $M_g$  – маса деталі, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $a \cdot b$  – площа поперечного перетину деталі,  $\text{м}^2$ .

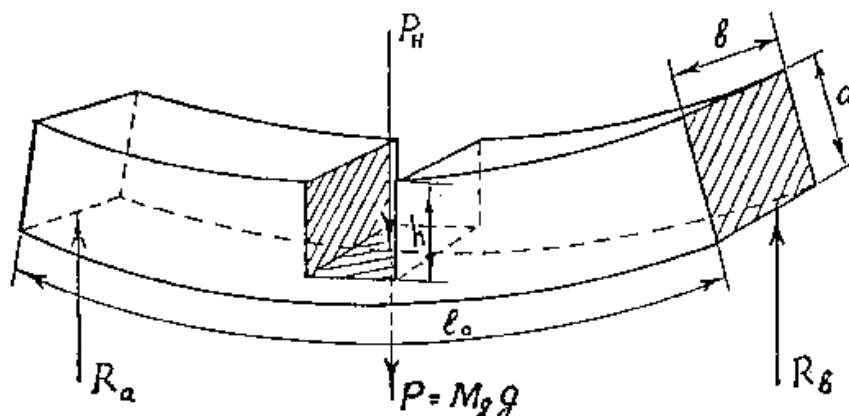


Рис. 5.5. Схема сил, які діють на розрізаний об'єкт

У випадку, коли деталь перерізують посередині, на неї діє додаткова сила врізання  $P_B$ . За глибини пропилювання, рівній  $h$ , навантаження сприймає нерозрізана частина деталі, площа перетину якої дорівнює  $b(a-h)$ . Збільшення довжини  $\Delta l_1$  деталі на глибині  $h$  становить:

$$\Delta l_1 = l_1 \frac{g M_g + P_B}{E_g b (a - h)} = l_0 \left( 1 + \frac{g M_g + P_B}{a \cdot b E_g} \right) \frac{g M_g + P_B}{E_g b (a - h)}. \quad (5.13)$$

Зважаючи на те, що  $g M_g = l_0 a b \rho_{\text{КР}} g$ , з виразу (5.13) маємо:

$$\Delta l_1 = l_0 \left( 1 + \frac{g \rho_g l_0}{E_g} \right) \frac{g M_g + P_B}{E_g b (a - h)}. \quad (5.14)$$

Із залежності (5.14) випливає, що величина звуження пропилу  $\Delta l_1$  не залежить від його ширини і прямопропорційна довжині провислої частини деталі  $l_0$ . Під час ремонтних і монтажних робіт в більшості випадків виконують різання сталевого прокату, для якого  $\rho_g = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  і  $E_g = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Па}$ , тобто

$$g l_0 \frac{\rho_g}{E_g} = l_0 \cdot 9,81 \frac{7,85 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^7} = 5,1 \cdot 10^{-3} l_0.$$

Таким чином, у процесі оброблення металопрокату значної довжини заклинювання круга почнеться безпосередньо під час його врізання, а саме коли  $g\rho_g \frac{l_0}{E_g} \ll 1$  (множник  $1 + g\rho_g \frac{l_0}{E_g}$  можна опустити). Розглянемо другий член  $\frac{gM_g + P_B}{E_g b(a-h)}$ . За  $gM_g \gg P_B$

формула (5.14) може бути представлена у вигляді:

$$\Delta l_1 = l_0 \left( 1 + \frac{g\rho_g l_0}{E_g} \right) \frac{g\rho_g l_0 \cdot a \cdot b}{E_g b(a-h)} = \left( 1 + \frac{g\rho_g l_0}{E_g} \right) \frac{g\rho_g l_0^2 \cdot a}{E_g (a-h)}. \quad (5.15)$$

З огляду на квадратичну залежність  $\Delta l_1$  від  $l_0^2$  відстань між точками закріплення розрізуваного металопрокату повинна бути мінімальною. У міру врізування абразивного круга зростає ймовірність його заклинювання, оскільки  $(a-h)$  знаходиться в знаменнику. За  $a \approx h$  деформація збільшується непропорційно навантаженню, оскільки опиняється за межею застосування закону Гука. З цієї причини відбувається утворення задирок на торцях металопрокату. У випадку, коли  $gM_g \ll P_B$ , причиною заклинювання інструмента є дія сили врізування. На практиці така ситуація виникає під час різання тонкостінних виробів, вага яких є невеликою. Внаслідок виходу за межі закону Гука, тобто значних напруг, відбувається утворення задирок.

Можливі й інші причини заклинювання круга, не пов'язані зі способом закріплення оброблюваного об'єкта, а зумовлені механізмом роботи абразивного круга. Розглянемо деякі з них.

Ділянку круга в пропилі, можна розглядати як балку, на яку діють дві зустрічно спрямовані сили – та, що здійснює подачу, і реакція врізування. Вони згинають круг, що призводить до його заклинювання, ймовірність якого зростає в міру збільшення глибини врізування і наближення точки посередині між різальною кромкою і затискним фланцем. У цій точці амплітуда відхилення максимальна відносно пропилю.

У процесі різання виникають коливальні круги, що також можна розглядати як одну з імовірних причин заклинювання. Ці рухи пояснюються тим, що абразивні зерна розміщені несиметрично відносно

центральної осі і результаційна сила не дорівнює нулю, а також дисбалансом круга, неточністю його закріплення на осі машини, недостатньою жорсткістю вузла шпинделя і деякими іншими причинами. Слід мати на увазі, що під дією подачі круг переміщується поступально, а в сукупності поступальний і коливальний рух приводять до синусоїдального, через що різ виходить хвилястим. Оскільки потім різ вирівнюється бічною поверхнею круга, її будова має безпосереднє відношення не тільки до заклинювання, а й до якості обробки.

Відрізнi абразивні круги з гладкими бічними поверхнями мають тенденцію до заклинювання, втрати стійкості внаслідок тривалого перебування в пропилі, до утворення пропікань на розрізуваних поверхнях. Уникнути згаданих недоліків можна шляхом заміни конфігурації бічних поверхонь кругів, при цьому найбільш ефективними є круги з шорсткими бічними поверхнями.

Ефективна потужність приводної машини пропорційна потужності роботи одиничного зерна:

$$N_{\text{ЕФ}} = q_i^0 \frac{N_K}{2\pi R_0} l_K, \quad (5.16)$$

де  $q_i^0 \frac{A_0}{\tau_P} \frac{2\pi R_0}{N_K \tilde{l}_K}$  – потужність, потрібна для роботи одиничного зерна,

Вт;  $N_K$  – кількість абразивних зерен на різальній кромці круга;

$A_0$  – енергія, що витрачається на різання, Дж;  $\tau_P$  – час різання, с.

З залежності (5.16) видно, що потужність приводу прямопропорційна довжині дуги контакту: чим вона більша, тим більша кількість абразивних зерен круга, які беруть участь у знятті стружки. Встановлено, що мінімальних значень довжини дуги контакту і потужності, а також максимальної зносостійкості абразивного круга (рис. 5.6) можна досягти завдяки різанню профільного прокату за схемою 3, але в такому разі одночасно зменшується і продуктивність. Однак визначальним є не зниження продуктивності, а зменшення потужності, яка безпосередньо пов'язана з масою ручної або переносної машини і повинна бути по можливості мінімальною. Зважаючи на те, що коефіцієнт використання таких машин на ремонтних і монтажних роботах становить 0,2-0,4, збільшення часу обробки може бути компенсоване досконалішою конструкцією затискних пристроїв.

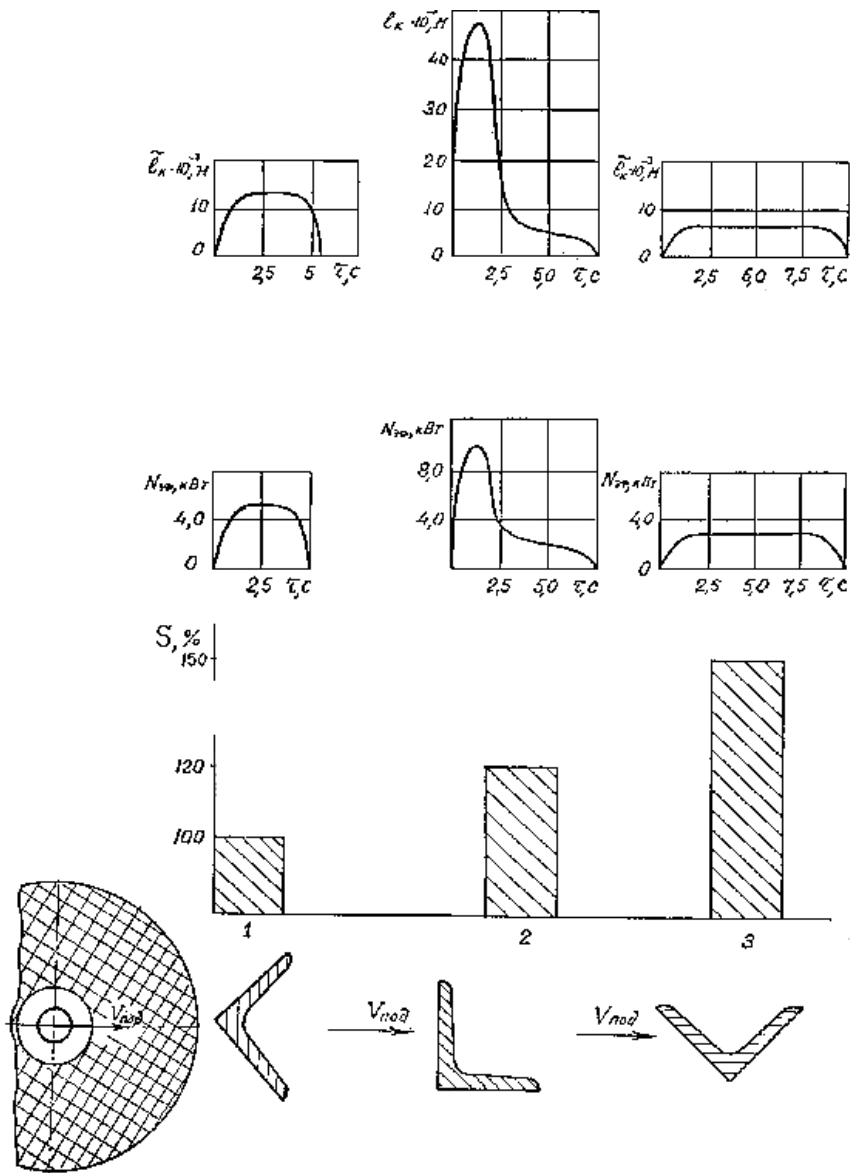


Рис. 5.6. Залежність довжини дуги контакту ( $\tilde{l}_K$ ), потужності ( $N_{E\Phi}$ ) і зносостійкості круга ( $S_P$ ) від схем різання

Потужність приводу може бути зменшена також шляхом збільшення довжини різання, тобто часу роботи. Для цього застосовують схеми різання, коли вісь труби зміщена відносно напрямку руху до центра круга на кут  $\phi$  (рис. 5.7). Скориставшись відомою аналогією абразивного круга з дисковою фрезою, розглянемо роботу одного її зуба.



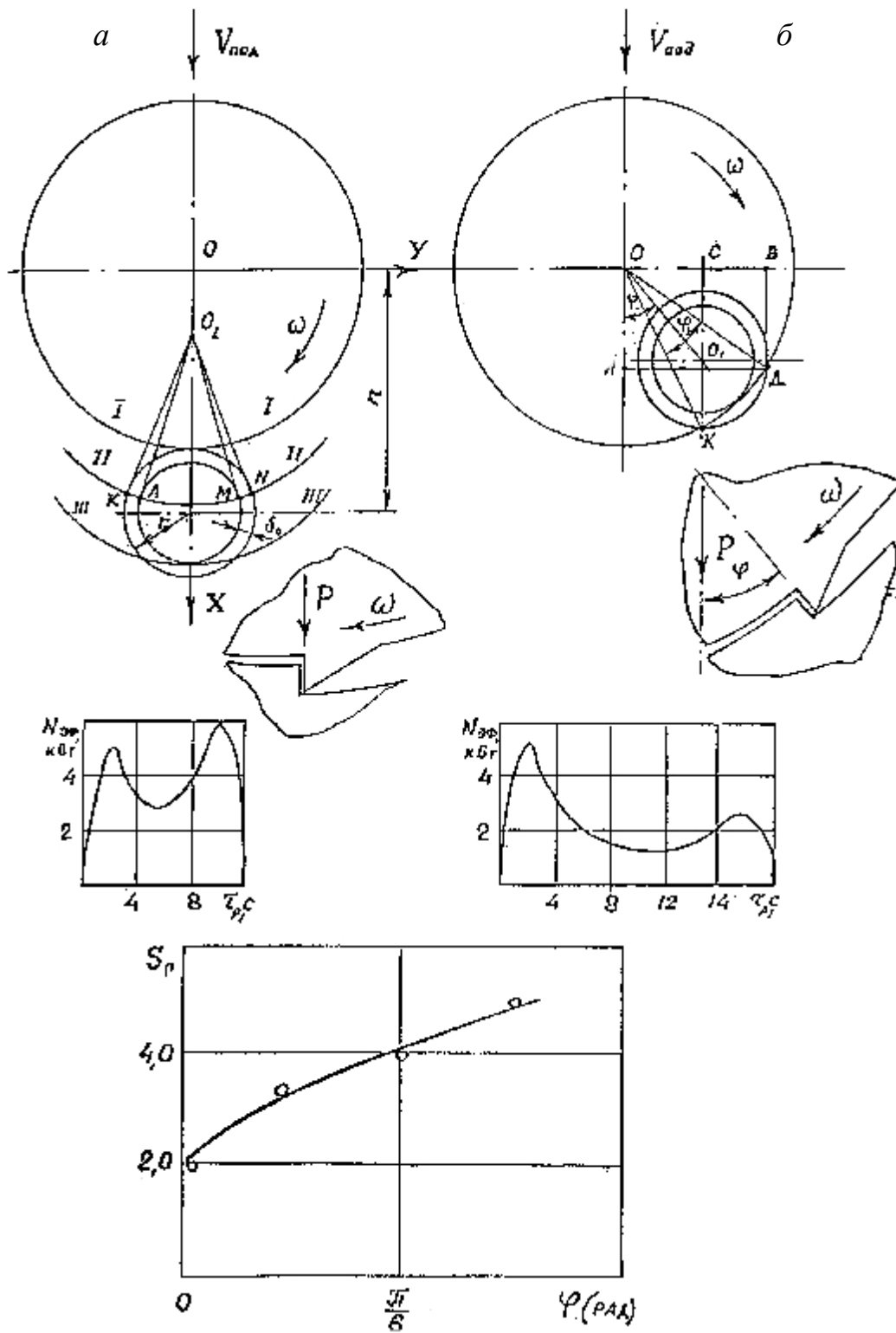


Рис. 5.7. Залежність потужності ( $N_{E\Phi}$ ) і зносостійкості ( $S_P$ ) від взаємного розміщення круга й об'єкта обробки:  
 1 – круг; 2 – об'єкт обробки

Якщо різання виконувати без зсуву осі труби, зусилля робітника витрачається переважно на деформацію стружки, оскільки збігається з

нормальною складовою зусилля різання. В цьому випадку робота різання становить

$$A_0 = \sum_{i=1}^n P_{zi} \omega R_0, \quad (5.17)$$

де  $n$  – кількість зерен, які беруть участь у роботі;  $P_{zi}$  – сила, яка діє на одиничне зерно, Н.

У разі різання під кутом  $\varphi$  (рис. 5.7, б) довжина дуги контакту не змінюється, але за однакових умов збільшується навантаження на оператора та зменшується кількість енергії, яка витрачається безпосередньо на різання:

$$A_{\gamma} = A_0 = \frac{P_{\text{РОБ}}}{n} \omega R_0 \cos \varphi. \quad (5.18)$$

У процесі роботи за запропонованою схемою зменшується не тільки енергоємність різання, а й зношення абразивного круга. Це пояснюється меншою товщиною знятої стружки і перерозподілом максимальних термічних навантажень на круг, коли він ще «холодний», тобто в першому положенні.

Взаємозв'язки між параметрами абразивних армованих кругів і навколишнього середовища виявляють не тільки в природних, а й у штучних (лабораторних) умовах. Пояснюється це тривалістю натурних випробувань, непостійністю дослідних параметрів і, як наслідок, незадовільною повторюваністю результатів.

**Лабораторні дослідження**, які імітують натурні, виконують за допомогою камери штучної погоди, низькотемпературного стола, термоклава й ультрафіолетового випромінювання.

Випробування на термостійкість виконували в інтервалі температур  $-60 \dots -55$  °С протягом 24-240 годин. Виявлено, що міцність і зносостійкість кругів знижуються за температур, нижчих від 0° С (рис. 5.8). Це пояснюється пошкодженням структури абразивного інструмента внаслідок утворення мікротріщин через замерзання води в його порах. Під час транспортування абразивних армованих кругів в осінньо-зимовий період цикл «замерзання – розмерзання» повторюється неодноразово. Після розмерзання мікротріщини заповнюються водою, а внаслідок замерзання їх кількість збільшується. Таким чином, чим більше циклів «замерзання – розмерзання», тим нижчі міцнісні й експлуатаційні характеристики абразивних армованих кругів, що і було

підтверджено в процесі експериментальних досліджень. Зокрема, після п'ятох циклів механічна міцність кругів зменшується майже на 30%, а зносостійкість – на 20%.

Досліджено також вплив відносної вологості в діапазоні від 20 до 100% за фіксованої температури. Зносостійкість і міцність кругів

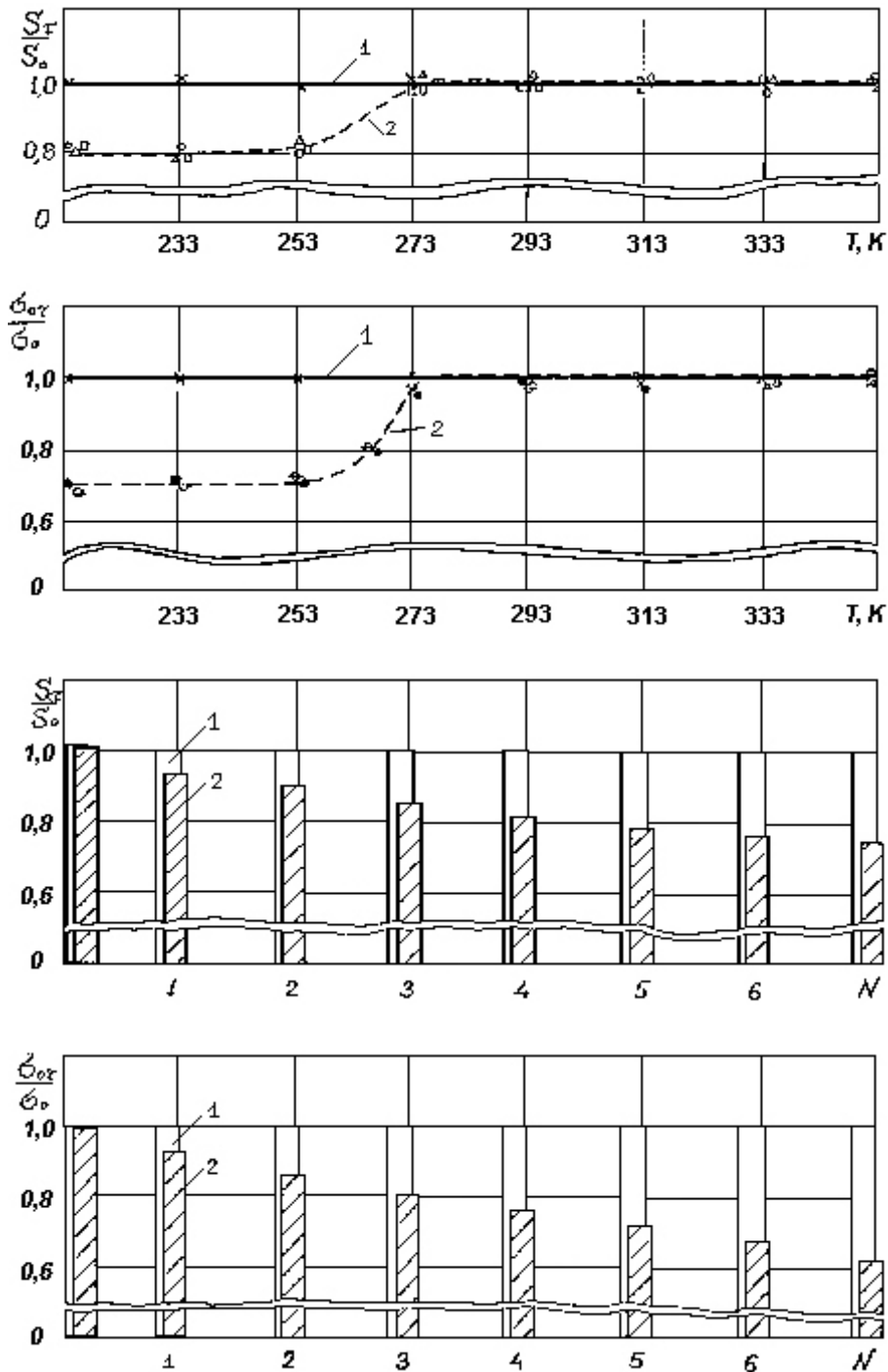


Рис. 5.8. Залежність зносостійкості ( $S_r / S_0$ ) і міцності ( $\sigma_{or} / \sigma_0$ ) кругів від температури ( $T$ ) і кількості циклів «замерзання – розмерзання» ( $N$ )

зменшуються за вологості, яка перевищує 80%, це означає, що їх треба зберігати в сухих опалюваних приміщеннях.

$S_0$  і  $\sigma_0$  – зносостійкість і межа міцності еталонних кругів,  $S_t$  і  $\sigma_{0r}$  – тих, які зазнали впливу кліматичних чинників. 1 – у поліетиленовому пакеті; 2 – без пакета.

Несприятливий вплив вологи на якість абразивних армованих інструментів підтверджено в процесі випробування чотирьох партій кругів (по 120 штук) в природних кліматичних умовах. Перша, залишена просто неба, протягом дванадцятьох місяців зазнавала прямої дії атмосферних опадів, сонячної радіації і перепаду температури. Другу партію в заводській упаковці і третю, на відміну від першої, розмістили під навісом, який захищав від прямої дії природних чинників, а четверту – в опалюваному складському приміщенні. У процесі випробувань виявлено, що міцність і зносостійкість перших трьох партій кругів зменшилася майже на 50%, тоді як аналогічні показники інструментів, котрі зберігали на складі, залишилися практично незмінними.

Максимальна інтегральна густина теплового потоку сонячного випромінювання становить  $1125 \text{ Вт/м}^2$ , зокрема від ультрафіолетової частини спектра, яка справляє найістотніший вплив на властивості полімерів, –  $68 \text{ Вт/м}^2$ . Ультрафіолетовий випромінювач забезпечував на відстані один метр в 6,1-6,3 рази вищу густина потоку. Під впливом сонячного випромінювання в полімерних композиціях відбуваються реакції деструкції, що призводить до подальшого зменшення молекулярної ваги. Це погіршує механічні характеристики матеріалу і структуризації, в процесі якої утворюються поперечні хімічні зв'язки між макромолекулами і збільшується крихкість полімеру. Відомо, що ці процеси можуть відбуватися одночасно, внаслідок чого властивості полімерної композиції стабілізуються. Імовірно аналогічні реакції відбуваються в матрицях абразивних кругів. Проте не виявлено впливу ультрафіолетового випромінювання на міцнісні та експлуатаційні показники абразивних армованих кругів.

З'ясовано, що волога справляє негативний вплив на міцнісні й експлуатаційні характеристики абразивних кругів. Це пояснюється зменшенням за наявності вологи молекулярної взаємодії між абразивними зернами, матрицею і склосіткою. З метою підвищення

економічної ефективності абразивних армованих кругів, яка значною мірою визначається зносостійкістю, а також їх безпеки в експлуатації рекомендується запаковувати круги в герметичні поліетиленові пакети. Завдяки цьому унеможливають негативний вплив вологи і перепадів температури на якість абразивного круга, оскільки конденсат з навколишнього середовища не проникає в полімерну матрицю абразивного інструменту.

Ефективна потужність приводної машини пропорційна потужності, яка витрачається під час роботи одиничного зерна:

$$N_{\text{ЕФ}} = \frac{q_i^0 N_K l_K}{2\pi R_0},$$

де  $q_i^0 = \frac{A_0}{\tau_P} \frac{2\pi R_0}{N_K l_K}$  – потужність, що витрачається на роботу одиничного

зерна, Вт;  $N_K$  – кількість абразивних зерен на різальній кромці круга;

$A_0$  – енергія, що витрачається на різання, Дж;  $\tau_P$  – час різання, с.

З залежності впливає, що потужність приводу прямопропорційна довжині дуги контакту: чим вона більша, тим більше абразивних зерен круга беруть участь у знятті стружки. Мінімальні значення довжини дуги контакту і потужності, а також максимальна зносостійкість абразивного круга можуть бути досягнуті в разі різання профільного прокату за схемою 3, але в такому випадку одночасно зменшується і продуктивність. Проте зниження продуктивності не є визначальним чинником, а зменшення потужності, що витрачається, безпосередньо пов'язаної з масою ручної або переносної машини, повинне бути по можливості мінімальним. Зважаючи на те, що коефіцієнт використання машин на ремонтних і монтажних роботах становить 0,2-0,4, збільшення часу оброблення може бути компенсоване завдяки досконалішій конструкції затискних пристроїв.

**Найпоширенішим способом є різання за один прохід.**

Величину довжини дуги контакту  $l_{K1}$  під час різання за один прохід отримаємо, розв'язавши систему рівнянь, що описують взаємне розміщення круга і розрізуваної труби:

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 &= R_0^2, \\ x^2 + O_1 B^2 &= r_0^2, \end{aligned}$$

де  $O_1B = OO_1 - Y = R_0 + r_0 - h_0 - Y$ ,

$$l_{K1} = 2R_0\varphi_1 = 2R_0 \arccos \left[ 1 - \frac{2r_0h_0 - h_0^2}{2R_0(R_0 + r_0 - h_0)} \right].$$

З огляду на те, що  $R_0 + r_0 \gg h_0$ ;  $2r_0h_0 \gg h_0^2$ ;  $h_0 \ll R_0$ :

$$l_{K1} = 2 \sqrt{\frac{2r_0h_0}{1 + \frac{r_0}{R_0}}}.$$

Максимальна довжина дуги контакту в першому положенні за  $h_0 = \delta_0$  становить:

$$l_{K1} = 2 \sqrt{\frac{2r_0\delta_0}{1 + \frac{r_0}{R_0}}}. \quad (5.19)$$

Аналогічно для третього положення довжина дуги контакту дорівнює:

$$l_{K3} = 2R_0\varphi_1 = 2R_0 \arccos \left[ 1 - \frac{2r_0h_0 - h_0^2}{2R_0(R_0 - r_0 + \delta_0)} \right].$$

Оскільки  $h_0 = 2r_0 - \delta_0$  і  $R_0 - r_0 \gg \delta_0$ , то

$$l_{K3} = 2 \sqrt{\frac{2r_0\delta_0}{1 - \frac{r_0}{R_0}}}. \quad (5.20)$$

Порівнявши вирази (5.19) і (5.20) одержимо  $l_{K1} < l_{K3}$ , тобто довжина дуги контакту в першому положенні менша, ніж у третьому.

Щодо другого положення, то можна вважати, що  $l_{K2} \approx 2\delta_0$ , звідки випливає співвідношення  $l_{K2} < l_{K1} < l_{K3}$ .

У разі **різання за методом обкатування** довжина дуги контакту становить:

$$l_{\text{ОБК}} \approx R_0 \arccos \left[ 1 - \frac{2r_0h_0 - h^2}{2R_0(R_0 - r_0 - h_0)} \right].$$

Порівнявши вирази (5.19) і (5.20), доходимо висновку, що процес різання труб обкаткою удвічі енергоємніший. Проте численні спроби створити пристрої для різання труб обкаткою не були практично реалізовані, через те що в пропилі місце врізування круга в трубу і місце виходу з неї не збігаються. В разі обертання труби і нерухомого круга машини мають велику масу, тобто придатні тільки для стаціонарних умов.

Потужність приводу може бути зменшена також шляхом збільшення довжини різання, тобто часу роботи. Для цього має бути застосована схема різання, за якої вісь труби зміщена відносно напрямку руху центра круга на кут  $\varphi$ . Для випадку використання аналогічного абразивного круга з дисковою фрезою розглянемо роботу одного її зуба.

У разі **різання без зсуву** осі труби зусилля робітника витрачається переважно на деформацію стружки, оскільки збігається з нормальною складовою зусилля різання. Тоді робота різання становить:

$$A_0 = \sum P_{zi} \omega R_0,$$

де  $n$  – кількість зерен, що беруть участь у роботі;  $P_{zi}$  – сила, яка діє на одиничне зерно, Н.

У разі роботи під кутом  $\varphi$  довжина дуги контакту не змінюється, але за інших однакових умов збільшується навантаження на оператора і зменшується кількість енергії, яка витрачається безпосередньо на різання:

$$A_\varphi = A_0 - \frac{P_{РАБ}}{n} \omega R_0 \cos \varphi,$$

де  $P_{РАБ}$  – зусилля робітника за ручної подачі, Н.

У процесі роботи за запропонованою схемою зменшується не тільки енергоємність різання, а й зношення абразивного круга. Це пояснюється зменшенням товщини знятої стружки і перерозподілом термічних максимальних навантажень на круг, коли він ще «холодний», тобто в першому положенні.

Однією з масових операцій з монтажу неметалічних трубопроводів є різання пластмасових труб, наприклад, для монтажу 1 км трубопроводів потрібно виконати близько 1000 різів.

Застосовуваний нині різальний інструмент (механічна ножівка, стрічкова або дискова пила) не дає змоги досягти достатньої

прямолінійності і точності різання, уникнути тріщин на поверхні різа. Крім того, через періодичні переточування, зумовлені затупленням інструмента, знижується продуктивність праці.

Під час різання абразивними армованими кругами труб з поліетилену високої густини (ПВГ), поліетилену низької густини (ПНГ), вініпласту і поліпропілену якість роботи визначають за наявністю оплавлень (візуально) і шорсткістю поверхні різа.

Найкращих результатів досягають завдяки застосуванню кругів з карбіду кремнію чорного (оплавлення поверхні різа не відбувається), оскільки зерна з цього матеріалу порівняно з електрокорундом гостріші, менш шорсткі, твердіші, крихкіші, мають вищу теплопровідність, що зумовлює нижчу температуру в зоні контакту.

Зернистість абразиву не справляє істотного впливу на якість поверхні різу.

Для різання пластмас доцільно застосовувати круги з внутрішнім армуванням і шорсткими бічними поверхнями, оскільки завдяки цьому в процесі різання виникає сприятливіший температурний режим.

Високої продуктивності різання абразивним інструментом досягають у режимі застосування максимально допустимої окружної швидкості і подачі. Проте надмірне підвищення окружної швидкості і подачі призводить до оплавлення розрізуваної пластмасової труби, що пояснюється, очевидно, виникненням високих температур в зоні контакту. Тому раціональні режими різання визначають залежно від якості поверхні різу.

Якість поверхні різу пластмасових труб з вініпласту за будь-якого режиму є задовільною, тоді як досягти потрібної якості різу поліпропіленових труб не вдається, тому перед зварюванням труби з поліпропілену слід торцювати. Найвища якість поверхні поліетилену можлива за окружної швидкості 55-65 м/с і швидкості подачі не більш як 1 м/хв. Тому різання поліетиленових труб рекомендовано виконувати з коловою швидкістю 65 м/с і швидкістю подачі 1 м/хв, а вініпластових та поліпропіленових труб – відповідно 80 м/с і 1,5 м/хв.

Працездатність, зокрема зносостійкість, абразивних армованих кругів знижується в зимовий період. Крім того, спостерігаються розриви кругів, що призводить до нещасних випадків. Кожен абразивний інструмент відповідно до стандарту перед установленням його на приводну машину потрібно випробовувати у споживача на механічну



міцність. Проте, зважаючи на специфіку монтажних і ремонтних робіт, такої вимоги важко дотримати так само, як і виконувати випробування кругів, які закуповує населення. З огляду на це досліджено можливість відмовитися від випробування на механічну міцність і домогтися отримання гарантованих заводом міцнісних параметрів.

У процесі дослідження виявлено, що однією з можливих причин зниження міцнісних й експлуатаційних показників абразивних армованих кругів, які являють собою складну полімерну композицію, є шкідливий вплив на них різноманітних кліматичних чинників у процесі транспортування і зберігання на монтажних майданчиках.

Основними чинниками, що впливають на робочі характеристики фенолформальдегідних смол, є температура навколишнього середовища, відносна вологість повітря, сонячна радіація і тривалість зберігання. Вплив на властивості абразивних інструментів досліджено в лабораторних умовах, що імітують природні, оскільки натурні випробування досить тривалі і вирізняються поганою відтворюваністю результатів.

Вплив вологи визначали, занурюючи круги, заздалегідь зважені з точністю до  $0,01 \dots 10^{-3}$  кг, в ексикатори, заповнені водою кімнатної температури. Через 2, 4, 6, 8, 24, 48, 72 і 120 годин витримування у воді круги зважували і їх вологопоглинання  $B$  визначали за формулою:

$$B = \frac{m_t - m_0}{m_0} 100\% ,$$

де  $m_t$  і  $m_0$  – маса круга відповідно у момент випробувань і в початковий момент.

Дослідження впливу відносної вологості на якість абразивних кругів провадили в камері штучної погоди в діапазоні значень від 20 до 100% за фіксованої температури.

Вплив температури навколишнього середовища в інтервалі від 213 К до 328 К на якість абразивних кругів визначали в лабораторних умовах за допомогою низькотемпературного стола і термоклава.

Кожну партію кругів (10 штук) випробовували за різної температури (328 К, 293 К, 278 К, 273 К, 268 К, 263 К, 253 К, 243 К, 233 К, 223 К, 213 К) протягом 24, 48, 72, 120 і 240 годин.

Моделювання впливу кліматичних чинників під час транспортування кругів у зимовий період відбувалося в таких температурних інтервалах: 283К-268К, 278К-268К, 278К-263К, 278К-253К.

Коефіцієнт шліфування ( $S$ ), що характеризує зносостійкість кругів, визначали за формулою

$$S = \frac{4Z F_{\text{ПР}}}{\pi(D_0^2 - D_z^2)},$$

де  $Z$  – кількості різів;  $F_{\text{ПР}}$  – площа поперечного перетину прутка;  $D_0$  – початковий діаметр абразивного круга;  $D_z$  – діаметр круга після  $Z$  різів.

Захист інструменту від шкідливого впливу погодних чинників шляхом застосування упаковки з термоусадкової поліетиленової плівки дає змогу відмовитися від дорогих випробувань на механічну міцність у виробничих організаціях, тобто зменшити витрати, пов'язані з експлуатацією абразивних інструментів.

## **5.2. Міцність та експлуатаційні параметри абразивних армованих кругів**

Безпека робітника залежить від міцності абразивного армованого круга, на який в процесі роботи діють відцентрова ( $P_{\text{Ц}}$ ), тангенціальна ( $P_z$ ), нормальна ( $P_y$ ) і згинальна ( $F$ ) сили (рис. 5.9). Розрахунок міцності круга має переважно оцінювальний характер, оскільки для характеристики такої складної системи з метою отримання конкретного результату доводиться вводити значну кількість допущень. Розглянемо докладніше вплив згаданих сил на міцність круга.

**Відцентрові зусилля** виникають під час обертання круга, прискорення на його різальній кромці дорівнює відношенню квадрата робочої швидкості до радіуса інструмента. За робочої швидкості 80м/с в крузі виникають значні розтягувальні напруги ( $P_R$ ). Їх максимальна величина на зовнішньому діаметрі затискного фланця може сягати величин, порівнянних з межею міцності матеріалу круга.

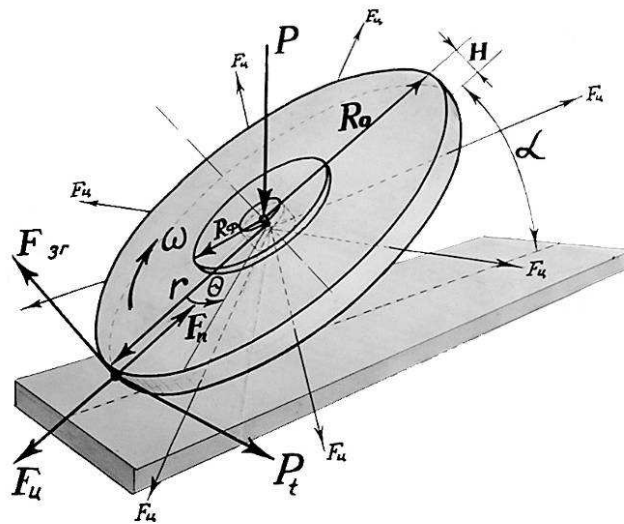


Рис. 5.9. Схема зусиль, які діють на круг

На зачисні круги під час їх роботи постійно діють згинальні зусилля ( $F$ ), прикладені в місці зіткнення круга з оброблюваним матеріалом. У процесі роботи ручними шліфувальними машинами можливе заклинювання або перекіс відрізних кругів, у таких випадках виникають також згинальні сили, які діють на круг. Унаслідок дії згинальних напруг, якщо їх величина сягає межі міцності матеріалу круга, найвірогіднішим місцем поломки є ділянка поблизу затискного фланця.

**Тангенціальні зусилля** зумовлені тертям різальної кромки диска об розрізуваний матеріал і спрямовані у бік, протилежний відцентровому. Оскільки у небезпечній зоні біля затискного фланця тангенціальні напруги значно менші, ніж гранично допустимі для матеріалу круга, їх можна не брати до уваги. Дотична сила виникає в разі зупинки круга внаслідок заклинювання або різкого розгону. Вона пов'язана з інерційністю інструмента і пропорційна густині круга і прискоренню кутового гальмування або розгону. На практиці ця сила не досягає великих величин і її також можна не брати до уваги з огляду на те, що всі круги випробовують на швидкості обертання, яка в 1,3 – 1,5 рази перевищує робочу, а під час гальмування дотична сила спрямована в бік, протилежний силі, зумовленій тертям диска об розрізуваний матеріал.

Нормальні сили в процесі роботи зачисними і відрізними кругами призводять до стиснення круга. Оскільки причиною руйнування

крихкого матеріалу зазвичай є розтягувальні напруги, нормальні сили можна не брати до уваги.

Від конструкції абразивного армованого круга істотно залежать його міцнісні показники. Вважаючи, що зв'язка круга однорідна, слід визначити вплив армувальної склосітки на міцність інструмента під час дії відцентрових сил.

На спеціальному стенді, який дає змогу працювати з максимальною частотою обертання шпинделя 20 000 об/хв, були визначені деформації, що виникають в кругах з різними схемами армування. Вимірювання деформацій виконували за допомогою плівкових тензорезисторів, вихідні кінці яких під'єднували до ртутного струмознімача, встановленого на шпинделі стенда. Величину деформацій реєстрували за допомогою тензометричного моста.

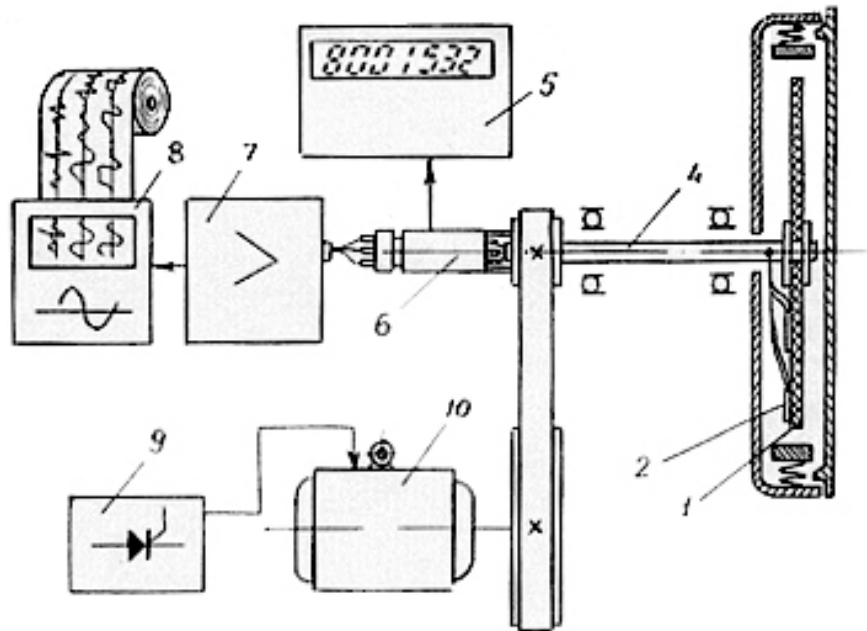
Тензодатчики закріплювали за бічну поверхню круга епоксидною смолою в напрямках, що збігаються по радіусу з волокнами склосітки під кутом 45° до них (рис. 5.10).

Деформації в тангенціальному напрямі вимірювали датчиками 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, а в радіальному – 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16. Виявлено, що в напрямі, який збігається з волокнами склосітки, величина деформацій круга в 1,2 – 1,6 раза менша. У процесі визначення межі міцності на розтягування і модуля пружності на розривній машині виявлено, що максимальну міцність мають зразки кругів, у яких напрям розтягувальних зусиль збігається з напрямом волокон склосітки. Мінімальну міцність мають зразки, в яких волокна склосітки розміщені під кутом 45° відносно до напрямку зовнішнього зусилля.

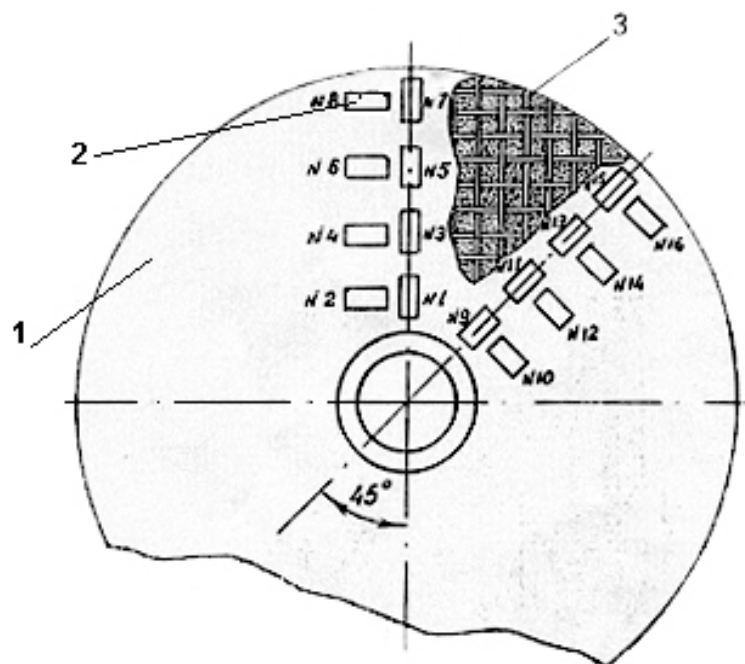
У результаті встановлено, що абразивний армований круг є анізотропним тілом, при цьому спостерігається ортотропія його механічних властивостей. Для визначення напруг, що виникають в крузі під впливом відцентрових сил, можуть бути використані залежності, які застосовують у теорії пружності для розрахунку ортотропних тіл:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_r + \mu\varepsilon_\theta); \\ \sigma_\theta &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_\theta + \mu\varepsilon_r),\end{aligned}\tag{5.21}$$

де  $E=3\text{Ч}10$  кгс/см<sup>2</sup> – модуль пружності матеріалу круга в напрямку волокон склосітки;  $m=0,2$  – коефіцієнт Пуассона;  $\varepsilon_r$  – деформації в радіальному напрямі;  $\varepsilon_\theta$  – деформації в тангенціальному напрямі.



*a*



*б*

Рис. 5.10. Схема стенда (*a*) й установки тензодатчиків (*б*):

1 – абразивний круг; 2 – тензодатчики; 3 – армувальна склосітка; 4 – порожнистий вал; 5 – тахометр; 6 – ртутний струмознімач; 7 – тензопідсилювач; 8 – осцилограф; 9 – блок управління; 10 – електродвигун

Використання цих залежностей ускладнене внаслідок необхідності у кожному конкретному випадку визначати значення модуля пружності і деформацій, які залежать від фізико-механічних властивостей зв'язки і склосітки, її конструкції і режиму роботи інструмента.

Тому для практичних цілей максимальні тангенціальні і радіальні напруги можна розраховувати відповідно до впливу анізотропії за формулами, які використовують для визначення напруги в ізотропному диску:

$$\begin{aligned}\sigma_{\tau} &= \frac{k \gamma \omega^2}{8} (3+\mu) \left( R^2 + r^2 - \frac{R^2 + r^2}{R_1^2} - R_1^2 \right); \\ \sigma_{\theta} &= \frac{k \gamma \omega^2}{8} (3+\mu) \left( R^2 + r^2 + \frac{R^2 + r^2}{R_1^2} - \frac{1+3\mu}{3+\mu} r^2 \right),\end{aligned}\tag{5.22}$$

де  $k$  – коефіцієнт, що відображає анізотропію;  $\gamma = 2,5 \cdot 10^3$  – густина матеріалу круга, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – кутова швидкість, рад/с;  $R$  – зовнішній радіус круга, м;  $r$  – радіус посадкового отвору, м;  $R_1$  – відстань від центра диска до точки, в якій визначають напруження, м.

Варто порівняти експериментальні напруги, визначені за заміряними тензорезистором деформаціями з використанням залежностей, і розрахункові, виведені з формул за  $k=1$  (рис. 5.11). Очевидно, що розрахункові напруження приблизно удвічі менші за експериментальні. Отже, вважатимемо, що у формулах коефіцієнт анізотропії дорівнює двом.

У дослідженні напружень, які виникають від згинальних зусиль, взято до уваги, що круг закріплено жорстко, а максимальний згинальний момент припадає на зовнішній радіус фланця. У цьому місці в разі руйнування круга виникає тріщина.

Згідно з балочною теорією максимальну напругу обчислюють за формулою

$$\sigma_{\max} = \frac{3F(R - R_2)}{h^2 \sqrt{R^2 - R_2^2}},\tag{5.23}$$

де  $F$  – згинальне навантаження на круг, Н;  $R$  – зовнішній радіус круга, м;  $R_2$  – радіус затискного фланця, м;  $h$  – висота круга, м.

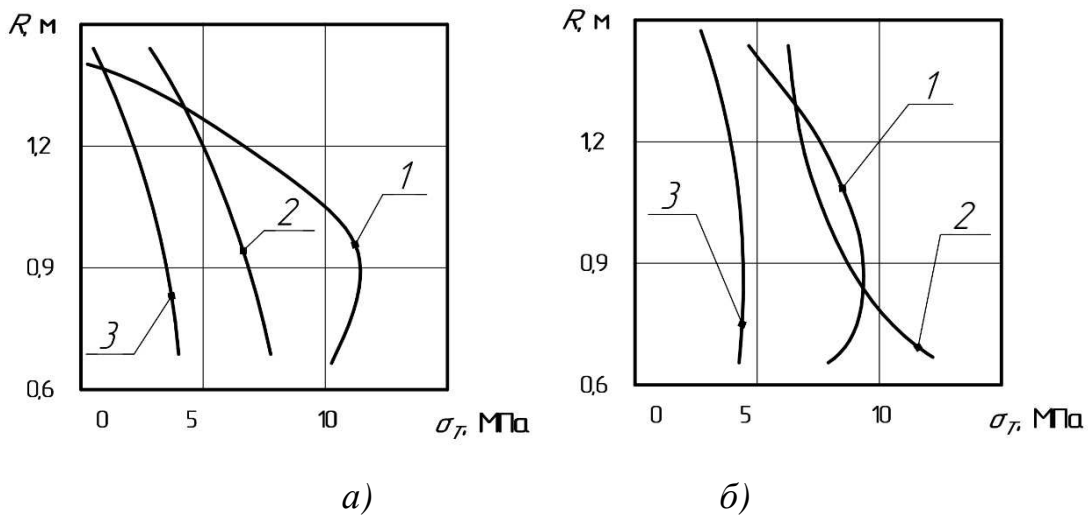


Рис. 5.11. Радіальні (а) й окружні (б) напруги в крузі:

- 1 – експериментальні напруги на радіусі, що збігається з основою склосітки;  
 2 – експериментальні напруги на радіусі, розміщеному під кутом  $\pi / 4$  до основи; 3 – розрахункові напруги

Величина згинальних зусиль залежить від багатьох чинників, зокрема від глибини різання, жорсткості вузла шпинделя приводного механізму, кваліфікації робітника, і може бути визначена експериментальним шляхом.

За залежностями (5.22) і (5.23) можна визначити граничні значення зусиль, які діють на абразивний армований круг, відповідно до його призначення й умов експлуатації. Ці значення не повинні перевищувати меж міцності під час згинання і розтягування, визначених експериментально. Для зачисних кругів слід брати до уваги вплив згинальних і відцентрових зусиль, а для відрізних кругів – відцентрових зусиль.

Підвищити міцність круга можна завдяки застосуванню зв'язних і наповнювачів, які дають змогу збільшити адгезію між абразивним зерном і зв'язкою, а також шляхом вдосконалення конструкції круга і армувальної сітки. В ідеальному випадку, щоб інструмент був рівномірним, для його армування треба застосовувати склосітку, волокна в якій спрямовані по радіусу круга. Через те що склосітку такої конструкції технологічно виготовити неможливо, міцність інструмента можна підвищити, раціонально розмістивши склосітку в крузі.

Зокрема, якщо не відбувається порушення рівності площини інструмента після термообробки, у відрізних кругах, армованих двома склосітками, сітки доцільно розташовувати так, щоб їх волокна були зміщені одна відносно одної на  $45^\circ$ . У зачисних кругах волокна

внутрішніх склосіток слід зміщувати відносно зовнішніх також на  $45^\circ$  (рис. 5.12). Міцність інструмента може бути також збільшена завдяки поліпшенню адгезії склосітки із зв'язкою і застосуванню різних типів склосіток, що дає можливість виконувати армування круга відповідно до його геометричних розмірів та умов експлуатації.

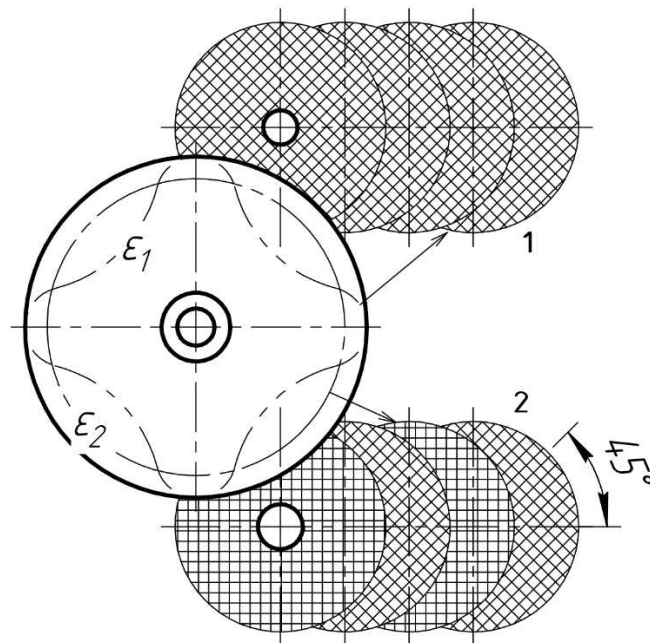


Рис. 5.12. Діаграма розподілу деформацій в крузі за різної орієнтації армувальних склосіток

Таким чином, основними **силовими чинниками, які зменшують міцність абразивних кругів**, є такі:

- а) згинальні і відцентрові навантаження;
- б) найбільшу небезпеку з погляду руйнування становить внутрішня частина робочої поверхні круга поблизу місця його кріплення;
- в) модуль пружності зв'язки круга є значно більшим за модуль пружності склосітки, тому склосітка практично не сприймає навантаження на його початковому етапі до появи тріщини. Роль склосітки полягає у підтриманні суцільності круга після утворення в ньому тріщини;
- г) надійність абразивних кругів істотно знижується внаслідок невідповідності характеристик пружності і міцності полімерної матриці;
- д) для підвищення міцності, безпеки та надійності круга доцільно підсилювати найбільш напружену частину круга.



З метою підвищення безпеки роботи зачисного круга його неробочу поверхню слід армувати склосіткою або склотканиною для підтримання суцільності круга, а також підвищити однорідність властивостей полімерної матриці.

Механічна міцність абразивних армованих кругів залежить не тільки від міцності матеріалу армувальної сітки, а й від міцності її зчеплення з абразивною масою. Розглянемо капілярну модель механізму армування круга (рис. 5.13). У процесі просочування армувальної сітки на заводі-виробнику в капіляри її волокон проникає фенолформальдегідна смола на глибину, залежну від часу просочування, температури, в'язкості смоли та інших чинників. При цьому абразивна маса адгезує не до поверхні, а до смоли, що знаходиться в капілярах волокон. Після термічної обробки між абразивною масою і сіткою, закріплених системою «якорів», утворюється моноліт, який визначає міцність круга. Таким чином, збільшувати міцність сітки недоцільно, якщо вона перевищує міцність «якорів», кількість яких залежить від кількості пор або діаметра волокон сітки. Міцність системи знижується, якщо смола недостатньо глибоко проникла в капіляри волокна, а також через старіння зв'язного внаслідок утворення поверхні розділення фаз, що істотно погіршує адгезію.

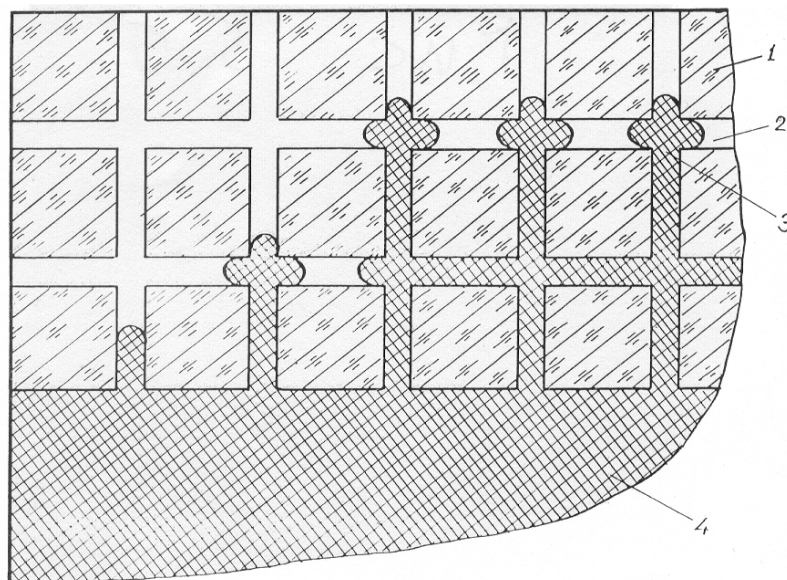


Рис. 5.13. Модель механізму армування:

1 – армувальна сітка; 2 – капіляри; 3 – «якір»; 4 – полімерна матриця

У процесі створення абразивних армованих кругів для ручних машин слід мати на увазі, що зменшення товщини нитки знижує несну здатність сітки, але не внаслідок зміни міцності нитки, а через зменшення площі її поверхні.

Економічність обробки залежить від режиму і способу різання, складу і конструкції круга, а також від геометричних розмірів інструмента, конфігурації і фізико-механічних властивостей розрізуваного виробу. Зносостійкість інструмента і продуктивність різання за інших однакових умов визначаються переважно робочою швидкістю, швидкістю подачі і довжиною дуги контакту круга з матеріалом.

Максимальна зносостійкість інструмента за постійної подачі може бути досягнута в діапазоні робочих швидкостей 80-70м/с і зменшується приблизно вдвічі у разі її зниження до 50 м/с. Це пояснюється тим, що за підвищеної швидкості кожне зерно за один оберт круга виконує меншу роботу і заглиблюється в розрізуваний матеріал на величину, меншу в стільки разів, в скільки збільшувалася робоча швидкість. За меншої робочої швидкості кожне зерно рідше контактує з розрізуваним матеріалом, тобто збільшується товщина стружки і зерно працює з більшим навантаженням, отже, умови для викришування зерен з круга стають вірогіднішими. У міру збільшення товщини стружки зростають сили, які діють на кожне зерно, тому круг швидше зношується під час різання з меншою робочою швидкістю. За швидкості понад 80 м/с навантаження стають такими великими, що спричинюють передчасне викришування зерен із зв'язки, отже, відбувається інтенсивне зношення інструмента. З цих причин всі круги, використані на будівельно-монтажних роботах, призначені для різання з робочою швидкістю 80 м/с. Для підвищення ефективності застосування абразивних інструментів рекомендовано круги діаметром 230, 400 і 500 мм, зношені відповідно до 180, 300 і 400 мм, переставляти на приводні пристрої, що дають змогу надалі експлуатувати їх на робочій швидкості 80 м/с.

Робочій швидкості різання повинна відповідати певна подача. Якщо вона мала, то в зоні контакту відбувається накопичення тепла, що призводить до підвищеного зношення круга, появи задирок та мінливості кольорів на поверхні різку. З підвищенням продуктивності різання, тобто швидкості подачі, зносостійкість круга спочатку дещо зростає внаслідок викришування зерен із зв'язки через збільшення зусиль, які діють на абразивне зерно, а потім зменшується. Зносостійкість також

зменшується, якщо відношення довжини різальної частини круга до всієї довжини його периферії досить велике, оскільки період, протягом якого відбувається охолодження інструмента, недостатній для видалення тепла, акумульованого зв'язкою.

Визначення раціонального співвідношення між зносостійкістю круга і режимами його роботи – складна техніко-економічна задача, яку розв'язують експериментально залежно від умов експлуатації абразивних армованих кругів.

Питання, що стосуються використання абразивних армованих кругів на будівельно-монтажних роботах, вирішували в процесі різання труб з вуглецевої сталі зовнішнім діаметром 21,3-159 мм і з товщиною стінок 2,8-6 мм. Різання виконували в діапазоні робочих швидкостей 52-82 м/с і подач 0,125-0,8 м/хв. Для зменшення негативного впливу теплових процесів визначали раціональне співвідношення між діаметром круга і площею розрізуваної труби. Максимальну величину подачі 0,8 м/хв обирали, зважаючи на те, що на монтажних майданчиках і виробничих базах управління різання виконують за допомогою шліфувальних машин і маятникових пилок, під час роботи якими круг відносно оброблюваної труби переміщують вручну. Чистота поверхні різання значною мірою залежить від режиму роботи. Якщо швидкість подачі менша від 0,2 м/хв, відбувається пропікання по всьому перетину розрізуваної труби й інтенсивне утворення задирок. У разі збільшення подачі до 0,5 м/хв якість поверхні поліпшується, вона не має кольорів мінливості та задирок, тому не рекомендується виконувати різання труб на швидкості подачі менш ніж 0,2 м/хв.

На підставі даних про вплив режиму різання на зносостійкість круга (рис. 5.14), можна дійти висновку, що в досліджуваному діапазоні внаслідок збільшення швидкості подачі за постійної робочої швидкості зносостійкість круга знижується, а збільшення робочої швидкості за постійної подачі сприяє її підвищенню.

Абразивні армовані круги в процесі роботи зношуються, а їх робоча швидкість в деяких випадках зменшується до 50 м/с, при цьому їх зносостійкість знижується. Проте в розрахунку потреби в кругах зменшення коефіцієнта шліфування у міру зношення круга не завжди беруть до уваги, що не дає змоги обґрунтовано визначати їх кількість для виконання певних робіт.

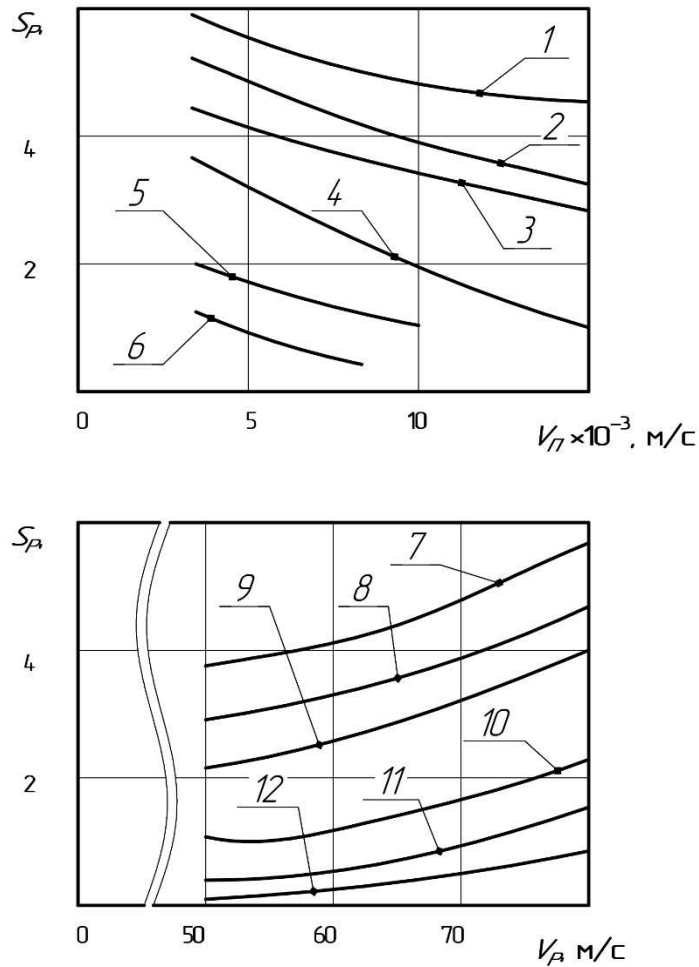


Рис. 5.14. Залежність зносостійкості круга  $S_p$  від режимів роботи ( $V_n$ ;  $V_p$ )

під час різання металопродукату:

- 1, 3, 5 –  $V_p = 75...80$  м/с; 2, 4, 6 –  $V_p = 52...54$  м/с; 1, 2 –  $l_K / R_0 = 0,1$ ;  
 3, 4 –  $l_K / R_0 = 0,18$ ; 5, 6 –  $l_K / R_0 = 0,31$ ; 7, 8, 11 –  $V_n = 0,0033$  м/с;  
 9, 10, 12 –  $V_n = 0,0133$  м/с; 7, 9 –  $l_K / R_0 = 0,1$ ; 8, 10 –  $l_K / R_0 = 0,18$ ;  
 11, 12 –  $l_K / R_0 = 0,31$

Залежність зміни коефіцієнта шліфування від робочих швидкостей може бути представлена у такому вигляді

$$\frac{S - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} = \frac{V_p - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}, \quad (5.24)$$

де  $S$  – поточне значення коефіцієнта шліфування;  $S_{\max}$  – коефіцієнт шліфування за робочої швидкості близько 80 м/с;  $S_{\min}$  – коефіцієнт

шліфування за мінімальної робочої швидкості, м/с;  $V_p$  – поточне значення робочої швидкості, м/с;  $V_{\max}$  – робоча швидкість круга після перших різів, м/с;  $V_{\min}$  – мінімальна робоча швидкість для певного типорозміру труби, м/с.

Введемо позначення:

$$\alpha = \frac{1 - \frac{S_{\min}}{S_{\max}}}{1 - \frac{V_{\min}}{V_{\max}}}; \quad (5.25)$$

$$\beta = \frac{S_{\min}}{S_{\max}} - \alpha \frac{V_{\min}}{V_{\max}}. \quad (5.26)$$

Підставляючи ці залежності, визначаємо взаємозв'язок між коефіцієнтом шліфування і робочою швидкістю:

$$S = \left( \alpha \frac{V_p}{V_{\max}} + \beta \right) S_{\max}. \quad (5.27)$$

Залежність зміни коефіцієнта шліфування від швидкостей подачі можна представити у вигляді формули:

$$S_{\max} = \left( \frac{C}{V_{\text{ПОД}}} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (5.28)$$

де  $V_{\text{ПОД}}$  – швидкість подачі, м/хв;  $m$  і  $C$  – постійні параметри.

У результаті одержуємо залежність між коефіцієнтом шліфування, робочою швидкістю і швидкістю подачі:

$$S = \left( \alpha \frac{V_p}{V_{\max}} + \beta \right) \left( \frac{C}{V_{\text{ПОД}}} \right)^{\frac{1}{m}}. \quad (5.29)$$

Значення параметрів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $m$ ,  $C$ , які входять в залежність, визначають у процесі досліджень (табл. 5.1).

## Значення параметрів коефіцієнта шліфування

$F_{\text{ТР}} / F_{\text{КР}}$	Швидкість подачі, м/хв	Параметри			
		$\alpha(V_{\text{ПОД}})$	$\beta(V_{\text{ПОД}})$	$m$	$C$
0,1	0,2 – 0,8	1,58 – 1,39	-0,58...-0,39	2,35	28
0,13	0,2 – 0,8	1,95 – 1,70	-0,95...-0,70	1,75	8
0,18	0,2 – 0,8	2,05 – 1,98	-1,05...-0,98	1,43	3,4
0,21	0,2 – 0,8	2,03 – 1,96	-1,03...-0,96	1,2	1,6
0,31	0,120 – 0,315	0,38 – 0,43	0,62...-0,57	2,2	0,8

Таким чином, через збільшення швидкості подачі від 0,2 до 0,5 м/хв за постійної робочої швидкості коефіцієнт шліфування зменшується в 1,4 раза. Унаслідок зміни робочої швидкості від 80 до 50 м/с за постійної подачі коефіцієнт шліфування зменшується в 1,9 раза, тобто робоча швидкість істотно впливає на зносостійкість абразивного інструменту. Тому одним з важливих напрямів у розробці приводних механізмів є створення машин з регульованими подачами і постійними частотами обертання круга. Зважаючи на це, слід працювати за мінімально можливих подач і максимальної робочої швидкості, якщо не висунуто спеціальних вимог щодо продуктивності. Інакше слід обрати такий режим, за якого вартість одного різку є мінімальною. Сумарну вартість визначають за формулою:

$$q = q_1 + q_2 + q_3, \quad (5.30)$$

де  $q_1$  – вартість машинного часу, робочої сили і накладних витрат;  $q_2$  – вартість зношеного в процесі виконання одного різку;  $q_3$  – вартість допоміжної частини робочого циклу, пов'язаного з установленням і зняттям оброблюваного виробу, і т.п.

Початкове рівняння набуде вигляду:

$$q = X \frac{D_{\text{ТР}}}{V_{\text{ПОД}}} + \frac{F_{\text{ТР}} b y}{S_{\text{max}}} + X_T, \quad (5.31)$$

де  $X$  – вартість машинного часу, праці оператора і накладних витрат, грн/хв;  $D_{\text{ТР}}$  – зовнішній діаметр розрізуваної труби, м;  $F_{\text{ТР}}$  – площа поперечного перетину труби, м<sup>2</sup>;  $y$  – середня вартість одиниці об'єму

круга, грн/м<sup>3</sup>;  $T$  – тривалість допоміжної частини циклу, хв;  $b$  – висота круга, м.

Виконавши диференціювання за  $V_{\text{ПОД}}$  і прирівнявши до нуля вираз (5.31), маємо залежність, що дає змогу визначити найбільш економічно вигідну швидкість подачі:

$$V_{\text{ОПТ}} = \left( \frac{m X D_{\text{ТР}}}{F_{\text{ТР}} b y} \right)^{\frac{m}{1+m}} C^{\frac{1}{1+m}}. \quad (5.32)$$

Одержані залежності дають можливість визначати раціональні робочі швидкості і швидкості подачі для досягнення максимально можливої зносостійкості інструментів під час різання сталевих труб.

Залежність зміни коефіцієнта шліфування від режимів роботи визначено під час різання на стенді, створеному на базі стаціонарного фрезерного верстата. У процесі будівельно-монтажних робіт різання виконують переважно за допомогою ручних машин і маятникових пил, які мають значно менш жорстку конструкцію. Досліджено також вплив конструкції приводного пристрою на зносостійкість абразивних армованих кругів під час різання труб декількох типорозмірів з вуглецевої сталі на маятниковій пилці та кутошліфувальній машині, закріпленій в спеціальному пристрої, за фіксованих подач. Робочу швидкість круга змінювали в інтервалі 80-50 м/с. Результати, отримані в процесі різання на маятниковій пилці, цілком корелюються зі стендовими, тобто залежність може бути використана для визначення зносостійкості абразивного інструмента, встановленого на приводних пристроях типу маятникових пил, із застосуванням коефіцієнта  $k$ , який відображає жорсткість конструкції верстата. Цей коефіцієнт для маятникових пилок становить 0,8–0,9.

Залежність (5.29) набуває такого вигляду:

$$S = k \left( a \frac{V_p}{V_{\text{max}}} + \beta \right) \left( \frac{C}{V_{\text{ПОД}}} \right)^{\frac{1}{m}}. \quad (5.33)$$

За допомогою наведеної залежності можна обґрунтовано визначати потребу в кругах будівельно-монтажних організацій, зважаючи на вплив режимів роботи інструмента і площу перетину розрізуваних труб.

**Приклад** визначення потреби в абразивних армованих кругах Д 400×4×32 мм для виконання двох тисяч різів труби 76×4 мм. Визначаємо площу перетину труби і площу периферії круга, а також відношення між ними за таких значень параметрів  $m$  і  $C$ :  $F_{\text{ТР}}=9,04 \text{ см}^2$ ;  $F_{\text{КР}}=50,24 \text{ см}^2$ ;  $F_{\text{ТР}}/F_{\text{КР}}=9,04/50,24=0,18$ ;  $m=1,43$ ;  $C=3,4$ .

Оптимальну швидкість подачі визначаємо за початковими даними:  $X = 0,01486 \text{ грн/хв}$  – вартість машинного часу, праці оператора і накладні витрати;  $D = 0,076 \text{ м}$  – зовнішній діаметр розрізуваної труби;  $F_{\text{ТР}} = 0,000904 \text{ м}^2$  – площа перетину труби;  $y = 4800 \text{ грн/м}^3$  – середня вартість одиниці об'єму круга;  $b = 0,004 \text{ м}$  – висота круга.

$$\begin{aligned} \text{Отже, } V_{\text{ОПТ}} &= \left( \frac{m X D_{\text{ТР}}}{F_{\text{ТР}} b y} \right)^{\frac{m}{1+m}} \cdot C^{\frac{1}{1+m}} = \\ &= \left( \frac{1,43 \cdot 0,01486 \cdot 0,76}{0,000904 \cdot 0,004 \cdot 4800} \right)^{0,588} \cdot 3,4^{0,41} = 0,5 \text{ м/хв.} \end{aligned}$$

За табл. 5.1 визначаємо значення параметрів  $\alpha$ ,  $\beta$  для  $F_{\text{ТР}}/F_{\text{КР}} = 0,18$  за отриманого значення економічно доцільної подачі  $V_{\text{ОПТ}} = 0,5 \text{ м/хв}$ :  $\alpha = 2$ ,  $\beta = -1$ . Різання труби 76×4 мм довкола Д 400×4×32 мм можливе до діаметра 270 мм, що відповідає робочій швидкості 54 м/с.

За залежністю (5.13) визначаємо мінімальне значення коефіцієнта шліфування для вказаних умов різання:

$$S = \left( a \frac{V_p}{V_{\text{max}}} + \beta \right) \left( \frac{C}{V_{\text{ПОД}}} \right)^{\frac{1}{m}} = \left( 2 \frac{54}{80} - 1 \right) \left( \frac{3,4}{0,5} \right)^{\frac{1}{1,43}} = 1,3$$

У процесі різання внаслідок зношення круга змінюється відношення  $F_{\text{ТР}}/F_{\text{КР}}$ , яке значною мірою визначає величину коефіцієнта шліфування, тому в розрахунку потреби в кругах слід застосовувати коефіцієнт шліфування, відповідний не мінімальній, а середній робочій швидкості круга. В такому випадку коефіцієнт шліфування має дещо більше значення.



Якщо різання виконують маятниковою пилкою, коефіцієнт шліфування дорівнює:

$$S = 1,33 \cdot 0,85 = 1,13.$$

Використовуємо залежність для визначення коефіцієнта шліфування

$$S = \frac{4z F_{\text{ТР}}}{\pi(D_0^2 - D_z^2)}, \quad (5.34)$$

де  $z$  – кількість різів;  $F_{\text{ТР}}$  – площа поперечного перетину розрізуваної труби,  $\text{мм}^2$ ;  $D_0$  – початковий діаметр круга,  $\text{мм}$ ;  $D_z$  – діаметр круга після  $z$  різів,  $\text{мм}$ .

Визначимо кількість різів, які можна виконати одним кругом Д400х4х32 мм труби розміром 76х4 мм:

$$z = \frac{\pi(D_0^2 - D_z^2) S}{4F_{\text{ТР}}} = \frac{0,785(40^2 - 27,2^2) 1,33}{9,04} = 100.$$

На маятниковій пилці можна виконати 85 різів. Таким чином, для виконання двох тисяч різів труби 76х4 мм кругами Д400х4х32 мм потрібно

$$n = \frac{2000}{100} = 20 \text{ кругів}$$

у разі різання на верстаті з жорсткою конструкцією або 24 круги – на маятниковій пилці. Зважаючи на коефіцієнт шліфування, відповідний середній робочій швидкості, в розгляданому прикладі кількість кругів становитиме не 20, а 18. Коефіцієнт, який характеризує жорсткість машини, залежить від конкретного типу приводного пристрою. Із задовільною для практики точністю можна скористатися залежністю (5.13). Якщо вимог до продуктивності немає, у розрахунках мінімальну швидкість подачі можна вважати рівною 0,2 м/хв.

Для ефективнішого використання абразивних армованих кругів слід створювати приводні пристрої з жорсткою конструкцією, регульованою частотою обертання круга в міру його зношення, за яких досягають різання на найбільш економічно вигідних подачах.

У конструюванні машин, різальним інструментом в яких є абразивні армовані круги, потрібно визначити основні силові параметри різання. Роботу абразивного круга розглядають як процес тертя і зношення двох тіл – круга і розрізуваного матеріалу. Круг зношується внаслідок

механічних, теплових і хімічних процесів, що відбуваються в зоні різання. Визначити енергію, що витрачається на кожний з цих процесів окремо, неможливо, тому вважатимемо, що в розрахунковій схемі тангенціальна складова зусилля різання відображає ці процеси загалом.

Вважають також, що траєкторія руху будь-якої точки на робочій поверхні абразивного інструмента близька до кола, оскільки швидкість подачі цього інструмента мала порівняно з коловою. Крім того, беруть до уваги, що руйнування оброблюваного матеріалу відбувається тільки внаслідок дії тангенціальних сил  $P_Z$ , рівномірно розподілених по всій площі контакту і пов'язаних з нормальними  $P_Y$  відношенням  $P_Z = K_T P_Y$ .

Робота, витрачена на руйнування матеріалу в процесі різання і зачищення, може бути визначена за залежністю

$$dA_0 = P_Z dl_K, \quad (5.35)$$

або

$$dA_0 = q_V dV = q_V \cdot H \cdot a_C \cdot dl_K, \quad (5.36)$$

де  $q_V$  – коефіцієнт пропорційності (енергоємність), визначуваний експериментально, який дорівнює потужності, що витрачається на руйнування одиничного об'єму матеріалу за одиницю часу;  $dV$  – елементарний зруйнований об'єм матеріалу, м<sup>3</sup>;  $dl_K$  – елементарна

довжина майданчика по дузі контакту, м;  $a_C = \frac{V_n}{V_p} \int_0^{l_K} \sin \varphi_0 dl_K$  – глибина

різу, співвідносна з площиною поверхні  $l_K$ , м;  $\varphi_0$  – центральний кут, який характеризує розмір зони контакту, рад.

Прирівнявши (5.35) і (5.36), маємо:

$$P_Z = q_V H a_C = q_V H \frac{V_n}{V_p} \int_0^{l_K} \sin \varphi_0 dl_K. \quad (5.37)$$

Зважаючи на те, що  $\varphi_0 = \frac{l_K}{R_0}$ , отримаємо

$$P_Z = R_0 q_V H \frac{V_n}{V_p} \left( 1 - \cos \frac{l_K}{R_0} \right). \quad (5.38)$$

Потужність, що витрачається на різання і зачищення, дорівнює:

$$N = P_Z V_p = R_0 q_V H V_n \left( 1 - \cos \frac{l_K}{R_0} \right). \quad (5.39)$$

Значення величини довжини дуг контакту під час різання металопрокату абразивними армованими кругами наведені в табл. 5.2.

Довжину дуги контакту під час зачищення периферією круга можна визначити за формулою:

$$l_{\text{КЗП}} = R_0 \left( 1 \pm \frac{V_n}{V_p} \right) \sqrt{1 - \left( 1 - \frac{t_3}{R_0} \right)^2}, \quad (5.40)$$

де  $t_3$  – глибина врізування абразивного круга в оброблювану поверхню (рис. 5.15), яка пов'язана із зусиллям притискання  $P_B$  співвідношенням (отриманим експериментально):

$$t_3 = 0,28 \cdot 10^{-3} P_B^{0,52}. \quad (5.41)$$

Таблиця 5.2

**Довжина дуг контакту**

Розрізуваний металопрокат	Аналітичний вираз для довжини дуги контакту
Пруток	$\tilde{l}_K = 2R_0 \arccos \left[ 1 - \frac{2r_0 h_0 - h_0^2}{2R_0 (R_0 + r_0 - h_0)} \right]$
Квадрат	$\tilde{l}_K = 2R_0 \arcsin \frac{a}{2R_0}$
Шестигранник	$\tilde{l}_{K1} = 2R_0 \arccos \frac{h_0 \sqrt{3}}{R_0},$ $\tilde{l}_{K1}^{\max} = 2R_0 \arcsin \frac{a \sqrt{3}}{2R_0},$ $\tilde{l}_{K3} = 2R_0 \arcsin \frac{2a - h_0}{2R_0}.$
Кутник	$\tilde{l}_K = \delta_0 \sqrt{2}$
Швелер	$\tilde{l}_{K1} = 2\delta_0 \sqrt{2}; \quad \tilde{l}_{K2} = \tilde{l}_{K3} = \delta_0 \sqrt{2}$
Двотавр	$\tilde{l}_{K1} = \tilde{l}_{K3} = 2\delta_0 \sqrt{2}; \quad \tilde{l}_{K2} = \delta_0 \sqrt{2}.$
Гірська порода	$\tilde{l}_K = R_0 \arccos \left( 1 - \frac{h}{R_0} \right),$ <p style="text-align: center;"><math>h</math> – глибина різання, м</p>

Довжина дуги контакту під час зачищення бічної поверхні круга (рис. 5.16) може бути визначена за формулою:

$$l_{\text{КЗП}} = R_0 \psi \sqrt{1 + \frac{V_n^2}{V_p^2}}, \quad (5.42)$$

де  $\psi$  – кутовий розмір зони контакту абразивного круга з оброблюваним матеріалом, рад.

Під час зачищення, наприклад, зварного шва шириною «в» якщо  $\alpha = 0$ , то  $\psi = 2 \arcsin \frac{B}{2R_0}$ , а якщо  $\alpha \neq 0$ ,

$$\text{то } \psi = 2 \arccos \left( 1 - \frac{t_3}{R_0 \sin \alpha} \right).$$

Потужність машини, яка витрачається на подачу робочого органа:

$$N_{\text{ПОД}} = P_{\text{ПОД}} V_n, \quad (5.43)$$

$$P_{\text{ПОД}} = -(P_{zv} + P_{yv}), \quad (5.44)$$

де  $P_{zv}$  і  $P_{yv}$  – відповідно сума проекції на вісь тангенціальних і нормальних сил, Н, яка збігається з напрямом подачі.

Згідно з формулою (5.17) маємо:

$$P_{zv} = -q_v \tilde{H} \frac{V_n}{V_p} \int_0^{l_K} \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 dl_K, \quad (5.45)$$

$$P_{yv} = -q_v \tilde{H} \frac{V_n}{V_p} \int_0^{l_K} \sin^2 \alpha_0 dl_K.$$

Після інтеграції і підстановки у вирази (5.43) і (5.44) маємо:

$$N_{\text{ПОД}} = \frac{R_0}{2} q_v \tilde{H} \frac{V_n^2}{V_p} \left( \frac{l_K}{R_0} - \frac{1}{2} \sin^2 \frac{l_K}{R_0} + \sin^2 \frac{l_K}{R_0} \right). \quad (5.46)$$

Порівнявши вирази (5.45) та (5.39) доходимо висновку, що  $\frac{N_{\text{ПОД}}}{N} \ll 1$ , оскільки  $\frac{V_n^2}{V_p}$  є досить малим, тобто потужністю, потрібною для подачі робочого органу машини, можна знехтувати.

Експериментальну перевірку отриманих теоретичних залежностей виконують на стендах. Схеми розподілу зусиль, які діють на абразивний круг під час різання труб, листового металопрокату та їх зачищення, наведено на рис. 5.15. Вимірюють вертикальну  $P_B$  і горизонтальну  $P_X$ , які відображають зусилля з різання за допомогою тензометричного стола.

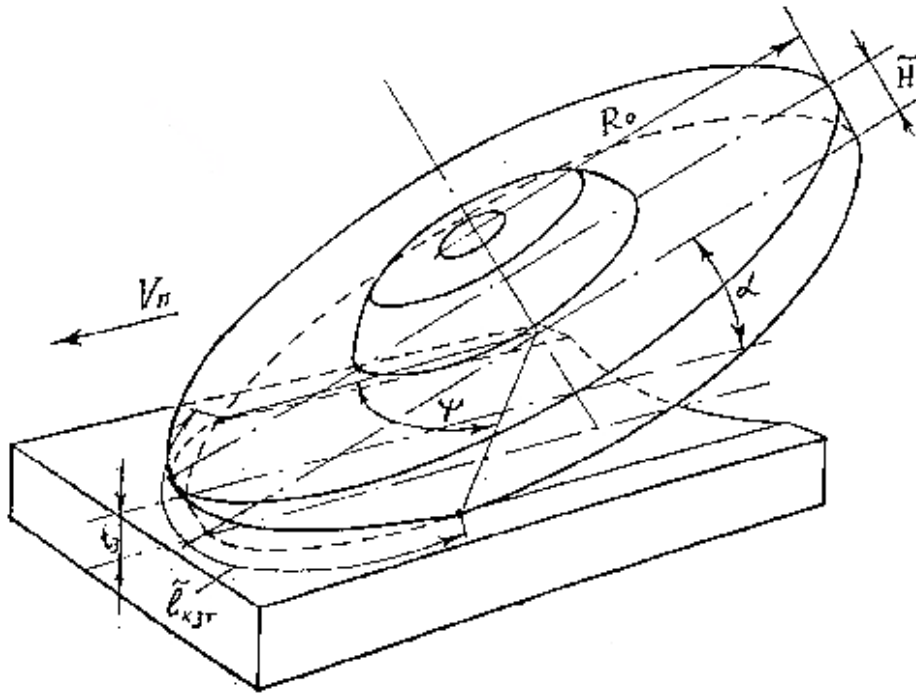


Рис. 5.15. Схеми роботи зачисного круга

Точка прикладання результаційних сил, що виникають у процесі різання, розміщена на лінії, яка сполучає центр круга і розрізуваної труби (а):

$$\varphi_{\text{ТР}} = \arccos \left( \frac{R_0 - r_0}{R_0 + r_B} \right), \quad (5.47)$$

$$\begin{aligned} P_Y &= P_B \cos \varphi_{\text{ТР}} + P_X; \\ P_Z &= P_X \cos \varphi_{\text{ТР}} + P_B \sin \varphi_{\text{ТР}}, \end{aligned} \quad (5.48)$$

де  $r_B$  – внутрішній радіус труби.

Під час різання матеріалів з постійною висотою  $h$  силові параметри визначають за схемою (б):

$$\varphi_1 = \frac{1}{2} \left[ \pi - \arccos \left( 1 - \frac{h}{R_0} \right) \right], \quad (5.49)$$

$$\begin{aligned}
 P_Y &= P_B \sin \varphi_1 + P_X \cos \varphi_1; \\
 P_Z &= P_B \cos \varphi_1 + P_X \sin \varphi_1.
 \end{aligned}
 \tag{5.50}$$

Силові параметри під час зачищення:

$$\begin{aligned}
 P_Z &= P_X; \\
 P_Y &= P_B \sin \alpha_3.
 \end{aligned}
 \tag{5.51}$$

Визначаючи тангенціальні і нормальні зусилля, у формули (5.48, 5.50, 5.51) підставляють значення  $P_X$  і  $P_B$ , отримані в процесі тензометрування, співвідносні максимальній довжині дуги контакту.

Аналіз одержаних результатів свідчить, що основний вплив на величину потужності справляє швидкість подачі. Відсутність впливу окружної швидкості пояснюється тим, що  $P_Z$  обернено пропорційне до  $V_p$ . У міру збільшення товщини зрізуваної стружки, тобто зростання швидкості подачі або зменшення робочої швидкості, нормальні і тангенціальні зусилля збільшуються. При цьому знижується енергоємність обробки, оскільки зменшується робота, яка витрачається на диспергування зруйнованого матеріалу.

Виявлено, що під час різання та зачищення металу  $K_{\text{ТР}} = \frac{P_Z}{P_Y} = 0,35 \dots 0,4$ , енергоємність становить  $q_v = 3,6 \cdot 10^9$  Дж/м<sup>3</sup>, тоді як неметалевих матеріалів – відповідно  $K = 0,45 \dots 0,5$  та  $q_v = 6 \cdot 10^8$  Дж/м<sup>3</sup>.

Слід зазначити, що під час виконання зачисних операцій схема роботи залежить від специфіки оброблюваного об'єкта. Наприклад, зачищати зварний шов доцільно боковою поверхнею, оскільки в такому випадку довжина дуги контакту є максимальною. Водночас слід брати до уваги і вплив теплових процесів, тобто співвідношення часу проходження ділянкою круга зон нагрівання й охолодження.

Сприятливий тепловий режим можливий за умови, коли  $\frac{l_K}{R_0} \leq 0,2 \dots 0,3$ .

Отримані результати за силовими параметрами можуть бути використані в процесі створення приводних машин, наприклад маятникових пил (рис. 5.16).

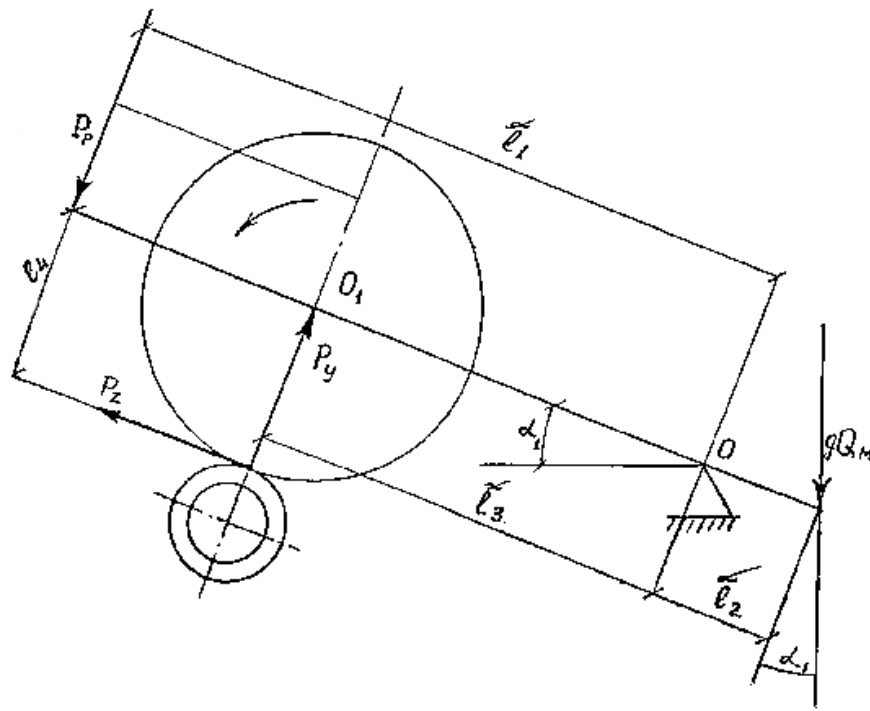


Рис.5.16. Розрахункова схема визначення зусиль  $P_B$  на рукоятці маятникової пилки

Потужність приводу маятникової пили визначають за формулою:

$$N = \frac{Mn}{975000\eta} = \frac{P_Z \frac{D}{2} n}{975000\eta},$$

де  $D$  – діаметр круга, м;  $n$  – частота обертання круга, об/хв;  $M$  – крутний момент шпинделя, Н·м;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії машини.

Маятникові пили призначені для різання під кутом  $0...45^\circ$  з робочою швидкістю 80 м/с сталевих труб діаметром, меншим за 159 мм, і металопродукату абразивними армованими кругами діаметром 300, 400 і 500 мм. Маятникові пили прості в експлуатації. Різання виконують за ручної подачі абразивного круга на розрізуваний виріб, закріплений в затискному пристрої. Зусилля на рукоятці може бути визначене з схеми, представленої на рис. 5.16, за формулою:

$$P_p = \frac{P_Z l_4 + P_Y l_3 + gQ_m \cos \alpha_1 l_2}{l_1},$$

де  $Q_m$  – маса електродвигуна, кг;  $\alpha_1$  – кут нахилу маятника, град;  $l_1$  – відстань від точки прикладання навантаження на рукоятку до точки

закріплення маятника, м;  $l_2$  – відстань від точки закріплення двигуна до точки закріплення маятника, м;  $l_3$  – відстань від точки закріплення круга до точки закріплення маятника, м;  $l_4$  – відстань від центра круга до точки його зіткнення з розрізуваним матеріалом, м.

Зважаючи на те, що маса електродвигуна повинна бути врівноважена  $gQ_m \cos \alpha_1 l_2 = 0$ , зусилля на рукоятці пили дорівнює:

$$P_p = \frac{P_Z l_1 + P_Y l_3}{l_1}.$$

Отримані залежності за силовими параметрами можуть бути використані у розробці ручних і стаціонарних машин, робочими інструментами в яких є абразивні армовані круги.

Найдоцільніша сфера застосування абразивних армованих кругів – різання виробів з вуглецевих і легованих сталей. Крім того, вони можуть бути використані для обробки інших матеріалів.

Розглянемо їх експлуатаційні можливості у різанні неметалевих матеріалів і кольорових сплавів.

Останнім часом постійно збільшуються обсяги робіт, пов'язаних з обробкою конструкцій з легких сплавів, зокрема алюмінієвих. Для їх різання застосовують дорогі і складні у виготовленні сталеві пилки з пластинами з твердого сплаву, які в процесі роботи швидко затуплюються і потребують частого переточування.

Відповідно до технічних вимог під час різання алюмінієвого профілю на виході різального інструмента допускаються задирки не більш ніж 0,6 мм по всій оброблюваній поверхні і місцеві задирки не більш як 3x5 мм і завтовшки 0,3 мм. Для визначення марки абразиву досліджували круги з електрокорунда нормального, хромистотитанистого, карбіду кремнію чорного і зеленого. Виявлено, що за інших однакових умов застосування кругів з карбіду кремнію чорного дає змогу досягти вищої якості оброблюваної поверхні і мінізувати задирки – до 1,8 мм. Крім того, в процесі різання електрокорундовими кругами відбувається засалювання різальної кромки внаслідок розміщення алюмінію за 65 – 75 °С. Цілком унеможливити налипання алюмінієвої стружки не вдається навіть завдяки введенню до складу матриці круга антизварювальних наповнювачів, наприклад мочевины або азотнокислого натрію і сірчанокислого амонію, які за підвищення



температури дають ендотермічний ефект, внаслідок чого з контактної зони видаляється тепло. Перевага кругів з карбіду кремнію пояснюється тим, що їх зерна порівняно з електрокорундовими гостріші і мають велику теплопровідність, тобто сприяють «холоднішому» різанню. Виявлено також, що завдяки різанню кругами з шорсткими боковими поверхнями величина задирки зменшується на 20-30%, а в разі збільшення зернистості з 50 до 80 – зростає на 15-20%.

У процесі абразивного різання значна кількість тепла утворюється внаслідок тертя між кругом й оброблюваним виробом. З огляду на це в полімерну матрицю вводили тверді мастила (графіт, дисульфід молібдену), що дало змогу не тільки зменшити коефіцієнт тертя матриці абразивного круга, а й знизити величину задирки до 0,6-0,8 мм. Найкращі результати отримано під час різання кругами з дисульфідом молібдену, що має нижчий коефіцієнт тертя, ніж графіт. Крім того, зниження коефіцієнта тертя матриці круга дає можливість уникнути засалювання інструмента.

На якість поверхні різку основний вплив має контактна температура, яка під час різання з окружною швидкістю 14...68 м/с становить 380 – 420 °С, але може бути знижена до 200-260 °С шляхом введення до складу круга дисульфиду молібдену. За таких температур в алюмінієвих сплавах відбувається короткочасне відпалювання, яке характеризується зниженням їх міцності і поліпшенням пластичних властивостей. Чим нижча температура, тим вища міцність алюмінію, нижча його пластичність, отже, і менша величина задирки. Зокрема, на робочих швидкостях 55-78 м/с контактна температура сягає 350...430 °С, а величина задирки становить 2-4 мм. Завдяки збільшенню вмісту твердих мастил в матриці круга поліпшується якість різку, але знижується твердість інструмента, отже, і його зносостійкість.

Досягають зниження контактних температур і належної якості поверхні різку під час різання на робочій швидкості близько 14 м/с і подачах  $(8,3...13,3) \cdot 10^{-3}$  м/с. Проте за такого режиму відбувається інтенсивне зношення круга. Завдяки водяному охолодженню внаслідок зменшення коефіцієнта тертя величина задирки становить 0,3-0,4 мм, а зносостійкість підвищується тільки на 20%. Таким чином, якісне різання алюмінієвих профілів можливе під час роботи з водяним охолодженням на робочій швидкості 14 м/с, тобто в 5,7 раза нижчій за раціональну (80 м/с) для абразивного армованого круга. Варто зауважити, що під час ремонтних і монтажних робіт, зокрема в організаціях Київміськбуду,

різання алюмінію абразивними армованими кругами з карбїду кремнію чорного виконують без охолодження.

Однією з масових операцій є різання пластмасових труб, обсяг якого під час монтажу 1 км пластмасових трубопроводів становить 1000 різів. Відомі способи їх різання мають ряд недоліків. Зокрема, у разі різання механічною ножівкою не вдається досягти належної якості і точності через низькі робочі швидкості. Тому машини з ножівковими полотнами доцільно використовувати тільки для виконання підгінних операцій й усунення дефектних місць у трубах безпосередньо на монтажному майданчику.

На заготовчих ділянках для різання пластмасових труб використовуються сталеві дискові пили, які також не дають змоги досягти належної якості. Тому перед зварюванням поверхні різі труб підлягають обов'язковому торцюванню, на яке потрібно в 2-3 рази більше часу, ніж на різання.

У процесі розроблення складу, конструкції і режимів роботи абразивного інструменту виявлено, що потрібна для зварювання якість різі (без оплавлень) може бути досягнута за допомогою кругів з карбїду кремнію зернистістю 50, 80, 125. У такому разі температура в зоні контакту нижча за температуру плавлення розрізуваного матеріалу (230-265 °С для поліетилену, вініпласту і поліпропілену).

Продуктивність різання пластмасових труб лімітується переважно чистотою поверхні різі, тому у визначенні раціональних режимів за критерій ефективності різання обрано якість розрізуваної труби. Клас шорсткості визначено за допомогою профілометра, а оплавлення – візуально (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

### Показники якості поверхні різі пластмасових труб

Розрізуваний матеріал	Режими різання		Оплавлення поверхні різі	Клас шорсткості поверхні
	Робоча швидкість, м/с	Швидкість подачі $10^{-3}$ , м/с		
Поліетилен низької густини (ПНГ)	34 – 43	8,3-16,6	спостерігається рідко	4
	55 – 80		не спостерігається	4
Поліетилен високої густини (ПВГ)	34 – 43	Те саме	спостерігається рідко	4
	55 – 80		не спостерігається	4
Поліпропілен	34 – 80	Те саме	спостерігається	–
Вініпласт	34 – 80	Те саме	не спостерігається	–

З таблиці видно, що якість поверхні різь поліетиленових і вінілпластових труб на всіх режимах задовільна. У процесі різання поліпропіленових труб абразивними армованими кругами не вдається досягти потрібної різь якості щодо оплавлення, і перед зварюванням ці труби підлягають торцюванню.

Рекомендується виконувати різання поліетиленових і вінілпластових труб з робочою швидкістю 80 м/с і подачею  $16,6 \cdot 10^{-3}$  м/с. Оскільки в такому режимі в їх поверхневих шарах структурні зміни не відбуваються, їх можна зварювати без додаткового торцювання, що і було підтверджено результатами міцнісних випробувань.

### Запитання для самоперевірки

1. У чому полягає особливість різання абразивним армованим кругом ручною шліфувальною машинкою?
2. Опишіть відмінності схем різання та зачищення матеріалу абразивним армованим кругом
3. Як в зоні контакту високі температури впливають на круг під час його взаємодії з оброблювальним об'єктом?
4. Що таке водяне охолодження круга, у чому його недоліки?
5. Що таке охолодження круга повітрям? Назвіть його недоліки.
6. Назвіть основні причини заклинювання абразивних армованих кругів у процесі різання, зумовлені способом закріплення оброблюваного об'єкта.
7. У чому причини заклинювання абразивних армованих кругів в процесі різання, зумовлені механізмом роботи круга?
8. Що впливає на міцність та експлуатаційні показники абразивних кругів?
9. Які способи виконання різання абразивним армованим кругом вам відомі?
10. Охарактеризуйте особливості швидкісного різання деталей з полімерів.
11. Назвіть принципи розподілення напружень у відрізаному крузі.
12. Як визначають робочі характеристики маятникової пили?

## 6. ЗАЧИСНІ ОПЕРАЦІЇ ПІД ЧАС БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ

### 6.1. Особливості зачисних робіт

Продуктивність будь-якої зачисної операції залежить від двох основних чинників – правильного вибору ручної машини та інструмента до неї і належних прийомів роботи. Зачисні операції можна виконувати шліфувальними машинами, рубильними молотками, пневмозубилами, пучковими молотками тощо (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Види зачисних операцій

Усі зачисні операції, виконувані абразивними армованими кругами, можна умовно поділити на два види:

– **операції із зачищення металевих поверхонь**, які охоплюють зачищення фасок на листовому металі, заздалегідь видалених способом газового різання, для отримання поверхонь без структурних змін у металі; усунення іржі і нерівностей;

– **операції з видалення шару металу**, зокрема дефектних ділянок зварних швів, зачищення зварних швів врівень з основним металом, видалення фасок на листах і трубах. Ці операції відрізняються від різання і зачищення металевої поверхні тим, що в них поєднано елементи і різання, і зачищення. До цього ж виду операцій належить зачищення кореня зварного шва. Усі ці операції, за винятком зачищення кореня зварного шва, виконують зачисними армованими кругами завтовшки 4,5 мм і більше.

Для операцій із зачищення доцільно застосовувати переважно кутові шліфувальні машини. Виняток становлять лише деякі випадки, коли зачищення виконують периферією круга. Потужність машини добирають відповідно до тривалості роботи, товщини шару металу, характеру оброблюваної поверхні. Для тривалої роботи з видалення тонкого шару металу раціонально застосовувати машини меншої потужності (до 1 000 Вт) і ваги; для видалення грубого шару металу, зокрема під час зачищення зварного шва врівень з основним металом тощо, потрібні потужні машини.

Круг для зачищення металевої поверхні слід встановлювати під кутом  $15-40^\circ$  до оброблюваної поверхні (рис. 6.2). Від величини кута нахилу абразивного круга до оброблюваної поверхні залежить чистота обробки. Чим більший кут нахилу круга в зазначених межах, тим вища продуктивність і менше зношення круга, але разом з тим нижча чистота обробки. У процесі оброблення одночасно з переміщенням уздовж оброблюваної поверхні слід виконувати кругові рухи машиною. Швидкість переміщення машини, а також кути нахилу круга слід встановлювати залежно від вимог до чистоти оброблюваної поверхні. Доцільно починати працювати з кутом нахилу круга  $30-40^\circ$ , а остаточне доведення поверхні виконувати за кута нахилу  $15-20^\circ$ .

Для зачисних операцій слід користуватися кругами діаметром, більшим за допустимий діаметр, за належних умов роботи, оскільки при цьому легше спрямовувати й утримувати машину на оброблюваній поверхні. Слід, проте, мати на увазі, що діаметр круга не повинен

перевищувати гранично допустимий для застосовуваної шліфувальної машини. Потрібно обирати круги більшої висоти, зважаючи на їх велику стійкість, отже, і менші відносні втрати часу на переставляння круга.

Оскільки зачисні операції зазвичай охоплюють одночасно великий обсяг робіт, особливу увагу треба приділяти раціональному положенню робітника під час їх виконання. Положення працівника залежить передусім від розміщення поверхонь, що підлягають обробці (рис. 6.2).

Крім умов доступу, слід дотримувати таких вимог: робітник повинен перебувати поза зоною попадання іскор; за тривалої роботи потрібно змінювати положення всього корпусу, послідовно навантажуючи і розслаблюючи групи м'язів (наприклад, під час зачищення горизонтальної металевої поверхні слід чергувати такі положення: «на правому коліні» (рис. 6.3), «на лівому коліні», «навколішки»). Експерименти з визначення м'язової втоми під час роботи з високошвидкісними шліфувальними машинами і абразивними армованими кругами підтвердили обов'язковість дотримання цієї умови.

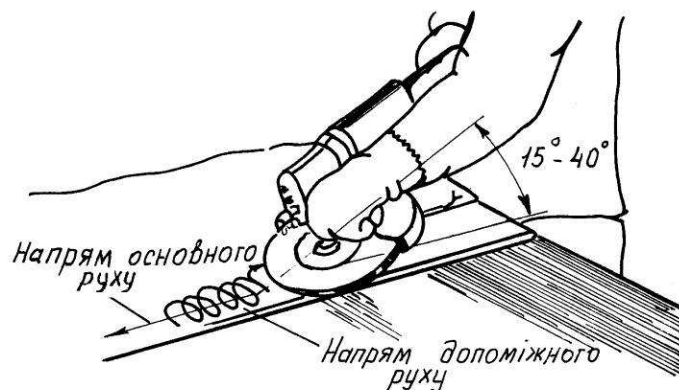


Рис. 6.2. Положення машини під час зачищення поверхні

Під час зачисних операцій подача на круг здійснюється одночасним навантаженням обох рукоятей шліфувальної машини. Зусилля на рукоятці повинні бути в таких межах, щоб візуально не відчувалося падіння кількості оборотів круга. Виконуючи операції із зняття шару металу, переважно застосовують кутові шліфувальні машини, за винятком операцій із зачищення кореня зварного шва, при цьому в деяких випадках, наприклад, на вертикальних площинах, зручними в роботі є також прямі шліфувальні машини. Граничне зношення круга внаслідок зачисних операцій допускається до діаметра, рівного зовнішньому діаметру затискового фланця плюс 20 мм [7].

Зачищення або видалення дефектних ділянок зварних швів слід виконувати послідовно, ділянками завдовжки 200-300 мм, знімаючи метал шарами. Довжина одночасно оброблюваної ділянки залежить від індивідуальних даних працівника і зручності роботи. Круг при цьому треба встановлювати під кутом 35-40° до оброблюваної поверхні. Машину слід розміщувати вздовж оброблюваного шва [4].

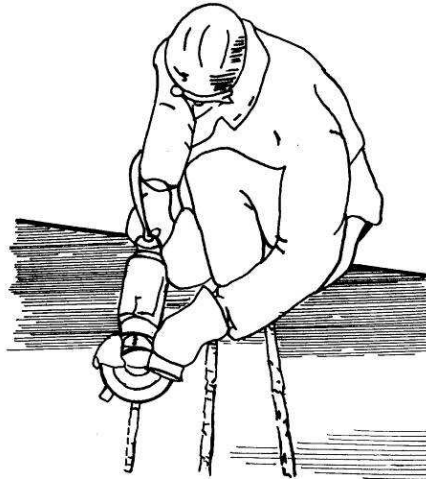


Рис. 6.3. Положення робітника і машини під час зачищення зварних швів

Різко відрізняється за технікою виконання від усіх зачисних операцій **операція зачищення кореня зварного шва**. Цей процес подібний до операції різання.

Зачищувати корінь зварного шва потрібно кругами, товщина яких на 1-1,5 мм менша, ніж зазор між зварюваними елементами конструкцій. Круг встановлюють під кутом 90° до оброблюваного шва (рис. 6.4). Зачищення виконують периферією круга (рис. 6.4, б, в). Обробку кореня так само, як і зачищення зварних швів, слід виконувати послідовно на ділянках завдовжки 200-300 мм пошарово. Прийоми роботи при виконанні операцій зачищення кореня зварного шва аналогічні прийомам під час різання.

Для зняття фаски під зварювання машину встановлюють так, щоб площина абразивного круга була нахилена до наміченої площини фаски під кутом 10-15° (рис. 6.5, а, б). У процесі роботи відбувається одночасно зрізування прошарку металу і зачищення поверхні фаски бічною поверхнею круга. Після зняття фаски слід виконати доведення поверхні фаски відповідно до заданих вимог щодо чистоти і точності.

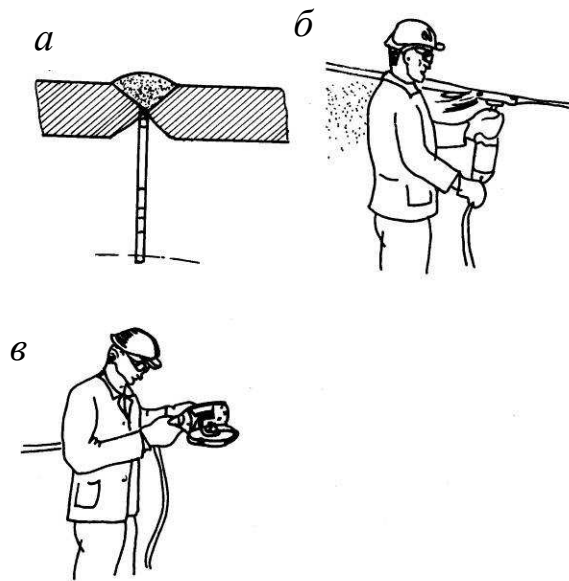


Рис. 6.4. Зачищення кореня зварного шва:  
*a* – положення круга; *б* – зачищення прямою машиною;  
*в* – зачищення кутовою машиною

За правильної роботи шліфувальними машинами можна досягти таких показників:

- продуктивність (час зачищення 1 м шва) в нижньому положенні – 6...8, в горизонтальному – 10, у стельовому – 15 хв;
- продуктивність зачищення абразивними армованими кругами перевищує продуктивність вирубування кореня шва зубилом в 2-3 рази.

Розрізняють шліфувальні машини за такими характеристиками:

- шліфувальний круг або щітка працюють зовнішнім діаметром (це прямі машини, їх застосовують для зняття задирок, зачищення зварних швів на невеликих поверхнях);
- інструмент працює зовнішнім діаметром (використовують для різання і шліфування – кутові машини);
- інструмент працює поверхнею торця, ним тільки шліфують (кутові машини торців).

На продуктивність і зношення кругів значною мірою впливає тип приводу. За однакової потужності двигуна і кутової швидкості продуктивність зачищення і зносостійкість абразивного інструмента під час роботи електрошліфувальними машинами вищі, ніж пневматичними. Це пояснюється тим, що під навантаженням частота обертання пневмодвигунів знижується і відповідно зменшується колова швидкість абразивного круга. Зважаючи на те, що майже 80% вартості робіт із



зачищення припадає на абразивний інструмент, виконувати зачисні операції доцільніше електрошліфувальними машинами.

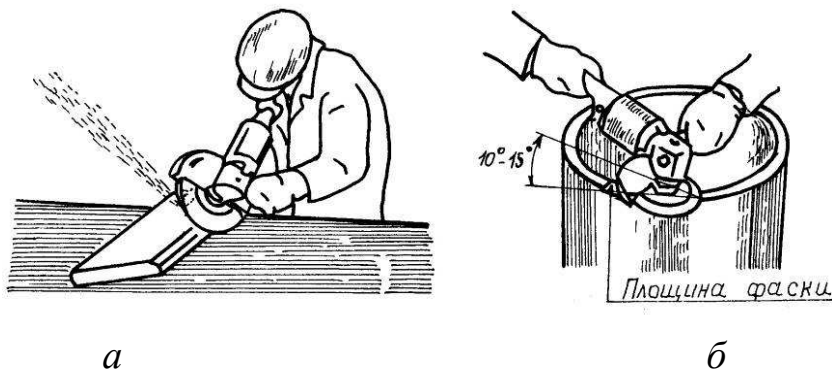


Рис. 6.5. Оброблення кромки: *а* – листового матеріалу; *б* – труби

Споживану потужність двигуна (кВт) можна приблизно визначити за такими залежностями:

1) для зачищення периферією круга

$$N = \frac{1}{10} f \frac{QV_p}{102\eta}, \quad (6.1)$$

де  $Q$  – зусилля притискання круга до матеріалу (Н),  $V_p$  – робоча швидкість, м/с;  $f$  – коефіцієнт тертя (у разі обдирання сталі становить 0,4...0,6);  $\eta$  – ККД машини;

2) для зачищення торцем круга

$$N = \frac{n}{2925\eta} Qf \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}, \quad (6.2)$$

де  $n$  – частота обертання, об/хв;  $D$  і  $d$  – зовнішній і внутрішній діаметри круга, мм.

Продуктивність шліфувальних машин, м<sup>2</sup>/хв, застосовуваних для зачисних робіт, залежить від кількості проходів  $K$ , потрібних для зачищення, швидкості переміщення машини  $V_{\text{ПЕР}}$  і ширини площі зачищення  $b$ :

$$П_T = V_{\text{ПЕР}} b / 60K. \quad (6.3)$$

Під час зачищення зварного шва, зняття фаски продуктивність машини, м/хв, становить:

$$П_T = V_{\text{ПЕР}} / 60K. \quad (6.4)$$

Вартість робіт абразивними кругами залежить від зношення круга, на який впливають колова швидкість круга  $V_p$  і швидкість подачі  $V_{II}$ . Зношення круга характеризується коефіцієнтом шліфування  $S$ :

$$S = \frac{W_M}{W_K}, \quad (6.5)$$

де  $W_M$  – об'єм матеріалу, який видаляють кругом,  $W_K$  – об'єм зношеного круга.

Коефіцієнт шліфування  $S$  залежить від швидкості різання  $V_p$  (чим менша  $V_p$ , тим менший  $S$ ) і швидкості подачі  $V_{II}$  (чим більша  $V_{II}$ , тим менший  $S$ ).

Отже, працюючи на великих подачах, можна підвищити продуктивність, але при цьому зношення круга буде більшим. Експериментально визначено доцільні режими роботи. За коефіцієнтом шліфування можна визначити не тільки потребу в абразивних кругах, а й об'єм руйнованого матеріалу.

## 6.2. Робочий інструмент для зачисних робіт

Для виконання зачисних операцій використовують металеві щітки і пелюсткові круги, фіброві і сітчасті диски. У підручнику розглянуто тільки механічні способи очищення, оскільки хімічні, термічні і пневмогідроабразивні не набули широкого застосування під час будівельно-монтажних робіт.

У *пелюсткових* кругах (рис. 6.6) вдало поєднано досить жорстке кріплення абразиву і високу еластичність у радіальному і тангенціальному напрямках. Круги являють собою набір виготовлених із шліфувальної шкурки пелюсток, скріплених у центрі або по периферії. У першому випадку це круги, що працюють коловою частиною, в другому – торцевою. Можливе виготовлення на вимогу замовника пелюсткових кругів практично будь-яких розмірів з будь-яких видів шліфшкурки і будь-якої густини упаковки. У деяких випадках їх експлуатаційні показники значно вищі, ніж у разі використання шліфшкурки і стрічок з неї, а особливо в місцях, важко доступних для обробки.

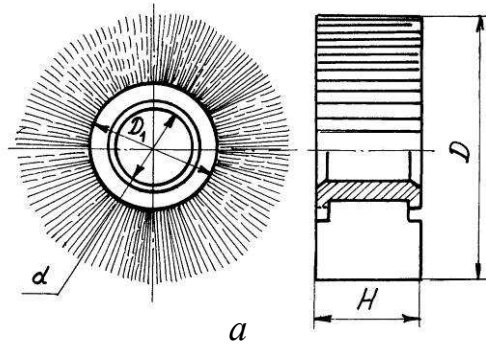


Рис. 6.6. Конструкція пелюсткового круга

**Сітчасті диски** виготовляють, накладаючи шліфматеріал на сітчасту основу (лавсан, склосітка тощо), використовують замість шліфшкурки (полірування) і фібрових дисків (зачищення поверхонь). Збільшивши кількість зв'язного, одержують жорсткі сітчасті диски, які використовують для розрізання заготовок малого діаметра і дорогих матеріалів.

**Фіброві диски** – абразивні диски, виконані шляхом накладання шліфувального матеріалу на фіброву основу. Фібра – твердий і водночас гнучкий та пластичний матеріал з целюлози, просочений хлористим цинком. Фіброві диски використовують для зачисних і шліфувальних операцій.

**Металеві щітки** розрізняють за конструкцією, діаметром, матеріалом, формою і кількістю дротиків, способом закладання пучків. Від поєднання цих параметрів, а також швидкості обертання залежить застосування щітки для виконання тієї або іншої операції. Для ефективної роботи щіток привідна машина повинна мати реверс, оскільки після деякого часу роботи ворс відхиляється вбік, протилежний напрямку обертання щітки.

Останнім часом випускають широку номенклатуру металевих щіток для очищення поверхонь від продуктів корозії і різноманітних забруднень. Для оброблення виробів з легованих сталей і алюмінієвих сплавів, а також кореня зварного шва використовують радіальні щітки з дротом з легованої сталі.

Радіальні щітки (рис. 6.7) виготовляють з короткою, середньою і довгою щетиною.

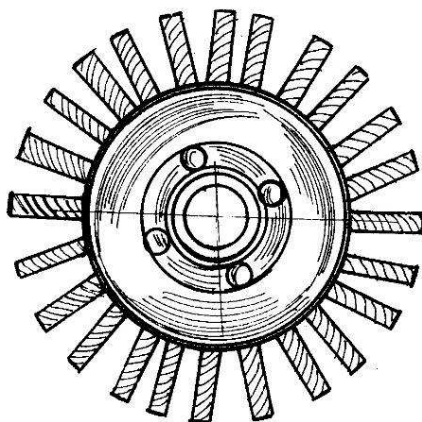


Рис. 6.7. Радіальна щітка

**Короткощитинні радіальні щітки** з густою щетиною завдовжки близько 10 мм, які мають найкращі різальні властивості, справляють на оброблювану поверхню найбільшу ударну дію. Найчастіше щетина таких щіток, що працюють з окружною швидкістю близько 30 м/с, складається з дроту діаметром 0,3 мм. Такі щітки застосовують, наприклад, для усунення задирок з шестерень й утворення радіуса на вершині кожного зуба.

**Щітки з щетиною середньої** (близько 40 мм) **довжини** найбільш придатні для зачищення зварних швів, оскільки справляють на оброблювану поверхню велику ударну дію. Такі щітки (зазвичай з діаметром дроту 0,3 мм) широко застосовують, зокрема на автомобільних заводах для зачищення зварних швів на кузовах автомобілів. Колова швидкість звичайно становить 30...40 м/с.

Для оброблення трубопроводів під антикорозійний захист застосовують радіальні щітки з дроту діаметром 0,5 або 0,63 мм за колової швидкості 22...30 м/с. Такі щітки, виготовлені із спеціально обробленого сталевого дроту, потрібні для зачищення під зварювання, зняття корозії й окалини, видалення старої фарби з конструкцій.

**Щітки з довжиною щетини понад 40 мм** застосовують у гумотехнічній промисловості для видалення гумового облою. Їх колова швидкість сягає 60 м/с. За такої швидкості щетина утворює вузьку різальну кромку, достатню для зрізування гумового облою з формованих виробів.

Щітки діаметром 250 і 300 мм застосовують переважно для обробних операцій. За швидкості 23...28 м/с такі щітки використовують також для видалення фарби, лаку, окалин.

*Щітки з щетиною середньої довжини з гофрованого дроту* діаметром від 100 до 200 мм застосовуються для зачищення задирок і досягнення високої чистоти поверхні оброблюваної деталі. Завдяки еластичності таких щіток робітник може легко втримувати оброблювану деталь у руках. Ця властивість дає змогу обробляти деталі різних форм.

Під час роботи ручними машинами, що мають торцеве і кутове компонування, застосовують металеві щітки чашкового типу. Такі щітки, що працюють на швидкості 40-50 м/с, придатні для зачищення зовнішньої поверхні труб перед покриттям. Застосування ручних машин у поєднанні з металевими щітками чашкового типу дає можливість економно і швидко зачищати великі поверхні.

Останнім часом, крім з описаних, виготовляють радіальні дротяні щітки з синтетичним зв'язним – пружним або жорстким. У такому разі щітка працює аналогічно щітці з густою щетиною; дроти здатні переміщуватися в певних межах, що додає їм пом'якшувального ефекту. За жорсткого зв'язного щітки більш продуктивні.

### **6.3. Особливості зачищення полімерно-абразивним інструментом**

Абразивні армовані круги є універсальним інструментом багатоцільового призначення. Проте в процесі видалення іржі, лакофарбних покриттів з тонколистового металу, зачищення біляшовної зони зварюваних труб одночасно відбувається і знімання основного металу, що є неприпустимим. З метою підвищення продуктивності праці і якості виконання зачисних операцій розроблено новий самоочищувальний абразивний інструмент, який поєднує в собі переваги оброблення металевими щітками, фібровими і пелюстковими кругами. Принцип його роботи полягає в руйнуванні оброблюваної поверхні шляхом ударної дії на неї абразиву, що міститься на торці полімерного волокна. Зважаючи на те, що динамічна жорсткість волокна зростає під дією відцентрових зусиль у міру збільшення швидкості обертання інструмента, полімерно-абразивні щітки розробляли тільки дискової форми. При цьому абразив вводили в масу полімерних волокон.

Для визначення основних конструктивних й експлуатаційних параметрів полімерно-абразивної щітки розглянемо механізм її роботи (рис. 6.8). Нехай щітка радіусом  $R_{Щ}$  з довжиною вільної частини волокна  $L_B$  обертається з кутовою швидкістю  $\omega_{Щ}$  й обробляє циліндрову поверхню труби із зовнішнім радіусом  $r_0$ . Відстань між центрами щітки і труби дорівнює [6]:

$$a_{Щ} = R_{Щ} + r_0 - i_0, \quad (6.6)$$

де  $R_{Щ}$  – радіус щітки, м;  $r_0$  – радіус оброблюваної труби, м;  $i$  – натяг, що характеризує величину притиснення щітки до оброблюваної поверхні, м.

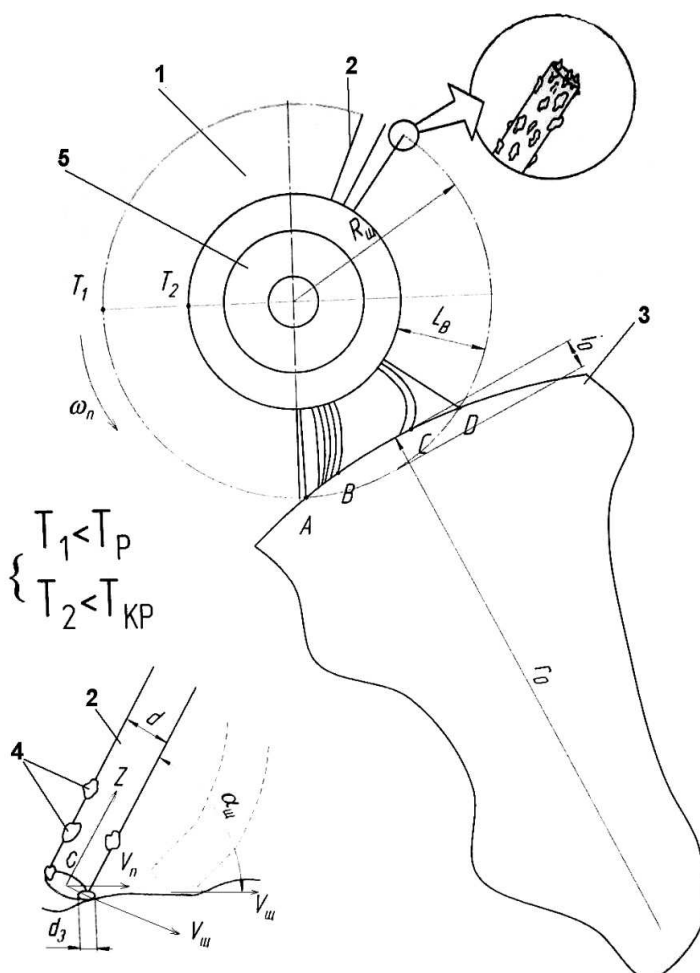


Рис. 6.8. Схема роботи полімерно-абразивної щітки:

1 – щітка; 2 – волокно; 3 – оброблювана поверхня;

4 – абразив; 5 – затискний фланець

Зона АВ схильна до ударної дії абразивних зерен. Величина кінетичної енергії одного з них може бути оцінена так:

$$E_i = \frac{1}{2} m_i (V_{\text{Щ}}^2 + V_{\text{П}}^2 - 2V_{\text{Щ}}V_{\text{П}} \sin \alpha_{\text{Щ}}), \quad (6.7)$$

де  $m_i$  – маса одиничного абразивного зерна, кг;  $V_{\text{Щ}}$  – робоча швидкість щітки, м/с;  $V_{\text{П}}$  – швидкість подачі переміщення щітки вздовж оброблюваної поверхні, м/с;  $\alpha_{\text{Щ}}$  – кут між віссю волокна та оброблюваною поверхнею, рад.

Продуктивність обробки  $Q_{\text{Щ}}$  пропорційна сумарній енергії ударів:

$$Q_{\text{Щ}} = K_{\text{Щ}} \sum_{i=1}^n E_i = K_{\text{Щ}} \sum_{i=1}^n \frac{\pi d_3^3 \rho_3}{12} [\omega_{\text{Щ}}^2 R_{\text{Щ}}^2 + V_{\text{П}}^2 - 2\omega_{\text{Щ}} R_{\text{Щ}} V_{\text{П}} \sin \alpha_{\text{Щ}}], \quad (6.8)$$

де  $K_{\text{Щ}}$  – коефіцієнт, що характеризує оброблюваний матеріал, с/м<sup>2</sup>;  $d_3$  – діаметр кулі, об'єм якої дорівнює об'єму одиничного зерна, м;  $\rho_3$  – густина абразивного зерна відповідно  $3,9 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup> і  $3,2 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup> для електрокорунду і карбіду кремнію.

Кількість абразивних зерен, що одночасно беруть участь у роботі, можна визначити за формулою

$$n = n_{\text{К}} N_{\text{Н}} \frac{l_{\text{АС}}}{2\pi R_{\text{Щ}}},$$

де  $n_{\text{К}} = \frac{3}{2} \frac{\chi}{100} \frac{d_{\text{В}}^2}{d_3^2}$  – кількість абразивних зерен на торцевій поверхні

нитки;  $N_{\text{Н}} = \frac{8K_0 (R_{\text{Щ}} - L_{\text{В}}) H_{\text{Щ}}}{d_{\text{В}}^2}$  – кількість ниток у щітці;

$K_0 = \frac{N_{\text{Н}} d_{\text{В}}^2}{8(R_{\text{Щ}} - L_{\text{В}}) H_{\text{Щ}}}$  – відношення сумарної площі поперечного

перетину волокон до площі щітки в місці їх закріплення ( $K_0 < 1$ );  $H_{\text{Щ}}$  – висота щітки, м;  $d_{\text{В}}$  – діаметр волокон, м;  $\chi$  – об'ємний уміст абразиву у волокні, %.

Остаточню:

$$n = \frac{3N_H \chi d_B^2 l_{AC}}{400\pi R_{\text{Щ}} d_3^2}. \quad (6.9)$$

Коефіцієнт заповнення волокон на робочій поверхні щітки  $K$  пов'язаний з  $K_0$  співвідношенням:

$$K = K_0 \left( 1 - \frac{L_B}{R_{\text{Щ}}} \right). \quad (6.10)$$

З формули (6.10) випливає: що більша довжина вільної частини волокна  $L_B$  за фіксованих  $K_0$  і  $R_{\text{Щ}}$ , то менша кількість полімерно-абразивних волокон в одиниці площі робочої поверхні щітки, отже, і кількість зерен, що беруть участь в обробці.

Для визначення довжини дуги контакту  $l_{AC}$  розглянемо рис. 6.8. З  $\Delta AOE$ , вважаючи, що  $y = AD$  і  $f = ME$ , маємо:

$$y = 2 \left[ 2R_{\text{Щ}}(i_0 - f) - (i_0 - f)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6.11)$$

З  $\Delta AO_1E$  отримуємо:

$$y = 2 \left( 2r_0 f - f^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (6.12)$$

Прирівнявши (6.11) і (6.12), одержимо:

$$f = \frac{i_0(2R_{\text{Щ}} - i_0)}{2(R_{\text{Щ}} + r_0 - i_0)} = \frac{i_0(2R_{\text{Щ}} - i_0)}{2a_{\text{Щ}}}, \quad (6.13)$$

звідки:

$$y = 2 \left( \frac{i_0(2R_{\text{Щ}} - i_0)}{2a_{\text{Щ}}} \left[ 2r_0 - \frac{i_0(2R_{\text{Щ}} - i_0)}{2a_{\text{Щ}}} \right] \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6.14)$$

Відомо, що  $l_{AC}$  дорівнює:

$$l_{AC} = \left( y^2 + \frac{16}{3} - f^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (6.15)$$

Підставляючи вирази (6.13) і (6.14) у формулу (6.15), маємо:



$$l_{AC} = \left( \frac{2i_0(2R_{Щ} - i_0)}{R_{Щ} + r_0 - i_0} \left[ 2r_0 + \frac{i_0(2R_{Щ} - i_0)}{6(R_{Щ} + r_0 - i_0)} \right] \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (6.16)$$

У разі обробки плоских поверхонь, тобто за  $r_0 \rightarrow 0$ , отримуємо

$$l_{AC} = 2 \left[ i_0(2R_{Щ} - i_0) \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Інтенсивність енергії мікроударів тим більша, чим більші зернистість і концентрація абразивних зерен у волокні, проте при цьому знижується міцність полімерних волокон.

Після виходу із зони АВ волокно прогинається і ковзає по оброблюваній поверхні від точки В до С. На цій ділянці механізм роботи щітки й абразивного круга аналогічні, оскільки кожне зерно, пружно закріплене у волокні, виконує мікрорізання. Ефективність обробки в зоні ВС визначається зусиллям притиснення абразивного зерна до поверхні, величина якого залежить від жорсткості волокон щітки. Полімерно-абразивна щітка тільки полірує оброблювану поверхню, оскільки енергії мікроударів недостатньо для зняття основного металу. Статична жорсткість волокна може бути підвищена шляхом збільшення його діаметра, але в такому випадку зменшується межа витривалості волокна на вигин, тобто воно до руйнування витримує меншу кількість перегинів.

Вибір параметрів полімерно-абразивної щітки і режимів її роботи значною мірою залежить від теплових процесів під час оброблення. Нагрівання волокна відбувається внаслідок виділення тепла у момент удару зерна по поверхні і значно інтенсифікується в зоні мікрорізання ВС, оскільки в ній теплове джерело діє протягом деякого часу  $\tau_{Щ}$ .

$$\tau_{Щ} = \frac{l_{AC}}{V_{Щ}} = \frac{1}{V_{Щ}} \left( \frac{2i_0(2R_{Щ} - i_0)}{R_{Щ} + r_0 - i_0} \left[ 2r_0 + \frac{i_0(2R_{Щ} - i_0)}{6(R_{Щ} + r_0 - i_0)} \right] \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (6.17)$$

Зменшення натягу  $i_0$  дає можливість скоротити не тільки час контакту, а й понизити енергоємність оброблення. З огляду на це маса машин для приводу щітки повинна бути істотно меншою, ніж для роботи абразивними армованими кругами.

У процесі взаємодії щітки з оброблюваною поверхнею тепло виділяється на торцях полімеру (температура  $T_1$ ) і по контуру затискного фланця (температура  $T_2$ ) унаслідок коливань волокон відносно місць їх закріплення. Таким чином, працездатність полімерно-абразивної щітки можлива за умови дотримання таких обмежень:

$$\begin{aligned} T_1 &< T_P; \\ T_2 &< T_{KP}, \end{aligned} \quad (6.18)$$

де  $T_P$  і  $T_{KP}$  – температура плавлення і розміщення полімеру.

У разі недотримання цієї умови (6.18) оброблювана поверхня заплавлується полімером, а волокна під дією відцентрових сил руйнуються. При цьому на працездатність щітки вирішальний вплив справляє температура по контуру затискного фланця.

Як полімер використовують *поліамід-6*, що серед широко застосовуваних вітчизняних матеріалів має найбільшу теплостійкість (220 °С), а з-поміж наповнювачів обирають електрокорунд і карбід кремнію зернистістю від 80 до 120 мкм.

#### 6.4. Технологія виготовлення полімерно-абразивного інструменту

Отримують полімерно-абразивне волокно за допомогою каскадного черв'ячно-дискового екструдера, що орієнтує пристрої, і гофратора (рис. 6.9). Конструкція екструдера, в якому є зони, де відбувається нагрівання суміші, її рівномірне перемішування і дегазація, а також вакуумування перед формуванням, дає змогу виготовляти однорідне волокно.

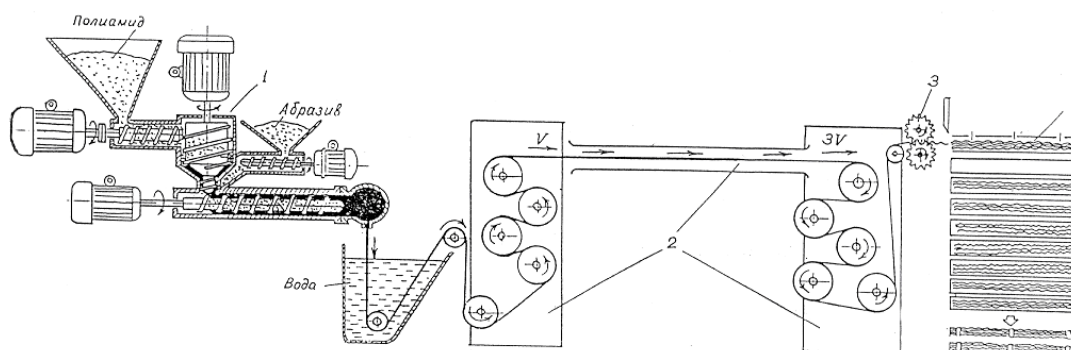


Рис. 6.9. Схема виготовлення полімерно-абразивного волокна

1 – черв'ячно-дисковий екструдер; 2 – пристрій орієнтування;

3 – гофратор; 4 – волокна

Завдяки орієнтації волокна під час витягування його розривна і втомна міцність збільшується в чотири рази. Гофрування дає можливість зменшити інтенсивність коливань волокон, рівномірніше розподілити їх в об'ємі щітки і збільшити жорсткість її робочої частини, що сприяє підвищенню експлуатаційних показників інструмента. Для виготовлення щітки застосовують волокно діаметром  $(0,9...1,1) \cdot 10^{-3}$  м, а масовий уміст абразиву в ньому не повинен перевищувати 25...27%.

Промислова технологія збирання щітки (рис. 6.10) охоплює рівномірний розподіл волокон по контуру кільцевої заклепки й отримання в результаті її розвальцьовування нерознімної заготовки, яку потім обрізають за заданим розміром і приварюють бічні притискні фланці.

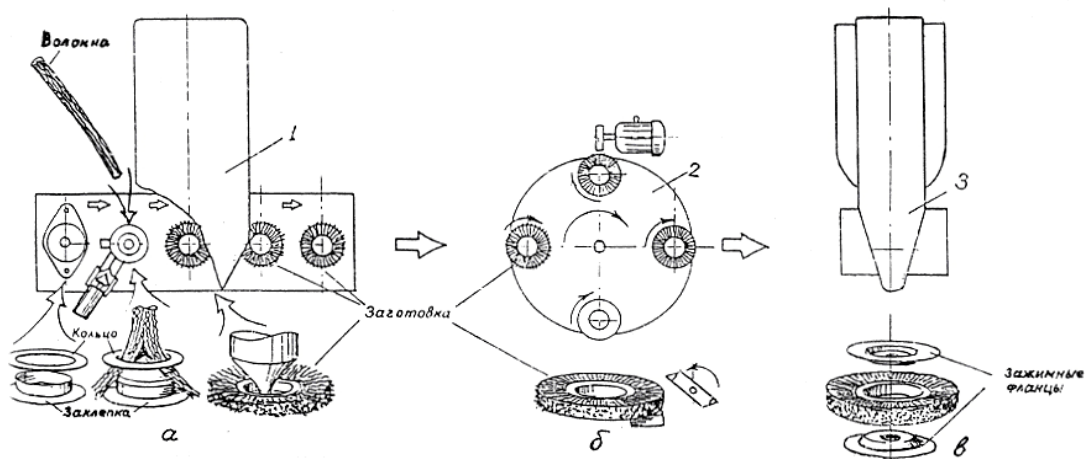


Рис. 6.10. Схема збирання полімерно-абразивних щіток:

а – збирання заготовки; б – формування робочої поверхні;

в – остаточне збирання;

1 – пристрій для збирання; 2 – пристрій для відрізання;

3 – пристрій для приварювання затискних фланців

Відомо, що температура розміцнення *поліаміду-6* становить  $90^{\circ}\text{C}$ . У міру зростання натягу і робочої швидкості температура підвищується внаслідок збільшення частоти й амплітуди коливань волокон, а також інтенсифікації їх тертя одне до одного.

Продуктивність оброблення і зносостійкість полімерно-абразивної щітки в процесі видалення залізного сурику із сталевих пластин розраховували за формулами:

$$Q_{\text{Щ}} = \frac{m_{\text{П}}}{t_p}; \quad S_{\text{Щ}} = \frac{m_{\text{П}}}{m_{\text{Щ}}},$$

де  $m_{\Pi}$  і  $m_{\text{Щ}}$  – відповідно маса видаленого матеріалу і зношеної частини щітки, кг;  $t_p$  – час оброблення, с;  $K_{\text{Щ}} = 2,54 \cdot 10^{-1} \text{ с/м}^2$ .

Виявлено, що продуктивність залежить від частоти обертання щітки і натягу і не залежить від швидкості подачі. Це пояснюється тим, що в досліджуваному діапазоні  $V_{\text{Щ}} \gg V_{\Pi}$ . Водночас швидкість подачі повинна бути відмінна від нуля, оскільки інакше внаслідок нагрівання оброблюваної поверхні відбувається термічне зношення полімерних волокон. Таким чином, оптимізація продуктивності обробки полімерно-абразивною щіткою зводиться до максимізації умов (6.18) за єдиного обмеження  $T_2 < T_{\text{КР}}$ .

Потужність машини для роботи полімерно-абразивними щітками визначають експериментально, оскільки для виявлення теоретичних залежностей потрібно розв'язати задачу про рух полімерної нитки в повітряному середовищі. Немає також можливості скористатися залежностями, одержаними в результаті дослідження металевих щіток, оскільки динамічна жорсткість полімерного волокна в декілька разів перевищує статичну, а сталевого – тільки на 20...30%.

Аналізуючи експериментальні дані (рис. 6.11), розглянемо три зони, відмінні характером взаємодії полімерно-абразивної щітки з оброблюваним об'єктом. У першій зоні відбувається монотонне зростання потужності, оскільки кінетична енергія витрачається на руйнування оброблюваної поверхні. У другій зоні зростання потужності сповільнюється внаслідок збільшення робочої швидкості щітки і відповідно температури волокон, в які внаслідок удару заглиблюються абразивні зерна. У третій зоні підвищення потужності пов'язане із збільшенням коефіцієнта тертя між щіткою і оброблюваною поверхнею внаслідок розм'якшення полімерних волокон.

У процесі вивчення впливу кліматичних чинників на експлуатаційні показники полімерно-абразивних щіток досліджували волокна з *поліаміду-6*, наповнені електрокорундом або карбідом кремнію. Встановлено, що міцність *поліаміду-6* знижується на 30...35% внаслідок руйнування молекулярних зв'язків під дією ультрафіолетового випромінювання. Наповнення поліаміду карбідом кремнію або електрокорундом сприяє стабілізації його властивостей. На відміну від ненаповнених, наповнені волокна не втрачають еластичності, тимчасом як пожовтіння волокон і зниження їх міцності свідчить про окислення і

деструкцію поліаміду під дією ультрафіолетового випромінювання. З метою усунення його негативної дії кожну полімерно-абразивну щітку рекомендується поміщати в поліетиленову упаковку, що захищає інструмент від вологи і прямого попадання сонячного проміння.

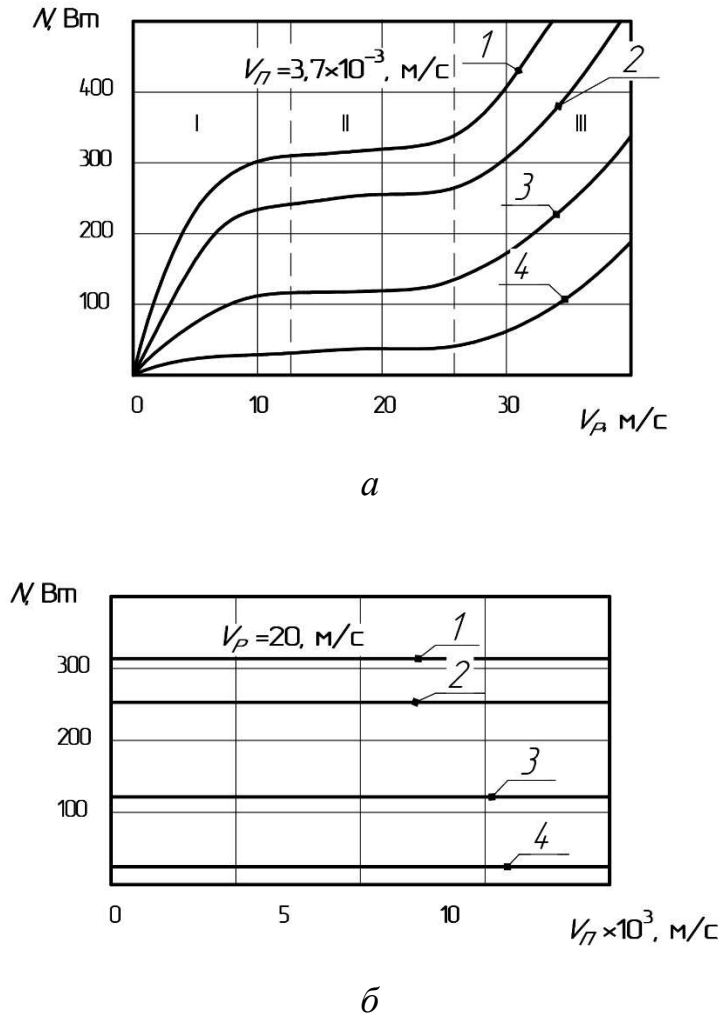


Рис.6. 11. Залежності потужності від робочих швидкостей (а) і подач (б) постійного натягу  
 1 –  $i_0 = 3,0 \cdot 10^{-3}$  м; 2 –  $i_0 = 2,0 \cdot 10^{-3}$  м; 3 –  $i_0 = 1,0 \cdot 10^{-3}$  м; 4 –  $i_0 = 0,25 \cdot 10^{-3}$  м

Нині інструменти на основі полімерно-абразивних волокон (рис. 6.12) застосовують в автосервісі, обробці друкарських плат, в текстильній і інших галузях народного господарства [5].

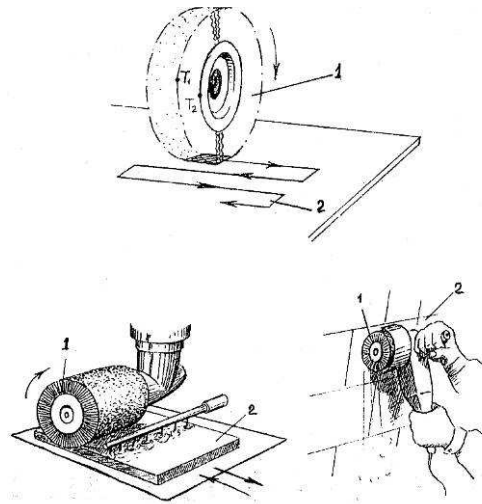


Рис. 6.12. Обробка полімерно-абразивними інструментами:  
 1 – щітковий інструмент; 2 – оброблювана поверхня

### Запитання для самоперевірки

1. Від яких чинників залежить продуктивність виконання зачисної операції?
2. Опишіть операції із зачищення металевих поверхонь та зняття шару металу.
3. Опишіть оптимальні положення шліфувальної машини під час зачищення металеві поверхні.
4. Як слід виконувати зачищення або видалення дефектних ділянок зварних швів?
5. Що собою являє операція із зачищення кореня зварного шва?
6. Опишіть конструкції та призначення пелюсткових кругів, сітчастих та фібрових дисків, металевих щіток.
7. Наведіть принципову схему отримання полімерно-абразивного волокна.
8. Опишіть схему промислової технології збирання щітки.

## 7. РІЗАННЯ КАМЕНЮ

### 7.1. Особливості різання каменю

Різання природних і штучних кам'яних матеріалів є масовою операцією, в процесі виконання якої обробці підлягає широка гама матеріалів з різними фізико-механічними властивостями [3].

У виробництві тепломонтажних робіт підлягають різанню вогнетривкі вироби з метою отримання деталей певного профілю, зокрема половинок цеглини, вогнетривких виробів інших фасонів. Наприклад, під час мурування водонагрівача доменної печі об'ємом 2700 м<sup>3</sup> в кожному з 610 рядів по 4-6 замкових цеглини підлягають конструктивному різанню по місцю, тобто понад 3000 штук. Слід зазначити, що майже на 95% мурування складається з вогнетривкої цегли і лише 5% – з вогнетривких блоків. Вироби з природного каменю, що надходять на будівельний майданчик, повинні мати максимальний ступінь заводської готовності. Проте без передмонтажної обробки на об'єкті обійтися неможливо, оскільки облицювальні плити постачають в погонажному вигляді, а особливості кожної будівлі (прорізу у фасадах, внутрішніх стін і перегородок, розмір приміщень) потребують обов'язкового розрізання значної частини плит. Крім того, на будівельних об'єктах доводиться виправляти дефекти поставленої продукції, пов'язані з недотриманням геометричних розмірів, тріщинуватість каменю, відколи, обломи тощо. Різанню підлягають також вироби з бетону і залізобетону. Специфіка цих робіт зумовлює вибір інструменту й устаткування для виконання відрізних операцій.

Для різання вогнетривів і бетону використовують верстати з алмазними й абразивними робочими інструментами. Особливості конструкції верстатів, різальним інструментом у яких є алмазний диск: жорстке закріплення робочої головки, підвищена жорсткість вузла шпинделя, а також наявність точно оброблених напрямних. Переносні установки для різання вогнетривів абразивними армованими кругами мають значно меншу масу, їх використовують для роботи безпосередньо на монтажному майданчику. З метою запобігання пилоутворенню, що виникає в процесі різання абразивними й алмазними кругами, круг змочують водою, при цьому верстати обладнані системами, які забезпечують її замкнуту циркуляцію.

Крім міцності на одноосне стиснення, особливе значення має здатність каменю зношувати інструмент, що контактує з ним, або інше тверде тіло в процесі тертя. Цю здатність каменю, яка залежить від його фізико-механічних властивостей і структурних особливостей, називають **абразивною**.

Поняття абразивності, так само, як і твердості, не має певного формулювання, його розмірність за різними методами досить різна, тобто абразивність є суто технічним, але не фізичним поняттям. Оцінка абразивності має відносний характер.

Робочі органи, а також ходові частини і деталі будівельних машин, що зазнають абразивної дії каменю або інших будівельних матеріалів, інтенсивно зношуються, через що їх доводиться замінювати.

Природні кам'яні матеріали, зокрема туфи, шамотні вогнетривкі вироби, є високоабразивними. Визначення абразивності становить практичний інтерес, оскільки знання абразивних властивостей дає можливість вибрати ефективний різальний інструмент, отже, знизити вартість обробки.

Застосовують декілька методів визначення абразивності. Найбільшого поширення набув метод визначення абразивності гірських порід, запропонований Л.І.Бароном і А.В.Кузнецовим, який дає змогу оцінювати абразивність якісно і кількісно.

Запропонована авторами методу установка на базі звичайного настільного свердлильного верстата дуже проста і зручна для проведення експериментів. Суть випробування полягає в стиранні об'язок породи еталонного стрижня з незагартованої сталі-сріблянки, який обертається з певною швидкістю під певним осьовим навантаженням, з подальшим визначенням вагового зношення.

За критерій абразивності беруть втрату у вазі стрижня за певний час випробування.

Показник абразивної породи обчислюють за формулою:

$$A = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (7.1)$$

де  $A$  – показник абразивності, мг;  $q_i$  – втрата ваги еталонного стрижня за кожен парний дослід;  $n$  – кількість парних дослідів.



Аналіз результатів виявив тенденцію: що більша міцність каменю, то вища абразивна здатність породи. Проте між міцністю каменю і його абразивністю немає закономірного зв'язку. Наприклад, туфи значно абразивніші за мрамур, а шамотні вогнетриви – навіть за граніт. Зважаючи на те, що шамотні вироби є високоабразивними, їх оброблення абразивними армованими кругами у 2...2,5 рази дешевше за оброблення алмазними дисками.

Під будівельним каменем розуміють широку групу природних матеріалів, які використовують для спорудження будівельних конструкцій. У сучасній архітектурі віддають перевагу штучним будівельним матеріалам (цегла, бетон, кераміка, полімери та ін.), проте природний камінь досі не втратив значення. Легкі його різновиди (туфи, вапняки, ракушняки), які мають високі теплотехнічні показники, використовують як стінний, а щільніші, що вирізняються різноманітністю кольорів і малюнка, – як оброблювальний (облицювальний) матеріал.

Нині спостерігається чітка тенденція до безумовного переважання штучного каменю над природним. З огляду на гігантський масштаб будівництва блокові стінні матеріали з природного каменю майже повністю замінені бетоном.

**Кам'яні будівельні матеріали** охоплюють широку номенклатуру виробів з гірських порід, а саме: рваний камінь неправильної форми (бут, щебінь та ін.), вироби правильної форми (блоки, штучний камінь, плити, бруски), профільовані вироби та ін. Відповідно до специфіки технології, їх поділяють на три групи.

Під *нерудними матеріалами* в будівельній промисловості розуміють камінь, який використовують у вигляді напівпродукту, призначеного для виробництва штучних матеріалів (бетону); під «штучним» стінним каменем – кам'яні матеріали правильної геометричної форми, одержані безпосередньо з гірського масиву за допомогою спеціальних механізмів, а облицювальним (рівнозначна назва – декоративний) називають **природний камінь**, який за своїми естетичними властивостями після належної переробки придатний для оздоблювальних робіт [14].

До **штучного стінного каменю** належить досить невелика група порід (вапняк, доломіт та ін.), тоді як група оздоблювального каменю охоплює значно більшу їх кількість, а саме: граніт, лабрадорит, габро, мрамур, туфи та ін. [15].

Кам'яні будівельні матеріали поділяють на три групи: тверде, середньої твердості і м'яке каміння [11].

До **твердих каменів** належать граніт, габро, лабрадорит та інші, у будівельній практиці використовувані як оздоблювальний матеріал. Тверде каміння оброблюють алмазними, а також відколювальними інструментами.

**Каміння середньої твердості** охоплює велику групу гірських порід – мармур, вапняк, туф, легко оброблюваних не тільки алмазними й абразивними інструментами, а й твердосплавними.

До **м'якого каміння** належить незначна група каміння, зокрема гіпс, вапняковий ракушняк. Ці породи легко обробляються твердосплавним, абразивним і алмазним інструментами і є досить недорогим облицювальними матеріалами.

Згідно із статистичними даними 2002 року видобуто 67,5...69,67 млн т (приблизно 25,5...26,3 млн м<sup>3</sup>) блоків природного каменю і виготовлено 736,75...759,4 млн м<sup>2</sup> виробів (у перерахунку на еквівалентну плиту завтовшки 20 мм). **Розподіл видобутої блокової сировини за видами порід** має такий вигляд:

- граніти та інші міцні породи – 37,0%;
- мармури, мармузовані вапняки, травертини, онікси та ін. – 57,8%;
- інші види каменю (неполіровані вапняки, пісковики, туфи тощо) – 5,2%.

Загальна чисельність працівників у виробництві облицювального каменю становила 1,5...1,6 млн чоловік.

Лідером у світовому видобутку (17%) природного каменю є Китай. Граніт становить 70% загального об'єму блоків, які видобувають у цій країні.

Друге місце у світі посідає Італія (з видобутку мармуру і травертину – перше місце).

До десятки найбільших виробників облицювального каменю належать також Іран, Індія, Іспанія, Бразилія, Туреччина, Португалія, США, Греція.

У згаданих країнах виробляють понад 75% облицювального каменю. На частку України припадає 0,5% світового видобутку природного каменю.

Найпоширенішими виробами з природного каменю є плити і деталі муровання, архітектурно-будівельні, облицювальні і ритуальні.

Протягом усієї історії розвитку дуже давньої і надзвичайно трудомісткої професії каменярів винайдено чимало різноманітних прийомів, способів і технологій видобування і розмірного оброблення природного каменю, а також пристосувань та інструментів. Серед цього різноманіття алмазним інструментам належить особливе місце.

## 7.2. Алмазний інструмент для різання каменю

Розглянемо основні різновиди алмазних інструментів для каменеобробки (рис. 7.1). Першими і найчисленнішими представниками цього класу інструментів є, безумовно, алмазні відрізні круги. Дискретні алмазні різальні сегменти або суцільний алмазний шар розміщені тільки на твірній диска. Типорозміри сучасних інструментів за діаметром вимірюють у межах від 100 до 5000 мм.

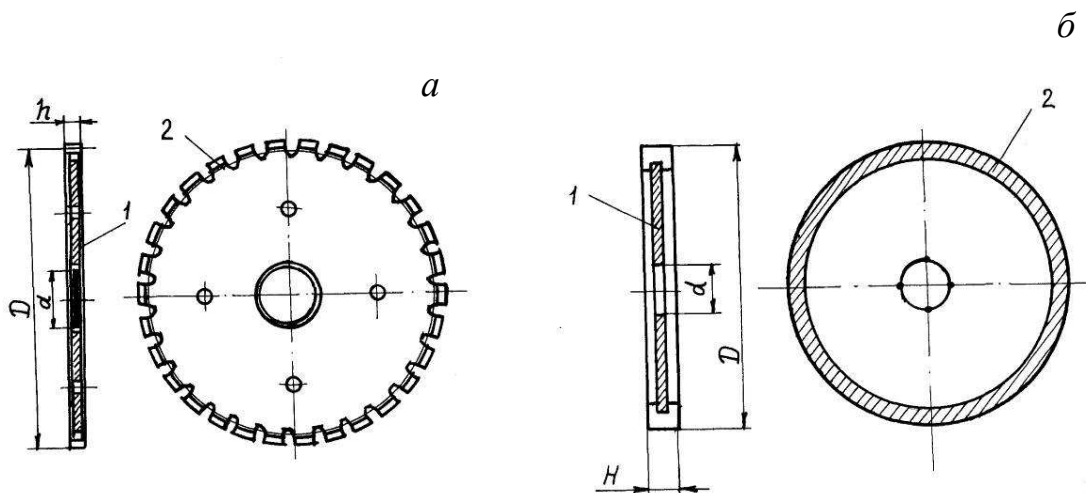


Рис.7.1 Відрізнний алмазний диск:

*a* – сегментний; *б* – із суцільною різальною кромкою;  
*1* – металевий корпус; *2* – алмазний прошарок

Швидкість різання цими високонавантаженими інструментами варіюється відповідно в межах від 20 до 80 м/с, а швидкість знімання породи – в межах від 120 до 1800 мм<sup>3</sup>/с. При цьому на ресурс роботи інструмента впливають чинники абразивності, твердості й однорідності оброблюваної породи, а також кінематичний режим різання й умови охолодження. Крім того, до різальних алмазних інструментів належать відрізні круги малого розміру для ручних машин. У цих інструментах використовують різальні сегменти різних типорозмірів, виконаних з

композиційних алмазовмісних матеріалів. Вони мають деякі відмінності, що зумовлюють склад вживаних зв'язок, зернистість і марку алмазів (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

**Основні типорозміри алмазних відрізних сегментних кругів  
(1A1RSS/C1 та 1A1RSS/C2)**

Діаметр круга D, мм	Діаметр посадкового отвору d, мм	Ширина різального алмазного сегмента Н, мм	Довжина сегмента L, мм	Кількість сегментів на крузі, штук
250	32	2,6	24	24, 26
300	50	Те ж	40	21
315	63	3,0	21	30
320	60	Те саме	Те саме	Те саме
400	90	3,2	40	24, 27
Те саме	80	Те саме	Те саме	Те ж саме
410	60	3,6	«	«
500	90	3,8	«	30, 34
630	Те саме	4,2	«	36, 44
800	«	5,5	«	48, 56
1000	120	6,5	24	72, 110
1100	120(90)	Те ж саме	Те саме	78
1250	Те саме	7,0	«	90

Різним є й уміст алмазу у сегментних кругах, найчастіше застосовуваних у камінеобробній промисловості (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

**Маса алмазів, каратів**

Діаметр круга, мм	Концентрація, %			
	25	50	75	100
500	25,01	50,1	75,15	100,2
1000	61,56	123,12	1184,68	246,2
1250	82,8	165,6	248,4	331,2
1600	120,87	241,74	362,61	483,48

**Алмазовмісні сегменти** є різальним елементом, розміри якого строго регламентовані. Сегменти складаються з алмазозного (зовнішнього) шару і безалмазного (внутрішнього), виконаного з металу. Сегменти закріплюють на сталевому диску. Якість алмазного круга

оцінюють за його ресурсом, тобто максимальною площею, яку він здатен розрізати.

Спираючись на дві емпірично пов'язані між собою характеристики (кінематичну і силову) можна інтегрально визначити термомеханічні умови контактної взаємодії алмазного інструмента з оброблюваним середовищем. Далі на підставі результатів можна сформулювати початкову концепцію вибору алмазів достатньої міцності, зернистості, об'ємної концентрації відповідно до умов зв'язку і технології спікання композиту.

Можна простежити постадійність можливих необоротних змін фізико-механічних властивостей круга: унаслідок спікання композитів; паяння спечених різальних елементів до корпусу інструмента; термічний вплив за час циклу взаємодії інструмента з породою в зоні різання. Спікання алмазних композицій залежно від використовуваних металевих зв'язок і способів спікання відбувається за температури від 800 до 1150 °С. При цьому істотно знижується міцність алмазів, ступінь якої залежить від температури і тривалості її дії.

Контактна взаємодія алмазного інструмента з оброблюваною деталлю відповідно до теорії, що описує теплофізичні процеси під час механічної обробки твердих тіл абразивним інструментом, відбувається з інтенсивним тепловиділенням. Розрахункові оцінки свідчать, що температура може сягати 800...1100 °С і вище.

Переважну більшість інструментів виготовляють на основі металевих зв'язок (за винятком полірувальних інструментів, у яких функціональні елементи виконані на полімерних зв'язках з температурою полімеризації, значно нижчою за рівень прояву негативного впливу теплового чинника на міцнісні властивості алмазів). В основу формування металевих зв'язок для **каменеобробних інструментів покладено систему принципів вимог**. Одна з перших – змочування алмазів, далі – відносно невисока температура спікання, високі міцність, твердість, теплопровідність і зносостійкість. Застосування алмазних інструментів для оброблення високоабразивних середовищ зумовило потребу в додаванні до складу зв'язок різноманітних твердих дисперсних матеріалів, таких як порошки карбідів бору, вольфраму або титану й інших, які підвищують опір зв'язок абразивному зношенню. Головним критерієм у концепції вибору зв'язки є принцип однакової інтенсивності зношення алмазів і зв'язки.

Ця умова є визначальною у виборі відповідного технологічного способу і параметрів режиму спікання композиту загалом.

Взаємодія в системі «алмаз – зв'язка» також посідає важливе місце в загальній концепції якості композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ), оскільки необхідно забезпечувати якісне алмазотримання – це не тільки надійне стікання теплового потоку крізь зерно алмаза із зони контактної взаємодії у зв'язку, а й ефективне використання алмаза аж до механічного видалення зерна із зв'язки в процесі роботи інструмента. Високої якості досягають завдяки ретельному відбору компонентів зв'язки, для її надійної взаємодії з алмазом, а також за допомогою спеціального покриття, яке наносять різними способами на поверхню алмаза. У формуванні покриття перевагу віддають карбідоутворювальним металам.

**Спікання композиційних алмазовмісних матеріалів** виконують методом гарячого пресування протягом 20-40 хвилин. Така тривала теплова дія не може не справляти негативного впливу на міцнісні властивості алмазів, навіть якщо спікання відбувається в захисному або відновному середовищі і зміни не тільки відомі, а й регламентовані технологією спікання цього класу композитів за певних експлуатаційних умов.

В Інституті надтвердих матеріалів НАНУ для виготовлення КАМ за максимального збереження початкових властивостей алмаза й досягнення належної твердості спеченої зв'язки застосовують спосіб електроспікання. Гаряче пресування композиту виконують за допомогою нагрівання, пропускаючи струм значної сили крізь спечений брикет за зовнішнього прикладання тиску. Такий метод дає змогу скоротити тривалість процесу спікання і практично запобігти розміцненню алмаза. Закріплення сегментів у корпусах інструментів за допомогою лазерного і контактного зварювання сприяло розширенню сфери застосування алмазного інструменту, зокрема для різання каменю й асфальту без охолодження.

У процесі виробництва облицювальних плит алмазні круги виконують одну з взаємопов'язаних операцій з обробки каменю, тому їх несправність неминуче спричинює порушення технологічного процесу. Такі явища особливо неприпустимі з огляду на різке підвищення продуктивності верстатів, якими оснащена сучасна каменеобробна промисловість, а також чітке співвідношення кількості устаткування. Наприклад, завдяки застосуванню алмазного інструменту в розпилювальних верстатах найновіших конструкцій продуктивність у деяких випадках підвищено в п'ять разів.

### 7.3. Технологічні показники різання каменю алмазним інструментом

Особливо ефективні відрізні алмазні круги у використанні їх на твердих породах, таких як граніт, у процесі різання яких відбувається найінтенсивніше зношення інструменту. Зношення пояснюється насамперед складом породи (більший або менший уміст кварцу), розмірами кристалів її складових, абразивом тощо. Не менш важливу роль відіграє режим роботи круга, вибір якого значною мірою залежить від оператора.

Об'єм зруйнованого в процесі різання каменю може бути виражений через швидкість подачі і перетин різку:

$$Q_K = V_{\Pi} h_p b_p, \quad (7.2)$$

де  $Q_K$  – об'єм каменя, руйнованого під час різання, м<sup>3</sup>/с;  $V_{\Pi}$  – швидкість подачі, м/с;  $h_p$  – висота (глибина) різку, м;  $b_p$  – ширина різку, м.

Камінь руйнується внаслідок дії певної кількості зерен алмазу, які проходять за одиницю часу через пропил. Їх кількість може бути визначена з виразу

$$N_3 = N_{3y} V_p, \quad (7.3)$$

де  $N_3$  – кількість алмазних зерен, які виконують роботу різання;  $N_{3y}$  – кількість зерен, яка припадає на 1 м довжини круга (питома);  $V_p$  – швидкість різання, м/с.

У такому разі на кожне зерно припадає певний об'єм зруйнованого каменю, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_{\text{ОД}} = \frac{Q_K}{N_3} = \frac{V_{\Pi} h_p b_p}{N_{3y} V_p}. \quad (7.4)$$

На підставі цього виразу можна дійти таких висновків:

– одинична робота зерна  $Q_{\text{ОД}}$  тим менша, чим вища концентрація (кількість зерен, що припадає на одиницю поверхні пропорційно концентрації) і більша швидкість різання;

– чим більші швидкість подачі столу  $V_{\Pi}$ , висота  $h_p$  і ширина  $b_p$ , тим більша питома робота алмазного зерна.

Таким чином, раціонального режиму роботи верстата досягають за оптимальних значень подачі і глибини різання.

**Швидкість подачі** є одним з найважливіших параметрів різання каменю дисковими пилами, від якого значною мірою залежить і продуктивність, й економічність операції. Теоретичне визначення цього параметра допускає два рішення: з позиції можливого розміщення продуктів руйнування у вільному просторі між абразивними зернами або за умови допустимого занурення алмазних зерен в розрізуваний камінь. Очевидно, що в разі порушення першої умови круг виявиться «засаленим», тобто між різальними зернами і «забоєм» утворюється запресована маса продуктів руйнування, що унеможлиблює продуктивне різання. Недотримання другої умови, тобто доведення швидкості подачі до значень, за яких зерна алмазу перестають міцно триматися у зв'язці (наприклад, в разі оголення їх на 50% діаметра і більше), різко знижує ресурс круга.

**Граничний об'єм**  $W_1$ , який може бути заповнений продуктами руйнування, можна визначити з виразу ( $\text{мм}^3$ ):

$$V_1 = (V_0 - V_h), \quad (7.5)$$

де  $V_0$  – об'єм вільного простору, визначуваного довжиною контакту інструмента з каменем, шириною різку і висотою, яка дорівнює величині робочої частини алмазного зерна,  $\text{мм}^3$  ( $3/4$  радіуса);  $V_h$  – сумарний об'єм зерен, які виступають уздовж контакту алмаза і зв'язки,  $\text{мм}^3$ .

**Об'єм продуктів руйнування** в цьому просторі на площі  $1 \text{ см}^2$ , становить

$$V = \frac{K_1}{K_2} V_1, \quad (7.6)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, який відображає пористість оброблюваного каменю, що становить для мармуру і граніту 1 і для вулканічних туфів – від 1,1 до 2,33;  $K_2$  – коефіцієнт розпушування, що дорівнює 1,3...1,54.

Згідно з розрахунками швидкість подачі під час окантування звичайно не лімітується наявністю вільного простору між робочими зернами, у якому повинні розміститися продукти руйнування. Причини, від яких залежить межа швидкості подачі, полягають у тому, що є обмеження допустимого звільнення зерен алмазу від зв'язки. Висота



алмазного зерна, що бере участь у роботі, не повинна перевищувати  $3/8$  його діаметра, інакше зерна, закріплені недостатньо міцно, легко випадають. Зменшення глибини різання і подачі дає змогу збільшити зносостійкість алмазного круга, але при цьому знижується виконувана їм робота.

У табл. 7.3 наведено характеристику зношення алмазних зерен відрізного круга.

За оптимальних режимів різання переважає руйнування перших двох видів. Порушення режиму (підвищення швидкості різання, подачі, а також збільшення глибини різі) спричинює розколювання зерен і їх виривання.

**Питома витрата алмазу** зростає інтенсивніше у разі підвищення швидкості подачі, ніж за збільшення глибини різі. Це явище можна пояснити зростанням зусиль, що сколюють алмазне зерно за збільшення швидкості подачі внаслідок більшого заглиблення його в камінь. Зношення алмазних зерен, яке при цьому спостерігається, має характер сколювання, але часто вони випадають з інструмента цілком.

Таблиця 7.3

**Характер зношення алмазних зерен у різальному інструменті**

Вид зношення	Схема	Характеристика
Затуплення		Згладжування гострих кромek та утворення площинok зношення
Сколювання		Сколювання незначної частини зерен з утворенням нових різальних граней
Розколювання		Утворення тріщин, відколювання значної частини зерен
Виривання		Цілковите випадіння зерен

**Швидкість різання** залежить від конструкції верстатів і не може бути довільно встановлена, а регулюється в певних межах зміною діаметра відрізного круга. Оптимальні значення швидкості різання залежать від міцності каменю. Наприклад, для каменю з межею міцності

за стиснення до 40 МПа швидкість різання становить 35...80 м/с, а гранітів – 25...30 м/с.

Підвищення швидкості різання знижує питому роботу кожного зерна, проте збільшує динамічність їх дії на камінь.

Особливо важливого значення правильний режим відрізного алмазного круга набуває в разі різання каменю твердих порід: від швидкості різання і подачі, а також глибини різку залежить витрата алмазу.

**Оптимальна швидкість різання** граніту, як з'ясувалося під час численних дослідів, становить 25...30 м/с, саме на таку швидкість розраховують конструкцію верстата. Вплив швидкості подачі в межах значень 0,2...0,4 м/хв дає змогу залишати витрату алмазу на мінімальному рівні (близько двох каратів на кожен квадратний метр різку). У міру відхилення від оптимальних значень у бік зниження чи збільшення швидкості подачі витрата алмазу зростає, відповідно змінюється і ресурс круга. Зниження ресурсу круга за швидкості подачі, меншої від 0,2 м/хв, можна пояснити збільшенням шляху тертя. Працездатність відрізного круга визначають з виразу:

$$S = \frac{Q_K}{\Delta U}, \quad (7.7)$$

де  $Q_K$  – загальна кількість алмазу в інструменті, карат;  $\Delta U$  – питома витрата алмазу, карат/м<sup>2</sup>.

Під час різання каменів середньої твердості алмазний круг з правильно вибраними параметрами стирається рівномірно і завдяки своєчасній заміні зношених зерен на нові не втрачає своєї працездатності.

Унаслідок оброблення каменю твердих порід час від часу може виникати потреба його «правити», для чого цим кругом виконують декілька різів по високо абразивному каменю або карборундовому бруску. Після цієї операції деяка частина інструмента витрачається, тоді формула (7.7) визначення працездатності круга набуває вигляду

$$S = \frac{Q - q}{\Delta U}, \quad (7.8)$$

де  $q$  – втрати алмазу після «правки» круга, карат.

Аналогічне явище можна спостерігати і внаслідок зміни глибини різання: під час різання на глибину 15-20 мм питома витрата алмазу

нижча, ніж у разі глибших занурень круга. Проте в такому випадку багаторазове повернення в той самий пропил може виявитися менш економічно вигідним, ніж різання на велику глибину.

За критерій оцінювання правильності обраного режиму різання алмазним кругом може бути взятий показник  $\sum_3$ , що є комплексом найважливіших витрат під час виконання окантування. Основні змінні параметри операції є  $V_{\Pi}$  і  $h_p$  (третій параметр  $V_p$  залишається постійним) для граніту 25 і для мармуру – 35 м/с. Таким чином, задача зводиться до знаходження мінімуму функції:

$$\sum_3 = f(V_{\Pi} h_p). \quad (7.9)$$

**Питомі витрати на робочу силу  $C_p$**  для окантування  $1\text{ м}^2$  плит обчислюють за формулою

$$C_p = \frac{E_0}{\Pi_E}, \quad (7.10)$$

де  $E_0$  – тарифна ставка оператора, грн/год;  $\Pi_E$  – експлуатаційна продуктивність.

**Питомі витрати на амортизацію устаткування  $C_a$ .**

$$C_a = \frac{C_{об} \cdot a}{100} \frac{1}{350 \Pi_E}, \quad (7.11)$$

де  $C_{об}$  – вартість устаткування, грн;  $a$  – річні амортизаційні відрахування, %;  $C_u$  – питома витрата алмазного інструмента ( $C_u = C \Delta u K^1$ , де  $C$  – вартість інструмента, грн/карат;  $\Delta u$  – витрата інструмента на  $1 \text{ м}^2$  різку;  $K^1$  – коефіцієнт перерахунку розміру площі пропили на площу окантованих плит, що дорівнює 0,136).

**Питома витрата електроенергії  $C_E$ :**

$$C_E = \frac{E \left( N_{X.X} \frac{T - t_p}{T} + N_p \frac{t_p}{T} \right)}{\Pi_E}, \quad (7.12)$$

де  $E$  – вартість 1 кВт·год, грн;  $N_{X.X}$  і  $N_p$  – потужність, яка витрачається відповідно на холостий хід і на різання, кВт;  $t_p$  – час на різання за один робочий цикл, хв;  $T$  – загальний час робочого циклу, хв.

Оптимальні витрати  $\sum_3$  на окантування (рис. 7.2) залежно від значень  $V_{II}$  і  $h_p$  нижчі, ніж на розпилювання через меншу глибину різання. Це пояснюється тим, що витрати на алмазний інструмент зростають лише за великої глибини різання.

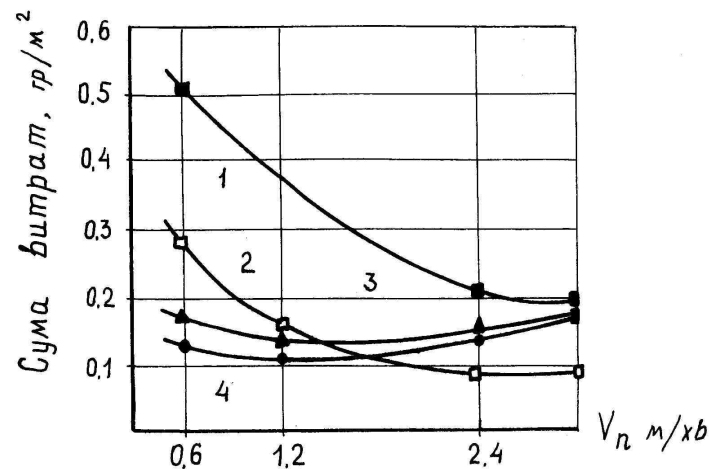


Рис. 7.2. Залежність сумарних витрат на окантування травертину від глибини різання і швидкості подачі:

1 – глибина різання 25 мм; 2 – 50 мм; 3 – 100 мм; 4 – 150 мм

**Алмазно-дискове різання каменю** – процес, зумовлений конструкцією устаткування, видом сировини, характеристикою гірської породи, розмірами облицювального матеріалу та іншими чинниками.

У каменеобробному виробництві найбільш поширене різання каменю одиничним або багатодисковими інструментами (рис. 7.3).

Для алмазно-дискового різання характерні чотири основні технологічні параметри: швидкість різання (колова), швидкість робочої подачі, глибина різання, витрата охолоджувальної рідини (води).

**Швидкість різання  $V_p$**  значною мірою зумовлена фізико-механічними властивостями гірських порід. Загальні правила вибору раціональних значень швидкості алмазно-дискового різання зводяться до такого:

– з мінімальною швидкістю різання (до 20...25 м/с) розпилюють породи підвищеної міцності (граніти, кварцити тощо);

– середнє значення швидкості різання (35...45 м/с) прийнятне для порід середньої міцності (мармури, мармуровані вапняки та ін.);

– з високою швидкістю різання (50...60 м/с) обробляють високоабразивні нізкоміцнісні породи (вапняки, пісковики, вулканічні туфи та ін.) За підвищеної жорсткості верстата і наявності запасу потужності електроприводу швидкість різання цих порід може бути доведена до 80 м/с.

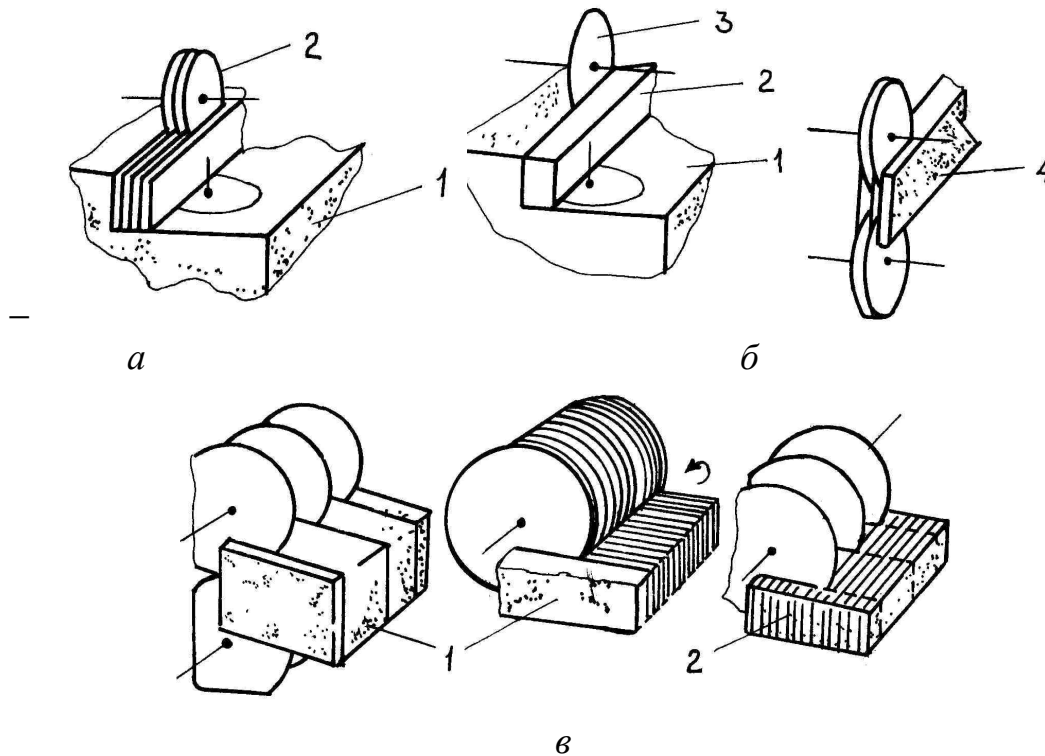


Рис. 7.3. Схема виготовлення плит безпосередньо з блока:  
а – одностадійна; б – двостадійна; в – трестадійна

**Швидкість робочої подачі  $V_{II}$ , м/хв і глибина різання  $H$ , мм** – два взаємозв'язаних параметри. Вплив глибини різання і швидкості робочої подачі на продуктивність верстата практично однаковий. Для підтримання продуктивності на постійному рівні в разі зниження швидкості подачі треба збільшувати глибину різання, і навпаки. Зважаючи на те, що збільшення глибини різання дає можливість скоротити витрати часу на виконання деяких допоміжних операцій, рекомендовано, якщо є змога, обирати максимальні значення цього параметра. Практично глибина різання обмежується висотою (товщиною) розрізуваного матеріалу, розміром алмазного диска, вимогами до прямолінійності пропилу і площиною поверхні різ.

Камінь середньої міцності і низькоміцнісний (вапняк, туф, мармур, травертин, доломіт та ін.) можна розпилювати за один прохід інструмента на максимально можливу глибину, що допускається алмазною дисковою пилою і потужністю електроприводу (щодо багатодискових верстатів, то вибір глибини різання зазвичай зумовлений товщиною заготовки). Базальти, габро, лабрадорит розрізують на глибину 60...100 мм за один прохід, у деяких випадках (за умови доброго розкриття алмазів і наявності відрегульованого механізму робочої подачі) – на максимально можливу для певної пилки глибину. Міцні важкооброблювані породи звичайно розрізають за багатопрхідним методом з глибиною різання за один прохід до 20...30 мм.

Слід мати на увазі, що збільшення глибини різання за один прохід у процесі алмазно-дискового розпилювання міцних порід часто призводить до засалювання робочого інструмента, що потребує його періодичного виправлення (розкриття).

Важливе технологічне значення (переважно під час розпилювання каменю за один прохід) має правильний вибір схеми алмазно-дискового розпилювання: «по подачі» чи «проти подачі». Перша схема переважає за алмазно-багатодискового розпилювання каменю, оскільки вертикальна складова зусилля різання в такому разі спрямована вниз (до столу), що сприяє притискуванню заготовки, тобто покращує її фіксацію [13].

**Витрата охолоджувальної рідини (води)** справляє значний вплив на ефективність експлуатації дискових пилок. Крім охолодження різального інструмента, вода слугує для видалення шламу з пропилу. За недостатнього надходження на інструмент рідини різко зростає витрата алмазів. Про замалу подачу води свідчить поява пилу в зоні роботи інструмента, а також іскріння пилок під час різання каменю підвищеної міцності.

Для наближеного визначення раціональної витрати води (на одну алмазну дискову пилку, л/хв) потрібно величину зовнішнього діаметра пилки (у мм) розділити на 25. При цьому тиск у системі водоподачі повинен бути не нижчим за 0,3 МПа.

**Розглянемо технологічні особливості основних різновидів процесів алмазно-дискового розпилювання.**

**Розпилювання одиничним інструментом** виконують звичайно на порталних і мостових верстатах, оснащених пилками більшого діаметра (1250...3000 мм і більше). Іноді на таких верстатах є дві

автономні робочі головки, кожна з яких несе по одній алмазній пилці. Головна мета розпилювання одиничним інструментом полягає у випилюванні потовщених заготівок (для архітектурно-будівельних виробів, деталей пам'ятників тощо).

**Робочий цикл розпилювання** охоплює такі основні операції: вибір блока і його встановлення на верстатний візок, підготовка верстата до роботи, розпилювання, зупинка верстата і прибирання робочого і навколостаночного простору.

**Вибирають блок для розпилювання** на складі блокової сировини. При цьому основну увагу звертають на монолітність каменя – не повинно бути наскрізних тріщин. Блок може мати неправильну форму, проте слід прагнути до того, щоб одна з його граней (постіль) була досить плоскою для надавання блоку достатньої стійкості. Крім того, слід контролювати розміри блоку, зіставляючи їх з розмірами робочого простору верстата. Особливо важливо, щоб висота блока (за максимальним розміром) співвідносилася з діаметром дискової пили. Так, максимальна висота блока залежно від зовнішнього діаметра алмазної дискової пилки становить: за діаметра 1250 мм – 450 мм, за 1400 мм – 500, за 1600 мм – 550, за 2000 мм – 700, за 2500 мм – 950, за 2700 мм – 1050 і за 3000 мм – 1200 мм.

**Багатодискове різання** є одним з найпродуктивніших видів розпилювання у масовому виробництві плит-заготівок обмеженої товщини. Кількість пилок, що одночасно беруть участь в процесі різання, може сягати 25 і більше. В той же час розпилювані блоки (заготівки) мають обмежені розміри, їх висота звичайно не перевищує 400 мм.

На технологічні особливості багатодискового розпилювання впливають як фізико-механічні властивості оброблюваного каменю, так і конструкція устаткування.

Камінь низькоміцнісний і середньої міцності розпилюють звичайно на верстатах з конвейерною подачею, де робочий процес триває безперервно, міцний камінь – на позиційних верстатах із застосуванням багатопрохідних методів різання. Відповідні характерні особливості має і структура робочих циклів цих процесів.

З огляду на швидкоплинність процесів алмазно-багатодискового розпилювання початкова сировина у вигляді блоків або брусків-заготівок надходить безпосередньо з попередньої стадії обробки (попереднього розпилювання) або зі складу, розміщеного в безпосередній близькості до

багатодискового верстата. До блоків (заготівок) висувають підвищені вимоги щодо форми і монолітності (тріщини в камені не допускаються).

**Загальна принципова структура робочого циклу багатодискового розпилювання складається з таких операцій:** підготовка верстата до роботи, укладання блоків (заготівок) на стіл (конвеєр) верстата, розпилювання, зняття розпиляних плит, зупинка верстата і прибирання робочого і навколостаночного простору.

Підготовка верстата до роботи складається з двох етапів (попередня і остаточна). Особливу увагу звертають на стан алмазного інструмента, а також на плавність регулювання і рівномірність подачі.

Насамкінець розглянемо **умови раціонального застосування алмазних дискових пилок.**

Ефективність застосування алмазних дискових пилок залежить від багатьох чинників: конструктивних особливостей інструмента, режиму різання, характеристики алмазозносного прошарку, умов експлуатації та ін.

У виборі конструктивного виконання дискових сегментних пилок (з природних і синтетичних алмазів) насамперед слід брати до уваги функціональне призначення й умови експлуатації інструмента. Пилки з вузькими міжсегментними пазами доцільно використовувати для різання твердих різновидів природного каменю (граніт, лабрадорит, габро, базальт та ін.), а також в умовах, що супроводжуються високими питомими навантаженнями на робочу поверхню інструмента (однопрохідне різання з невеликою глибиною пропилю) незалежно від виду оброблюваного матеріалу. Найкращого результату за допомогою цього інструмента досягають і тоді, коли як основну технологічну вимогу висувають збереження цілісності кромки оброблюваного виробу.

Пилки з широкими (нормальними) міжсегментними пазами призначені для різання природного каменю середньої твердості і м'яких порід (вапняк, туф, доломіт, мармур), а також деяких видів твердих порід каменю, коли робочий процес здійснюється з великою глибиною пропилю. Загальною умовою, що визначає вибір інструмента такого конструктивного виконання, може бути потреба в розпилюванні з великою продуктивністю й об'ємами руйнування. Завдяки більшим міжсегментним відстаням в інструменті поліпшують умови охолодження і винесення дрібнодисперсних продуктів руйнування, процес різання стає менш енерговитратним. Зменшення енергоємності різання має велике значення в практиці роботи багатодискових



розпилювальних верстатів, у створенні яких одним з основних чинників є можливість дотримання потрібної потужності приводу обертання.

Обираючи раціональні параметри характеристики алмазозносного прошарку, слід мати на увазі комплексну оцінку кожного з них, оскільки всі вони взаємопов'язані і потрібного ефекту можна досягти тільки в результаті правильно вибраного поєднання.

Економічність процесу різання істотно залежить від технологічних режимів роботи інструменту, роль яких у формуванні основних параметрів, що визначають кінематику, силову картину і зношення, – вирішальна. Основні рекомендації щодо раціональних параметрів характеристики алмазозносного прошарку і режимів різання різних порід природного каменю представлені в табл. 7.4.

Слід зазначити, що велика різноманітність властивостей природного каменю навіть в межах згаданих груп, відмінність в характеристиках алмазів і різноманіття технологічних вимог до робочого процесу зумовлюють певні тенденції у виборі рекомендованих параметрів. Зокрема, до оброблюваних матеріалів підвищеної твердості слід застосовувати пилки з меншою зернистістю і більшою концентрацією; за значних питомих навантажень на робочу поверхню інструмента, коли процес різання відбувається з великими швидкостями подачі і малою глибиною пропилю, також більш ефективним є застосування інструментів з більшою концентрацією алмазів. Щодо алмазозносного прошарку, то за більшої твердості каменю і міцності алмазних зерен треба прагнути до зменшення окружної швидкості різання, що визначає умови охолодження і динаміку взаємодії робочої поверхні інструмента з оброблюваним матеріалом.

Окрім конструктивного виконання інструмента, у розв'язанні проблеми дотримання цілісності кромки виробу одним із сприятливих чинників є також менша твердість зв'язки і застосування алмазних порошоків дрібніших фракцій.

За критерієм зношення інструменту схема різання («по подачі» або «проти подачі») не має істотного значення в обробці порід каменю середньої твердості і м'яких. Під час різання твердих різновидів матеріалу «по подачі» зносостійкість знижується на 15...20%; енергоємність руйнування практично не залежить від схеми роботи. Слід мати на увазі, що для різання «по подачі» вертикальна складова сили різання спрямована в бік оброблюваного виробу, сприяючи

стійкішому його положенню на столі верстата, тому її доцільно застосовувати для оброблення малогабаритних і легких виробів, що потребують надійного закріплення, а для розпилювання виробів великої маси – «проти подачі».

#### **7.4. Правила експлуатації алмазних інструментів**

Працездатність і довговічність алмазної пилки багато в чому залежать від її встановлення. Пилка повинна бути жорстко закріплена, оскільки вібрація виконавчого органа під час роботи збільшує зношення інструмента.

Одна з умов нормальної експлуатації алмазних дискових пил – збереження постійними різальних властивостей упродовж усього терміну служби інструмента. Дотримання цієї умови залежить, зокрема, від первинного стану робочої поверхні алмазозносного прошарку. Відповідно до технічних вимог усі пилки, що надходять в роботу, повинні бути розкриті, тобто мати визначене виступання зерен над рівнем зв'язки (на 70...80% загальної площі алмазозносного прошарку), інакше під час роботи з режимними параметрами, зумовленими технологічним процесом, можливі поломки сегментів або деформація корпусу внаслідок перевищення допустимих навантажень.

У разі виявлення відхилень від вказаних норм слід розкривати алмазозносний прошарок, виконуючи серію різів по однорідних абразивних матеріалах (відходи абразивних кругів, вапняк, вогнетриви, піщано-цементний камінь та ін.). Критерієм достатнього розкриття алмазних зерен може слугувати момент стабілізації потужності різання.

Трапляються випадки, коли в процесі різання матеріалів з практично однаковими фізико-механічними властивостями через недостатньо правильне призначення режимних параметрів і характеристики алмазозносного прошарку виникає потреба в «достиганні» алмазної пилки. У таких ситуаціях різальні властивості відновлюють звичайним методом – різанням однорідних абразивних матеріалів або виконанням декількох різів з великою швидкістю подачі за невеликої глибини пропилю. Припрацювання потрібне і в разі зміни оброблюваного матеріалу, особливо для переходу з твердих й абразивних порід каменю на м'які і малоабразивні [12].

Часте припрацювання і «достигання» дорогих алмазних пилок призводить до їх більшого зношення, тому дотримання нормальних

умов експлуатації інструменту є одним з чинників зниження собівартості продукції.

Робота алмазних дискових пилок повинна відбуватися за високої подачі в зону різання охолоджувальної рідини, для цього в практиці оброблення каменю звичайно використовують воду. Застосування змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР) на водній основі, незважаючи на те, що вони сприяють підвищенню зносостійкості алмазних інструментів в середньому на 20...40%, обмежене з певних причин. Як основні слід назвати певні труднощі в розв'язанні проблеми очищення ЗОР, що циркулює по замкненому циклу, від зважених тонкодисперсних частинок – продуктів руйнування і підтримання заданої концентрації добавок. У певний період у міру насичення ЗОР продуктами руйнування дрібних фракцій вони починають посилювати зношення алмазозного шару. Система, що забезпечує належні умови для ефективного функціонування ЗОР, складна в реалізації. Підведення охолоджувальної рідини до пилки здійснюють за допомогою спеціальних пристроїв. Бажано охолоджувати алмазні дискові пилки водою, що надходить безпосередньо з мережі.

Використовуючи для охолодження оборотну воду, потрібно вживати заходів для її ретельного очищення, оскільки наявність у воді абразивних частинок (продуктів руйнування) пришвидшує зношення алмазного інструменту.

Висока ефективність і продуктивність застосування алмазних дискових пилок можливі тільки на верстатах, що характеризуються достатньою жорсткістю і точністю.

За алмазно-абразивних способів різання природного каменю з метою збереження різальних властивостей інструменту доцільним є дотримання постійної швидкості подачі. Подача повинна відбуватися плавно, без ривків. Усі напрямні верстата, а також інші вузли, що труться, повинні бути по можливості захищені від попадання на них води з абразивними частинками (продуктами руйнування матеріалу). Недотримання цієї вимоги призводить до швидкого зношення пар тертя верстата і, як наслідок, до вібрацій і різкого підвищення зношення алмазного інструменту.

У верстаті має бути передбачене регулювання кількості обертів у визначеному діапазоні для дотримання потрібної колдової швидкості у разі зміни діаметра інструмента або оброблюваного матеріалу.

## Основні рекомендації щодо застосування алмазних дискових пил

Оброблювальний матеріал	Характеристика матеріалу		Характеристика алмазного порошку		Технологічні режими роботи			Стійкість інструмента, м <sup>2</sup> площі різання
	кг с/см <sup>2</sup>	α, мп	Зернистість	Концентрація, %	Колова швидкість, м/с	Глибина пропилу, мм	Продуктивність м <sup>2</sup> /хв	
Граніт	2000 ... 2500	30-60	400/315 630/500	50	20-25	30-50	200 (для пилок діаметром 500 мм)	40-60 (для пил)
Лабрадорит, габронорит, тешенітин	1000 ... 1800	5-20	400/315 630/500	50	20-30	до 30	300 (для пилок діаметром 500 мм)	100-200 (для пил діаметром 500 мм)
Мармури, доламіт, вапняк, туф	200 ... 1200	1-5	400/315 630/500	30-40	30-40	до 30	1000-1500 (для пилок діаметром 1100 мм)	1200-1400 (для пил діаметром 1100 мм)

## Запитання для самоперевірки

1. Для чого використовують верстати з алмазним та абразивними робочими інструментами?
2. Що таке абразивна властивість каменю?
3. Що називають нерудними матеріалами?
4. Що таке природний камінь? Що таке штучний стінний камінь?
5. На які групи поділяють кам'яні будівельні матеріали?
6. Назвіть класи інструментів для обробки каменю.
7. Охарактеризуйте будову відрізного алмазного диска. Наведіть його основні типорозміри.
8. Що таке питома витрата алмазу?
9. Як визначити основні силові та технологічні показники процесу різання алмазним відрізним кругом?
10. У чому полягають основні рекомендації та правила безпеки під час використання алмазних дискових пилок?

## 8. МОНТАЖ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЛАСТМАСОВИХ ТРУБОПРОВІДІВ

### 8.1. Особливості монтажу полімерних трубопроводів

Труби з полімерних матеріалів почали застосовувати для монтажу трубопроводів у 1930-х роках. Наприкінці 1940-х у багатьох країнах виник підвищений інтерес до пластмасових труб, оскільки їх застосування давало змогу виконувати будівельні роботи в стисліші терміни, ніж за використання труб з традиційних матеріалів (сталі, чавуну), і не потребувало дефіцитної сировини. У середині минулого століття вже був накопичений великий досвід застосування труб з полімерних матеріалів, а починаючи з 1960-х років їх виробництво набуло поширення як у нашій країні, так і за кордоном [9, 10].

Для будівництва та ремонту трубопроводів тепло- і водопостачання та каналізації застосовують переважно полімерні труби. За деякими властивостями полімерні труби істотно переважають традиційні аналоги, вони прості в монтажі і не зазнають корозії, а гарантований термін їх експлуатації – не менш ніж 50 років. У країнах Західної Європи та Північної Америки використання полімерних трубопроводів у загальній кількості інженерних мереж сягає 60-90 %.

Відомо, що нині в Україні гостро постала проблема негайного реформування житлово-комунального господарства. Про критичний стан комунальних мереж водопостачання та водовідведення красномовно свідчать такі факти:

- втрати води в комунальному господарстві збільшилися за останні роки в 2,5 рази, тоді як споживання води для комунальних потреб скоротилося на 10 %. У містах і приміських зонах щороку втрачається мільярд кубометрів води;

- у річки та інші водойми України щорічно потрапляє понад 4 млрд м<sup>3</sup> майже неочищених стічних вод. І це не дивно, адже якщо водопроводи мають всі міста, то каналізацію – лише 94%. Ще гірші справи в селищах міського типу. Вони забезпечені водопроводами на 91%, а каналізацією – на 57%.

Водоканали України «задихаються» без сучасних технологій, але за умов гострого дефіциту коштів на будівництво та реконструкцію трубопроводів систем водопостачання, а також мереж каналізації ні замовники, ні проектанти не прагнуть знайти надійне й економічно вигідне рішення. Сортамент поліетиленових труб значно ширший, ніж сталевих, це дає можливість вибрати оптимальний з погляду пропускної здатності діаметр труби. Порівняльний аналіз витрат на будівництво підземних трубопроводів з металевих і полімерних матеріалів, безумовно, дає підстави стверджувати, що застосування поліетиленових труб значною мірою сприяє ощадливому використанню фінансів, трудових ресурсів, а також зменшенню часу монтажу. Крім того, зростає культура будівництва, технологічність, а загальна вартість знижується у 2-3 рази [4].

Загальна протяжність сталевих розподільних підземних газопроводів становить 203,3 тис. км. Значна частина газорозподільних газопроводів розміщена поряд з транспортними мережами міського електротранспорту, електрифікованими залізничними шляхами, отже, перебуває під впливом блукальних струмів і потребує постійного захисту від електрохімічної корозії.

Оскільки надійне і безпечне функціонування газових систем, які вичерпали свій термін експлуатації, заміна аварійно небезпечних ділянок газопроводів традиційним сталевими трубами, а також їх застосування під час нового будівництва в сучасних умовах господарювання потребує значних матеріальних і трудових ресурсів,

відбувається стійке зростання обсягів будівництва газопроводів з полімерних труб.

На жаль, нині зварювального обладнання для будівництва полімерних трубопроводів в Україні серійно не виготовляють. На вітчизняному ринку широко представлена техніка провідних західних виробників: «Friatek», «Rothenberger», «Widos» (Німеччина), «Kamitech» і «NowaTech» (Польща), «Ritmo» (Італія), «Dytron» (Чехія), «Georg Fischer» (Швейцарія), «Fusion» (Великобританія) та інших.

Загальновідомо, що від технічного стану застосовуваного зварювального устаткування безпосередньо залежить безпека і надійність експлуатації побудованих газопроводів. Однак майже за щорічного дворазового збільшення обсягів реалізації зварювального обладнання в Україні сервісно-діагностичні центри з їх обслуговування створили тільки декілька фірм-виробників: «Friatek», «Rothenberger» (Німеччина) і «Kamitech» (Польща). Зокрема, весь комплекс робіт із сервісного обслуговування і ремонту зварювального обладнання фірм «Rothenberger» (Німеччина) і «Kamitech» (Польща) виконує концерн «Водполімер» (м. Бориспіль).

Висока ефективність поліетиленових систем газопроводів, унікальні технічні характеристики цього матеріалу дають можливість розширювати сферу застосування полімерних труб.

Зокрема у 2005 році розпочато експериментальне будівництво газопроводів тиску від 0,6 МПа до 1,2 МПа з використанням дослідних партій труб з поліетилену марки «ПЕ 100» з коефіцієнтом запасу міцності 2,0. Тепер у межах цього експерименту експлуатується понад 50 км газопроводів.

Ведеться будівництво та експлуатація експериментальних ділянок газопроводів у складних інженерно-геологічних умовах Донецького вугільного басейну.

Важливою властивістю поліетиленових труб, які застосовують на підроблюваних територіях, є їх стійкість до динамічних навантажень, підтверджена практичним досвідом країн з високою сейсмічною активністю, де підземна міська інфраструктура з поліетилену мала значно меншу аварійність під час сейсмічних коливань, ніж сталеві, чавунні чи ПВХ-інженерні мережі [1].

За даними Japan Water Works Association ( Damage to Water Work Pipes during The Great Hanshin - Awaji Earthquake and their Evaluation,

1996), кількість випадків руйнування труб з різних матеріалів (у містах Кобе, Нічіномія, Ашія) на 1 км водопроводів становила:

- з ковкого чавуну – 0,488
- чавуну – 1,508
- полівінілхлориду – 1,430
- сталі – 0,437
- азбестоцементу – 1,782
- поліетилену – 0,000.

Статистичні відомості про руйнування елементів газопроводів низького тиску під час землетрусу в м. Кобе (Японія) (доповідь фахівців компанії «Osaka Gas») засвідчують, що поліетиленові труби є єдиним типом труб, які не втрачають працездатності під час землетрусів. Після землетрусу у м. Кобе переважне застосування поліетиленових труб у будівництві газопроводів і водопроводів у Японії закріплено законодавчо. В Україні також варто відкоригувати нормативні документи відповідно до зарубіжного досвіду (з огляду на сейсмонебезпечні райони в Карпатах і Криму, а також розроблені території в Донецькій, Луганській та інших областях) [17].

У Київській, Харківській, Донецькій, Одеській і Львівській областях для реконструкції сталевих газопроводів часто застосовують метод протягування поліетиленових труб усередині замінованих сталевих.

Слід зазначити: щороку аварійних газопроводів стає дедалі більше і ремонтувати їх без застосування поліетиленових труб економічно не вигідно.

До основних переваг пластмасових трубопроводів належать такі:

- корозійна стійкість до багатьох видів транспортувальних середовищ;
- високий коефіцієнт ковзання внутрішньої поверхні, завдяки чому втрати тиску під час транспортування на 30 % нижчі, ніж у сталевих і чавунних трубах;
- мала вага труб, що в поєднанні з гнучкістю значно полегшує їх перевезення й укладання в траншеї.

Ефективного застосування пластмасових труб досягають лише за умови високої якості робіт, виконуваних на всіх етапах технологічного процесу, зокрема виготовлення труб і сполучних деталей, проектування, монтажу, експлуатації та ремонту. Тимчасом якість робіт залежить від



правильності виконання розрахунку, вибору матеріалу, трубопровідної арматури, механізмів, пристроїв і приладів для монтажу та ремонту трубопроводів. Знання властивостей матеріалів, застосовуваних у виробництві труб і деталей трубопроводів, конструкцій механізмів і машин для монтажу, дає можливість виготовляти надійні і довговічні конструкції пластмасових трубопроводів найрізноманітнішого призначення.

Для масового виготовлення труб і сполучних деталей з полімерних матеріалів використовують пластмаси на основі поліетилену високої густини (ПВГ), поліетилену низької густини (ПНГ) і полівінілхлориду (ПВХ). Широке застосування полімерних матеріалів пояснюється тим, що понад 90% трубопровідних систем, використовуваних в народному господарстві, призначено для експлуатації за нормальної (не вище від 30 °С) температури і тиску, що не перевищує 1 МПа, або для роботи в безнапінному режимі.

### **Проблема застосування пластмасових труб**

охоплює такі основні питання:

- обґрунтування сфер ефективного застосування труб і шляхів розширення меж робочих температур і тиску;
- експлуатаційна надійність труб, стикових з'єднань і контроль за їх якістю;
- побудова раціональних сортаментів труб і фасонних частин і шляхів їх вдосконалення;
- вибір типів і конструкцій стикових з'єднань труб, обґрунтування сфери застосування, вивчення їх експлуатаційних властивостей;
- розроблення методів і технології монтажу пластмасових труб і устаткування для цих цілей.

До труб і деталей трубопроводу висувають вимоги щодо безаварійної експлуатації протягом розрахункового періоду. Дотримання вимог досягають:

- розрахунковою міцністю труби за певних умов роботи і схем навантаження трубопроводу;
- водонепроникністю стінки виробу;
- конструкцією стикових з'єднань труб, їх герметичністю і міцністю протягом всього періоду експлуатації трубопроводу;

- фізіологічною індиферентністю (у разі транспортування питної води і харчових середовищ);
- стійкістю до агресивних середовищ зовні або всередині трубопроводів.

Крім того, виготовлення труб повинно бути економічно вигідним, а конструкція і монтаж їх з'єднань – простим і зручним.

Визначальними чинниками широкого застосування пластмасових труб є такі: можливість виготовлення труби з широким діапазоном фізико-механічних і хімічних властивостей; значно менші капітальні витрати, стислі терміни, потрібні для організації виробництва, порівняно з виробництвом металевих труб; їх монтажні і експлуатаційні властивості.

Труби з полімерних матеріалів мають комплекс цінних властивостей, що вигідно відрізняють їх від труб з традиційних матеріалів.

Термопласти не схильні до електрохімічної корозії, яка значно ускладнює експлуатацію металевих трубопроводів, виготовлених навіть з найбільш корозійностійких металів.

Втрати тиску на тертя в пластмасових трубах, завдяки їх гладкій внутрішній поверхні, приблизно на 30% менші, ніж у сталевих і чавунних. Виявлено, що пропускна спроможність труб певного умовного перерізу з термопластів приблизно дорівнює пропускній спроможності сталевій труби наступного за номіналом умовного перерізу.

На внутрішній поверхні пластмасових труб навіть за наявності в транспортованому середовищі значної кількості мінеральних речовин (солей заліза, кальцію та ін.) практично немає відкладень. У таких трубах не відбувається збільшення втрат тиску, це дає змогу знизити розрахункові величини напору і потужності насосів, зменшити висоту водонапірних башт або зменшити розрахункові діаметри трубопроводів, що особливо важливо у будівництві й експлуатації водопровідних мереж, технологічних і бальнеологічних трубопроводів тощо.

Труби з термопластів в 6...14 разів легші за металеві, що здешевлює їх транспортування і монтаж. Спосіб безперервної шнекової екструзії дає можливість виготовляти труби будь-якої довжини, отже, скоротити під час укладання труб кількість монтажних з'єднань, значно спростити і здешевити монтаж і підвищити надійність експлуатації трубопроводу. Труби малих і середніх діаметрів з поліетилену можна

постачати споживачам у бухтах, що спрощує їх перевезення й укладання в траншеї.

Імовірність руйнування пластмасового трубопроводу через замерзання в ньому води є незначною. Пояснюється це тим, що об'єм води внаслідок замерзання збільшується приблизно на 9%, що спричинює деформацію матеріалу труби приблизно на 3%; пластмасові труби сприймають таку деформацію частково оборотно, частково необоротно, при цьому їх механічні властивості практично не змінюються.

Низька електрична провідність унеможливорює виникнення в пластмасових трубах блукальних струмів і спричиненого ними корозійного пошкодження трубопроводу.

Завдяки низькій теплопровідності термопластів утворення конденсату на зовнішніх стінках труб, є мінімальним, тому експлуатація відкритих трубопроводів усередині будівель відбувається за кращих гігієнічних умов.

Наведені характеристики пластмасових труб дають змогу застосовувати їх як технологічні трубопроводи, для зовнішніх мереж водопостачання, каналізації і в промислових будівлях.

Пластмасові труби перспективні для прокладення зовнішніх мереж в агресивних ґрунтах, в сейсмічних районах і в зонах вічної мерзлоти, в гірській і болотистій місцевостях, де застосування труб з традиційних матеріалів пов'язане з додатковими витратами і не гарантує безаварійної роботи трубопроводів.

Транспортування газу – порівняно нова сфера застосування труб з термопластів. При цьому, крім корозійної стійкості, досягають високої герметичності з'єднань. Пластмасові газопроводи успішно застосовують в інтервалі тиску від 0,1 до 1,0 МПа.

У зовнішніх мережах, призначених для транспортування води від джерела водопостачання до її споживачів (житлових і господарських будівель, промислових підприємств і сільськогосподарських об'єктів), використовують труби з умовним перерізом від 50 до 600 мм, розраховані переважно на робочий тиск від 0,4 до 2,5 МПа.

Для внутрішніх водопроводів житлових, громадських будівель і сільськогосподарських об'єктів найчастіше застосовують труби з умовним перерізом від 10 до 150 мм, а труби більшого діаметра – у внутрішніх водопроводах промислових підприємств. Системи внутрішніх водопроводів в основному розраховані на тиск близько 0,6 МПа.

## 8.2. Характеристики полімерних трубопроводів

Усі пластичні маси поділяють на термопластичні і термореактивні. До **термопластів** належать вініпласт, поліетилен, поліпропілен, фторопласт, поліметилметакрилат, поліізобутил, полістирол, поліамід і поліуретан. З цих матеріалів можна виготовляти вироби за методами лиття, екструзії, пневматичного формування, пресування і зварювання. **Термореактивні** матеріали – фенопласти, фаоліт, текстоліт, деревні пластики, склопластики, азбовініл, графітопласт і композиції на основі епоксидних і карбомідних смол [18].

У виробництві труб і деталей трубопроводів основними матеріалами є термопласти з різними фізико-механічними властивостями (табл. 8.1), на основі яких створено спеціалізовані марки полімерних матеріалів. Для надання таким матеріалам потрібних властивостей в них вводять різні добавки – стабілізатори, пластифікатори, барвники, наповнювачі, антистатики, вулканізатори тощо. В результаті матеріали труб є складними композиціями, що містять компоненти різного функціонального призначення.

Таблиця 8.1

**Фізико-механічні властивості термопластів**

Назва показника	ПВХ	ПВТ	ПНТ	ПП
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1390...1400	900...939	930...959	900...910
Руйнівна напруга, МПа				
за розтягування	50	10...15	20...30	25...40
за стиснення	80...100	12	20...36	60
за вигинання	100...120	12...17	20...38	70...80
Відносне подовження при розриві, %	10-15	400-600	300-800	700
Питома ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	70...120	не руйнується	не руйнується	не руйнується
Модуль пружності, МПа				
за розтягування	–	–	–	800...1080
за вигинання	–	140...250	600...850	670...1190
Твердість за Брінелем, МПа	30...160	14...25	45...59	40...70

Закінчення табл. 8.1

Назва показника	ПВХ	ПВТ	ПНТ	ПП
Зчеплення зі сталлю (адгезія), Н/м <sup>2</sup>	25...40	10...15	10...15	–
Межа текучості, МПа				
за розтягування	55	8...13	22...26	28...35
за стиснення	57	14	30	–
Температура, °С:				
плавлення	–	105...108	125...135	164...170
текучості	180...200	115...120	160	175...180
розкладання, понад	140	220	270	250

Стабілізатори потрібні для підвищення стійкості і довговічності полімерів до дії світла, підвищених температур та інших чинників.

Пластифікатори вводять для поліпшення технологічних й експлуатаційних властивостей пластичних мас, наповнювачі – для збільшення їх міцності і поліпшення діелектричних властивостей, зменшення витрати полімерної смоли.

**Основними видами термопластів, з яких виготовляють труби,** є поліетилен низького (ПНТ) і високого тиску (ПВТ), поліпропілен (ПП) і непластифікований полівінілхлорид (ПВХ). Поліетилен і поліпропілен належать до поліолефінів, які є продуктами полімеризації і співполімеризації неграничних вуглеводнів. Поліетилен – продукт полімеризації етилену. Залежно від методу полімеризації одержують поліетилени високого, середнього і низького тиску, які відрізняються молекулярною масою, густиною, ступенем кристалічності, розгалуженістю макромолекул.

Поліетилен, одержаний за високого тиску (ПВТ), називають також поліетиленом низької густини (ПНГ), а за середнього і низького тиску (ПНТ) – поліетиленом високої густини (ПВГ).

Поліетилен являє собою воскоподібний, але досить твердий продукт білого кольору. Він повільно горить синім полум'ям без кіптяви. Поліетилен складається з кристалічної й аморфної фаз, співвідношення яких, а також конфігурація макромолекул полімеру залежать від способу його отримання. Від ступеня кристалічності полімеру залежать його густина, хімічна стійкість і проникність для газів і розчинників, температура розм'якшення і початок текучості, поверхнева твердість і

модуль пружності. У міру підвищення температури ступінь кристалічності зменшується, а питомий об'єм зростає, чим пояснюється залежність об'ємного коефіцієнта термічного розширення від температури. За кімнатної температури уміст кристалічної фази становить у ПНТ – 40...60, у ПВТ – 70...90%.

Під впливом кисню повітря, температури, ультрафіолетового проміння відбувається старіння поліетилену, що виражається в поступовому погіршенні його фізико-механічних властивостей, зміні хімічного складу і структури, втрати розчинності, еластичності і збільшенні крихкості.

Поліетилен (ПНТ і ПВТ) виготовляють у вигляді різних (базових) марок, з яких безпосередньо одержують вироби або композиції з різними добавками для подальшої переробки. Базові марки синтезують за тиску 100...350 МПа в трубчастих реакторах і реакторах з перемішувальним пристроєм за наявності ініціаторів (кисню, органічних перекисів). ПВТ отримують в результаті полімеризації етилену за тиску до 250 МПа і переробляють шляхом екструзії. ПНТ виготовляють за тиску близько 140 МПа. Вироби з нього мають підвищену жорсткість. ПНТ синтезують за низького тиску (3,5...4 МПа) на комплексних металоорганічних каталізаторах. Високоміцний ПНТ характеризується підвищеними механічними й електроізоляційними властивостями.

Поліпропілен, який отримують шляхом полімеризації пропілену за наявності металоорганічних каталізаторів, вирізняється вищою, ніж поліетилен, температурою плавлення, тривалою міцністю, хімічною стійкістю і вологостійкістю, проте чутливий до дії кисню та інших сильних окиснювачів. Випускають у вигляді композиції із стабілізаторами, барвниками, наповнювачами й іншими добавками, переробляють у труби шляхом екструзії.

Полівінілхлорид (ПВХ) є продуктом полімеризації вінілхлориду. ПВХ – білий або дещо жовтуватий порошок, вологостійкий, вироби з нього мають високу механічну міцність, легкооброблювані на металорізальних верстатах, за методом зварювання або склеювання. ПВХ хімічно стійкий в агресивних середовищах.

Для виготовлення труб і деталей трубопроводів використовують сполуки, які, крім полімеру, містять пластифікатори, стабілізатори, мастила, наповнювачі, барвники, що значною мірою впливають на властивості виробів.

Недоліками ПВХ є слабкий опір удару, низька теплостійкість, крихкість за температури, нижчої за 0 °С, великий коефіцієнт лінійного розширення.

Здатність пластмас протистояти впливу агресивних середовищ різної концентрації і температури зумовлює їх корозійну, або хімічну, стійкість, що є основним критерієм у виборі матеріалу труб. Хімічна стійкість пластмас (табл. 8.2 і 8.3) варіюється в широких межах не тільки для різних матеріалів, а й однієї і тієї самої пластмаси залежно від марки і сорту матеріалу, одержаного в процесі виготовлення, структури труб тощо.

**Дія агресивного середовища на пластмаси** зводиться до трьох основних процесів: дифузії, набубнявіння і хімічної реакції. Ці процеси можуть відбуватися одночасно або в різних поєднаннях. Унаслідок дифузії агресивне середовище проникає вглиб матеріалу і спричинює його набухання або, хімічно взаємодіючи з пластмасою, викликає її розчинення або розчинення компонентів, що є в складі пластмаси. Зниження хімічної стійкості пластмас звичайно супроводжується зміною кольору і погіршенням механічних властивостей матеріалу. Набухання і розчинення передують розкладанню матеріалу, залежно від температури і концентрації середовища осередки руйнування проникають углиб матеріалу, а спричинене набуханням збільшення об'єму або зменшення товщини стінки через розчинення матеріалу зумовлюють значну напругу, що призводить до руйнування структури матеріалу і, як наслідок, руйнування труби. Поступово процес набухання може стабілізуватися і не завжди призводити до руйнування матеріалу. За швидкістю набухання, зниженню межі міцності внаслідок розтягування і подовження можна виявити наявність хімічного ураження.

Через підвищення температури агресивного середовища стійкість пластмас знижується, а внаслідок підвищення концентрації деяких середовищ – збільшується.

Для оцінки хімічної стійкості матеріалів труб застосовують такі позначення: С – у речовині певної концентрації за певної температури не відбувається хімічного руйнування труб; О – відбувається часткова втрата несної здатності, тому труби мають бути з підвищеним запасом міцності; Н – застосування труб неприпустиме.

Таблиця 8.2

**Хімічна стійкість полімерних матеріалів**

Оцінка стійкості	Умовне позначення	Зміна, %, не більше	
		маси	міцності
Стійкі (досить стійкі)	С	±3...5	до 10
Відносно стійкі (слабкостійкі, умовно стійкі)	О	до +15 або -10	10,1...15,0
Нестійкі	Н	-10...+10	понад 15

Труби напірні з поліетилену виготовляють за методом екструзії з поліетилену високого і низького тиску, сполучні деталі – переважно за методом лиття під тиском, великих діаметрів – зварюванням.

Таблиця 8.3

**Хімічна стійкість матеріалу труб в різних середовищах за 20 °С**

Транспортовані речовини	Матеріали труб			
	ПВТ	ПНТ	ПП	ПВХ
Кислоти				
слабкі	С	С	С	С
сильні	С	С	С	С
окиснювальні	Н	Н	Н	С
плавикова	С	С	С	С
Луги				
слабкі	С	С	С	С
сильні	С	С	С	С
Розчинники:				
спирти	С	С	С	С
складні ефіри	О	С	О	Н
кетон	О	С	О	Н
прості ефіри	Н	О	О	Н
галогеналкідиди	Н	О	О	О
бензол	Н	О	О	О
Пальне й оливи				
бензин	О	О	О	С
мінеральні оливи	О	О	С	С
жири й оливи	О	С	С	С
Вода	С	С	С	С

Для трубопроводів, які прокладають без суцільної основи, опори і підвіски потрібно розміщувати, по можливості, ближче до фланцевих



з'єднань і не далі, ніж на 0,1...0,15 довжини прогону. Зварні з'єднання повинні бути на відстані, не меншій за 50 мм від опор і підвісок.

Між пластмасовими трубами і металевими частинами опорних конструкцій, суцільної основи, хомутами (напівхомутами) і скобами (якщо вони не мають відбортовок, фасок або закруглювальних кінців) повинна бути прокладка з еластичного матеріалу – гуми, пластмаси, повсті тощо. Ширина прокладки для хомутів (напівхомутів) і скоб повинна перевищувати їх ширину на 10 мм, а внутрішній діаметр скоб і хомутів для рухомих опор без прокладок має бути таким, щоб зазор між трубою і хомутом або іншими кріпленнями становив не менш як 3 мм після їх установа.

Розмічування труб передуює розкроюванню, виготовленню з труб формованих або зварних сполучних деталей, а також свердлінню і вирізуванню отворів в трубах. При цьому беруть до уваги ширину різку, яка залежить від застосовуваного різального інструмента, а також технологічні припуски залежно від технології подальшої обробки. Розмічування виконують на спеціальних розмічувальних столах, в жолобах та інших пристроях, що унеможливають механічне пошкодження труб. Для закріплення труб в затискачах використовують м'які прокладки. Розмічують за допомогою крейди або олівця. Лінії різку допускається виконувати металевою рисувалкою.

Для розмічування застосовують стандартні вимірювальні інструменти, лінійки, рулетки, штангенциркулі, косинці, різноманітні шаблони та інше спеціальне приладдя. Лінії прямих і косих різів труб  $D_H = 50...160$  50...160 мм позначають за допомогою спеціального циркуля.

Труби з пластмас розрізають за допомогою пристроїв, різальним інструментом яких є сталеві дискові або стрічкові пилки, різці або фрези, абразивні армовані круги, переважно з шорсткими бічними поверхнями, а також різальні полотна для дерева і металу.

У стаціонарних умовах масового виробництва застосовують серійно виготовлені маятникові пили з абразивними армованими кругами для різання металопрокату, а також спеціальні верстати для різання пластмасових труб, оснащені дисковими пилками або абразивними кругами.

Монтаж виконують за допомогою спеціальних пристроїв, сконструйованих на базі ручних електропил, шліфувальних машин з абразивними армованими кругами або механізованих пристроїв, різальні диски або різці яких обкочують навколо розрізуваної труби, застосовують також ручні ножівки для металу, звичайні столярні ножівки, лучкові і поперечні пилки з дрібними зубцями.

Коли немає спеціальних пристроїв, різання труб в невеликих обсягах можна виконувати на фрезерних або токарних верстатах із застосуванням відрізних фрез і різців, придатних для металообробки. Різці відрізняються тільки тим, що фасок і стружкових канавок на поверхні різальної частини немає.

Для різання труб можна використовувати також стрічкові або ланцюгові пилки. Недоліком їх є низька точність розмірів заготовок і нерівність одержуваних поверхонь (табл. 8.4).

Таблиця 8.4

#### Режими оброблення пластмасових труб

Матеріал труб	Різання		Свердлення		Фрезерування	
	Швидкість різання, м/с	Подача, м/с	Швидкість різання, м/с	Подача, мм/об.	Швидкість різання, м/с	Подача, мм/зуб
ПНД ПВД ПП	33...42 (сталевими дисками)	0,05...0,07	0,83...1,8	0,1...0,4	7,5...8,3	0,03...0,04
ПВХ	Те саме	0,01...0,02	0,02...0,6	0,5...1,0	10,0...12,0	0,02...0,04

Під час монтажу пластмасових трубопроводів обсяг різання становить 1000 різів на 1 км. Для різання разом із сталевими дисками застосовують абразивні армовані круги, що дає змогу одержувати поверхню різів високої якості (висота нерівності не перевищує 0,1 мм) без обробних операцій. Для різання рекомендовано використовувати круги з карбіду кремнію чорного зернистістю 500 і 800 мкм. Аналіз поверхні різів засвідчив, що для різання поліетиленових і вінілпластикових труб швидкість подачі повинна становити близько 0,15 м/с, а робоча швидкість – 80 м/с. На машинах з ручною подачею застосування вищих швидкостей неможливе.

У процесі дослідження впливу теплових процесів на структурні зміни матеріалу пластмасових труб виявлено, що різання кругами з шорсткими бічними поверхнями (порівняно з гладкими) помітно покращує поверхню різку. У такому разі бічна поверхня є різальною і в робочій зоні виникає сприятливіший тепловий режим. Оскільки розм'якшення поліетилену і вініласту відбувається за температури понад 70 °С (температура в зоні контакту – 50-70 °С), структурні зміни на поверхні труб не відбуваються; їх можна зварювати без додаткового торцювання. Поліпропіленові труби за такої температури оплавлюються.

Для створення машин з абразивним різальним інструментом нормальні ( $P_y$ ) і тангенціальні ( $P_z$ ) зусилля можуть бути визначені за формулами

$$P_z = 1,525 \cdot V_n^{0,52} V_p^{-0,97} l^{1,2}; \quad (8.1)$$

$$P_y = 4,62 \cdot V_n^{0,75} V_p^{-1,17} l^{0,86}, \quad (8.2)$$

де  $V_n$  – швидкість подачі, м/с;  $V_p$  – робоча швидкість, м/с;  $l$  – довжина дуги контакту, м.

Чим більша дуга контакту і подача за постійної робочої швидкості, тим більші значення нормальних і тангенціальних зусиль.

Потужність приводу залежить від максимальної дуги контакту і може бути визначена із залежності:

$$N = \frac{P_z V_p}{102} = \frac{P_z \pi D n}{102}, \quad (8.3)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр круга, мм;  $n$  – кількість обертів круга, об/с.

### 8.3. Особливості виготовлення полімерних монтажних вузлів

Для утворення рознімних з'єднань трубопроводів з поліетилену і поліпропілену застосовують втулки під фланець, які виготовляють, формуючи нагріті кінці труб і патрубків. Процес формування втулок складається з розігрівання кінця труби, закріплення її у формувальному пристрої, формування кінця, охолодження втулки разом з формувальним оснащенням і витягання виробу.

Для нагрівання формованої ділянки труби застосовують пристрої з повітряним, комбінованим (повітряним і інфрачервоним) або інфрачервоним нагрівом.

У монтажних умовах нагрівати труби можна воздуходувками або безполум'яневими пальниками. Не допускається нагрівати труби відкритим полум'ям.

Температура теплоносія для нагрівання кінців труб під час формування втулок повинна становити для труб з ПВТ – 220 °С; ПНТ – 240 °С; ПП – 280 °С.

Час нагрівання визначають з розрахунку 1...1,5 хв на 1 мм товщини стінки труби; при цьому нагріта ділянка труби не повинна втрачати формостійкості і деформуватися від натискання рукою із зусиллям, не більшим за 30 Н.

Нагрівати труби потрібно рівномірно по діаметру і довжині, при цьому, не слід допускати перепалювання поверхонь труб.

Формування втулок відбувається в прес-формах із застосуванням установок, що створюють тиск на формовану поверхню близько 2,5 МПа.

Робочі поверхні формувального інструмента полірують. Охолоджують відформовані вироби до температури 35...40 °С, подаючи в порожнину пуансона воду або повітря в стані циркуляції. Поверхня готового виробу повинна бути рівною і гладкою, без тріщин, раковин і слідів холодних спаїв.

Гнуття труб з поліетилену низького і високого тиску, поліпропілену і полівінілхлориду виконують на спеціальних трубозгинальних верстатах (трубозгиначах), намотуванням на шаблон з внутрішньою оправкою-дорном (рис. 8.1) або обкаткою роликом навколо шаблону (рис. 8.2).

За  $S / D_n \leq 0,065$  труби слід згинати, намотуючи на шаблон з внутрішнім облямовуванням. За  $S / D_n > 0,065$  обидва способи рівноцінні за якістю гнуття, проте обкачування роликом більш продуктивне. Радіус вигину по осі труби беруть рівним або більшим за  $3,5D_n$ .

Гнуття труб складається з таких операцій: розмічування і різання труб на заготовки, вимірювання товщини стінки, нагрівання заготовок, вигинання, охолодження гнутих ділянок, торцювання кінців готового виробу.

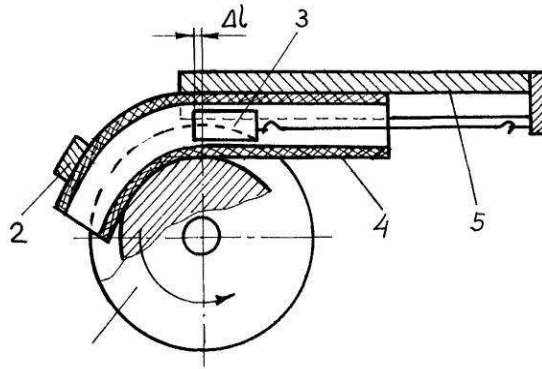


Рис. 8.1. Схема гнуття труб способом намотування:  
 1 – шаблон для гнуття; 2 – затискач; 3 – дорн; 4 – труба;  
 5 – притискна планка;  $\Delta l$  – випередження дорна

Для отримання гнутого відводу довжину заготовки визначають за формулою

$$L = \frac{\alpha R}{180} + 2l, \quad (8.4)$$

де  $L$  – довжина труби-заготовки;  $l$  – прямі кінці гнутого відводу завдовжки  $2D$ , але не менш як 100 мм;  $R$  – радіус вигину по осі труби;  $\alpha$  – кут вигину, град.

Значення кута гнуття  $\alpha$  для труб з поліетилену та поліпропілену слід брати більшим від заданого, оскільки внаслідок пружної деформації труба після гнуття частково розпрямлюється. За кута гнуття  $90^\circ$  труби з поліетилену високого тиску слід перегинати на  $6^\circ$ , труби з поліетилену низького тиску та поліпропілену – на  $10^\circ$ .

Для гнуття труб, що мають різну товщину по діаметру, їх встановлюють так, щоб потовщена стінка була із зовнішнього боку згину.

Безпосередньо перед гнуттям заготовку нагрівають в рідинних (гліцеринових, гліколевих, водяних) ваннах або повітряних електropечax. Рідинні ванни продуктивніші, в них легко контролювати температуру нагрівання теплоносія. Перевагами гнуття труб з нагріванням в повітряних електropечax є можливість виконання місцевих вигинів на трубах великої довжини, більш висока культура виробництва. Недоліком є складність контролю температури нагрівання заготовки (табл. 8.5).

**Температура теплоносія і тривалість нагрівання труб для гнуття**

Матеріал труб	Теплоносієм	Температура теплоносія, °С	Тривалість нагрівання, хв, за товщини стінки труби, мм					
			4	6	8	10	12	14
ПВД	Повітря	135	5	7	8	11	13	15
	Гліцерин	105						
ПВД	Повітря	150	6	8	11	14	17	20
	Гліцерин	125						
ПП	Повітря	190	6	8	11	14	17	–
	Гліцерин	160						
ПВХ	Повітря	130	6	7	8	12	14	–
	Гліцерин	100	4	4	5	6	8	–
	Вода	100	6	6	8	10	12	–

Під час нагрівання труба повинна бути занурена у вертикальну рідинну ванну так, щоб один її кінець, який не підлягає вигинанню, виступав над рівнем рідини і залишався холодним. Для виконання місцевих вигинів на трубах великої довжини застосовують повітряну електропеч тунельного типу. Для проходження через отвір в електропечі труба повинна бути ущільнена по зовнішньому діаметру, а її кінці заглушені пробками. Якщо розміри нагрівальної камери не дають змоги нагріти трубу вздовж усієї ділянки, яку згинають, гнуття виконують за декілька прийомів. При цьому повторне нагрівання зігнутої ділянки не допускається.

Труба, нагріта до потрібної температури, має легко деформуватися, але не втрачати стійкості під дією власної ваги. Час між закінченням нагрівання і гнуттям не повинен перевищувати 40...60 секунд.

Для гнуття холодний кінець труби закріплюють в затискачі згинального шаблону так, щоб нагріта ділянка труби впритул підходила до торця затискача. Затискний пристрій слугує для надійного закріплення кінця труби і повинен перешкоджати прослизанню її під час гнуття.

У процесі гнуття труб за методом обкатування ролик, рухаючись навколо шаблону, повинен вільно обертатися навколо своєї осі. Зазор  $n$  (рис. 8.2) між згинальним шаблоном і обкатним роликом, повинен бути не меншим, ніж 2 мм, і не більшим, як 10% зовнішнього діаметра труби.

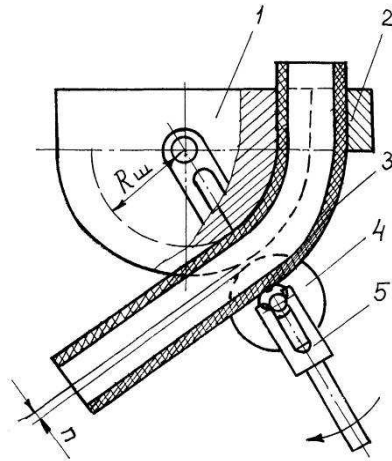


Рис. 8.2. Схема гнуття труб за способом обкатування роликом:

1 – шаблон для гнуття; 2 – затискач; 3 – труба; 4 – ролик;  
5 – важіль;  $n$  – зазор між трубозгинальним шаблоном і роликом

Для гнуття способом намотування на шаблон всередину труби вводять формувальну оправку – текстолітовий дорн.

Випередження дорна  $\Delta l$  слід визначити за формулою

$$\Delta l = \sqrt{2RC_D}, \quad (8.5)$$

де  $R$  – радіус вигину по середній лінії;  $C_D$  – зазор між трубою і дорном, рівний  $0,03D_{\text{вн}}$ . Швидкість гнуття повинна становити – 2...4 об/хв.

Охолоджувати зігнуті трубозгиначі до температури навколишнього повітря (але не вище за 30 °С) слід на трубогибі в закріпленому стані водою або повітрям. Температура води не повинна бути нижчою за 10 °С. Орієнтовний час охолодження (залежно від діаметра і товщини стінки труби) водою – 2...15, повітрям – 20...60 хв. Зігнуті і зняті з трубозгинача труби доцільно встановлювати в спеціальний кондуктор, що запобігає розгинанню труби в разі тривалого зберігання.

Після гнуття й охолодження зігнуті відводи оглядають, перевіряють розміри. Поверхня зігнутих труб повинна бути рівною і гладкою. Допускаються незначні сліди формувального інструмента, що не виводять товщину стінки за межі допустимих відхилень. Тріщини, вм'ятини не допускаються. Овальність перетину в місцях згину не повинна перевищувати 8%. Відхилення кута згину від потрібного – не більш як  $\pm 3^\circ$ . Випробовують на міцність внутрішнім гідростатичним тиском 2% деталей, але не менш ніж три з кожної партії.

Витягування горловини в трубах з поліетилену і поліпропілену застосовують для виготовлення перехідних відгалужень трубопроводів (рис. 8.3). Виконують витягування горловини за відношення зовнішніх діаметрів горловини і труби не більш як 0,7.

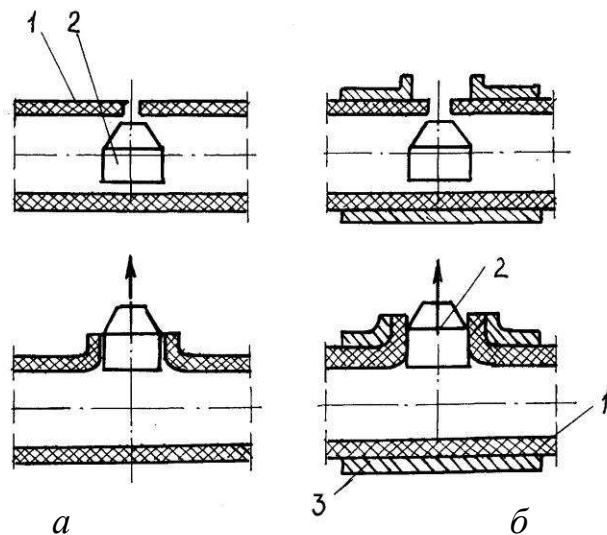


Рис. 8.3. Схема процесу витягування горловини в трубах:

*a* – без примусового формування товщини стінки;

*б* – з примусовим формуванням товщини стінки;

1 – труба з отвором; 2 – пуансон; 3 – матриця

Витягують горловину за допомогою пуансона і матриці. Допускається виготовляти горловину без застосування матриць, проте в такому разі збільшується радіус переходу від труби до горловини і знижується міцність трійникового з'єднання трубопроводу.

Витягування горловини складається з таких операцій: різання труби на заготовки, свердлення отворів, нагрівання заготовки, введення пуансона всередину заготовки і з'єднання його з робочим механізмом, витягування горловини, охолодження заготовки, витягання пуансона з горловини.

Для витягування горловини в трубі заздалегідь проробляють отвір. Для отримання горловини з однаковою по периметру товщиною стінки отвір повинен мати форму овала або еліпса, велика вісь якого йде вздовж вісі труби.

Перед витягуванням горловини ділянку труби навколо отвору нагрівають одночасно з внутрішнього і зовнішнього боків гарячим повітрям. Діаметр ділянки повинен бути на 20...40 мм більшим за



зовнішній діаметр горловини. Допускається нагрівання всієї заготовки в гліцериновій ванні. У такому разі після виготовлення горловини кінці заготовки підлягають калібруванню.

Для витягування горловини пуансон вставляють у трубу з торця, центрують з отвором у трубі, сполучають зі штоком силового механізму і втягують в отвір доти, доки горловина, що утворюється при цьому, не охопить циліндричну частину пуансона. Швидкість руху пуансона – 50...100 мм/хв. Витягують горловину плавно, без ривків. Інтервал між нагріванням заготовки і витягуванням горловини не має перевищувати 60 секунд.

Пуансон для витягування горловини повинен мати циліндричну поверхню, завдовжки більшу за висоту формованої горловини. Діаметри циліндричної частини пуансона й отвору в матриці добирають так, щоб після формування й усадки горловини її діаметр збігався з діаметром приварюваної до горловини труби.

Поверхня відформованої горловини повинна бути рівною і гладкою. Допускаються вм'ятини від формувального інструмента, що не виводять товщину стінок горловини за межі номінальної товщини стінки приварюваного до горловини відгалуження. Зовнішній діаметр і овальність горловини мають бути в межах зовнішнього діаметра приварюваної до горловини труби разом з допуском.

Витягують горловину в трубах за допомогою спеціального устаткування, що складається з установки для формування горловини і пристроїв для місцевого нагрівання труб.

#### **8.4. Технологія зварювання полімерних трубопроводів**

Найважливішою загальною вимогою до з'єднань є надійність, під якою розуміють їх рівномірність трубам в експлуатаційних умовах навантаження і герметичність під час роботи трубопроводу під внутрішнім тиском, а також за зовнішнього надмірного тиску, спричиненого, зокрема, ґрунтовими водами, утворенням в трубопроводі вакууму тощо. Крім того, від конструкції з'єднання залежить зручність і швидкість збирання, економічність, високі гідравлічні характеристики. Стосовно з'єднань трубопроводів для транспортування води господарсько-питного призначення і харчових продуктів має бути дотримано вимоги щодо гігієнічності і фізіологічної індиферентності використовуваних матеріалів.

**Надійність з'єднань** забезпечується правильним вибором їх конструкції і способу виконання; високою якістю труб, сполучних деталей, клеїв, ущільнювачів тощо; належним технічним рівнем устаткування і пристроїв для збирання; високою кваліфікацією монтажників; перенесенням підготовки складальних вузлів з будівельних умов на трубозаготівельні підприємства; контролем за якістю робіт; дотриманням правил експлуатації трубопроводів.

За функціональним призначенням з'єднання поділяють на дві групи: **нерознімні** (не потребують розбирання в процесі експлуатації, крім того, їх не можна розібрати, не пошкодивши елементів конструкції) і **рознімні** (можна розбирати протягом всього періоду експлуатації).

До рознімних належать, зокрема, компенсаційні з'єднання, щодо яких допускається осьове і (або) кутове переміщення елементів трубопроводу один відносно одного. Компенсаційні з'єднання можуть бути класифіковані як з'єднання, що не передають осьового навантаження, на відміну від нерознімних й інших типів рознімних з'єднань.

Основна частина з'єднань трубопроводів не потребує розбирання під час експлуатації і може бути виконана як нерознімні.

За технологією виконання нерознімні з'єднання поділяють на зварні і клейові. За конструкцією шва зварні і клейові з'єднання поділяють на розтрубні, що є різновидом накидних з'єднань, і стикові. Завдяки стиковим з'єднанням досягають сприятливішого розподілу напруг, проте площа шва при цьому визначається товщиною стінки труби. У розтрубних з'єднаннях площа зварювання або склеювання може в багато разів перевищувати площу поперечного перетину конструкції.

Для труб з поліолефінів нерознімні з'єднання виконують за допомогою зварювання. Добра зварюваність є одним з найважливіших чинників, що зумовлюють широке застосування труб з ПНТ, ПВТ і ПП. Склеювання поліолефінів не має практичного застосування, оскільки для міцного склеювання цих матеріалів потрібна спеціальна активаційна обробка сполучуваних поверхонь в окислювальних середовищах або застосування інших методів, що різко збільшує трудомісткість і вартість робіт.

Стикове зварювання нагрітим інструментом (рис. 8.4), яке найчастіше застосовують до поліолефінів, характеризується:

– якісними зварними швами труб з поліетилену і поліпропілену, які в умовах експлуатації рівномічні трубам;

- відсутністю на прямих ділянках додаткових деталей (муфт), виконанням з'єднання одним швом;
- нижчими температурами нагрівального інструмента;
- незначним виділенням шкідливих газоподібних продуктів розкладання полімерного матеріалу.

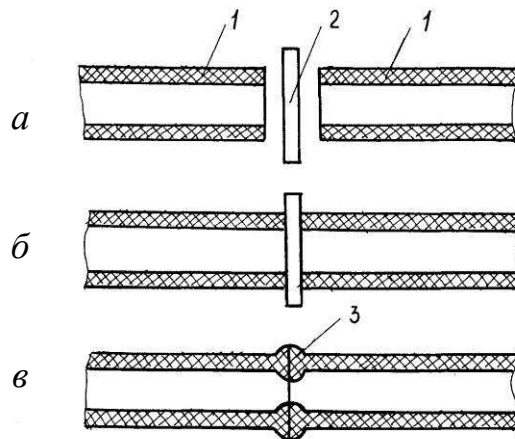


Рис. 8.4. Послідовність процесу контактної зварювання труб встик:  
*а* – положення до початку зварювання; *б* – оплавлення торців труб;  
*в* – стикування і зварювання труб; 1 – труба;  
 2 – нагрівальний інструмент; 3 – зварний шов

Стикове зварювання застосовують і для з'єднання труб між собою, і для їх збирання із сполучними деталями.

Крім переваг, стикове зварювання характеризується певними недоліками. У трубах малого діаметра валок шва істотно впливає на площу прохідного перетину; для тонкостінних труб з урахуванням допусків на зовнішні діаметри і товщину стінок зсув кромки може бути порівняним з товщиною стінки; можливі технологічні дефекти, через які виникають місцеві перенапруження і зменшується площа поперечного перетину; у швах тонкостінних труб можуть бути співрозмірні з товщиною стінки, що є особливо небезпечним.

З огляду на згадані недоліки основним способом з'єднання поліолефінових труб малого діаметра є розтрубне зварювання нагрітим інструментом (рис. 8.5), за якого збільшується площа зварного шва, а також відбувається визначене самоцентрування труби в розтрубі, що дає змогу виконувати зварювання вручну.

Розтрубне зварювання звичайно виконують за допомогою розтрубних сполучних деталей. Можливе також збирання за допомогою

розтрубів, сформованих на кінцях труб, проте з'єднання такого типу в напірних трубопроводах з поліолефінів є недостатньо надійним.

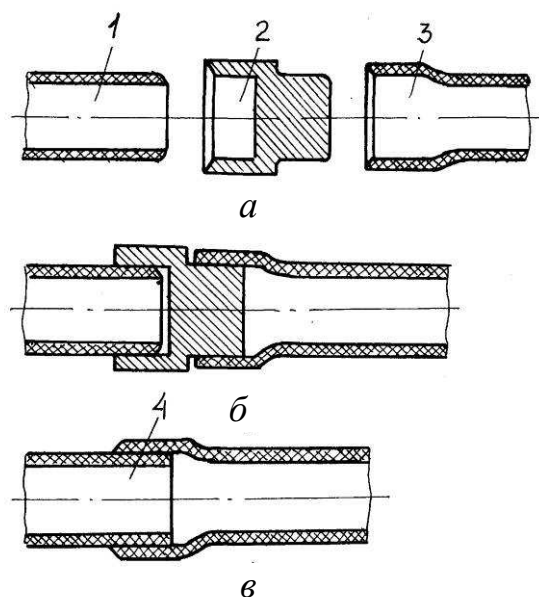


Рис. 8.5. Послідовність процесу зварювання врозтруб:  
*а* – положення до початку зварювання; *б* – оплавлення кінців труб;  
*в* – зварне з'єднання; *1* – прямий кінець труби; *2* – електронагрівач;  
*3* – труба з розтрубом

Для з'єднання безнапірних трубопроводів у деяких випадках допускається зварювання нагрітим газом та екструзійне зварювання. Порівняно із зварюванням нагрітим газом екструзійне зварювання означає високу продуктивність технологічного процесу і підвищену міцність швів, які тим вищі, чим більша товщина стінки труб.

Застосування інших видів зварювання (закладним елементом, випромінюванням, тертям та ін.) у кожному конкретному випадку залежить від міцнісних вимог до з'єднання, умов виконання зварювальних робіт, технічної оснащеності будівельної організації тощо.

З-поміж різних способів теплового зварювання для ПВХ-труб застосовують переважно стикове зварювання нагрітим інструментом, а також зварювання нагрітим газом за допомогою присадного прутка, температуру текучості і в'язкість розплаву якого знижують завдяки введенню пластифікатора. Зварювання нагрітим інструментом врозтруб та екструзійне зварювання, які зумовлюють певне перегрівання полімерного матеріалу, до труб з ПВХ не можуть бути застосовані. Застосування зварювання для деяких типорозмірів труб з ПВХ

лімітується так само незначною товщиною їх стінки, приблизно вдвічі меншою, ніж труб з ПНТ еквівалентного типорозміру. Загалом зварні з'єднання ПВХ-труб значно поступаються клейовим за міцністю та надійністю.

Для труб з ПВХ склеювання є найефективнішим способом виконання нерознімних розтрубних з'єднань труб з деталями і між собою.

Перевагою розтрубних зварних і клейових з'єднань порівняно із стиковими, крім збільшення площі сполучних поверхонь, є також підвищена стійкість до згинальних зусиль, які зазвичай виникають в процесі монтажу й експлуатації.

Найпоширеніший вид рознімних з'єднань – фланцеві. Такі з'єднання виконують за допомогою втулок під фланці, які приварюють або приклеюють до кінців труб та накладних металевих фланців.

Просту форму фланця використовують для відбортування кінців труб. Проте відбортовка та відповідна конструкція фланцевого з'єднання не мають тривалої міцності, зважаючи на концентрацію напруг в зоні перегину і небезпеку руйнування в цій зоні.

До з'єднань труб за допомогою накладної гайки належать різноманітні конструкції, які виконують за допомогою пластмасових і металевих деталей. Для труб малих діаметрів такі з'єднання більш компактні, в деяких випадках і економно вигідніші, ніж фланцеві.

Нарізування різі на кінцях труб призводить до зменшення несного перетину силової конструкції і концентрації напруг в западинах нарізання. У зв'язку з цим різь на пластмасових трубах припустима тільки за значного запасу їх міцності. Раціональніше використовувати для виконання з'єднань спеціальні переходи, які на одному кінці мають різь, а на другому – розтруб для приварювання або приклеювання до кінця труби. За допомогою таких переходів можна виконувати приєднання пластмасових труб до нарізної арматури і металевих труб. При цьому конструкція переходу із зовнішньою різью працює в сприятливіших умовах і є переважною порівняно з конструкцією переходу з внутрішньою різью. Нарізка внутрішньої різі на пластмасових трубах не допускається, оскільки під впливом внутрішнього тиску труба дещо розширюється, що може призвести до протікання.

Труби та з'єднувальні деталі, які готують до з'єднання, добирають за матеріалами, партіями поставки, зовнішніми діаметрами та товщиною стінки. Якість труб, які використовують для зварювання і склеювання, а також деталей має бути засвідчена документально. Кінці труб не повинні мати усадкових конусів, а їх овальність не повинна виводити мінімальний і максимальний діаметри за межі номінального діаметра труб з урахуванням допусків, зазначених у стандартах і технічних умовах на труби. У разі перевищення овальності перед монтажем потрібно виконати калібрування кінців труб, а усадковий конус обрізати перпендикулярно до вісі труби. Не можна зварювати труби і деталі, виготовлені з поліетилену високого тиску, з трубами і деталями з поліетилену низького тиску.

Підготовку труб (очищення, знежирення, механічну обробку кінців та інші роботи) слід виконувати не раніше, ніж за вісім годин до початку робіт із зварювання та склеювання. Поверхні кінців труб, що підлягають зварюванню і склеюванню, треба очистити від забруднень (пилу, вологи, піску, сажі тощо) на довжину, яка перевищує зону з'єднання на 20...40 мм. З'єднані поверхні, які не підлягають механічній обробці безпосередньо перед зварюванням або склеюванням, слід знежирювати розчинниками (уайт-спіритом, ацетоном, метиленхлоридом, трихлоретиленом) на ділянці, яка перевищує ділянку з'єднання на 30 мм.

Механічну обробку торців труб виконують з метою отримання рівної поверхні, усунення непаралельності торців під час їх підганяння, зняття окисненого шару, забезпечення оброблення кромки зварних стиків і в деяких випадках для підрізування труб і зварних сполучних деталей з метою надання їм належної розмірної точності.

За контактного зварювання встик торцювання виконують безпосередньо перед зварюванням труб, зафіксованих у зварювальному пристрої, що сприяє високій точності підганяння зварюваних поверхонь. У такому разі пристрої для торцювання виконують з'ємними або переміщуваними. Основним механізмом цих пристроїв є два диски, які паралельно обертаються і на яких закріплені різальні ножі. Привід дисків може бути ручний або механізований. Зусилля приводу визначають з огляду на діаметр і тип труб, кількість ножів, глибину різання. У розрахунках питому силу різання одного ножа вважають рівною 40...50 Н/мм<sup>2</sup>. Зусилля приводу регулюють за висотою різальної

кромки ножа над поверхнею диска, яка зумовлює товщину знятої стружки. Висота пристроїв торцювань з ручним приводом для оброблення труб з поліетилену і поліпропілену повинна становити 0,2...0,5 мм, а з полівінілхлориду – 0,1...0,2мм. Регулюють висоту ножів за допомогою підкладок. Геометрія різця й установа його на торцювальному диску зумовлюють процес стійкого різання й утворення витої стружки [16].

Зусилля приводу можна визначити за формулою

$$Q = \frac{R_{\text{сер}} \delta (4\pi \cdot f \cdot \gamma + q \cdot n)}{L}, \quad (8.6)$$

де  $Q$  – зусилля приводу, Н;  $R_{\text{сер}}$  – середній радіус труби, мм;  $\delta$  – товщина стінки труби, мм;  $f$  – коефіцієнт тертя ( $f \approx 0,25$ );  $\gamma$  – осьовий тиск, Н/мм<sup>2</sup>;  $q$  – питома сила різання, Н/мм;  $n$  – кількість ножів;  $L$  – довжина приводного важеля, мм.

Для торцювання осьовий тиск має становити 15...20% тиску осідання під час зварювання труб. За такої умови досягають безперервності зняття стружки і мінімальних витрат зусилля приводу на подолання сил тертя дисків об торці труб. Питома силу різання  $q$  (сила, що припадає на одиницю довжини стружки) обирають залежно від глибини різання  $S$  за табл. 8.6.

Таблиця 8.6

**Сила, що припадає на одиницю довжини стружки**

$S$ , мм	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$q$ , Н/мм	6,5	9,5	13,0	17,0	22,0	28,0

Торцювання труб виконують також поза зварювальними пристроями. Для робіт на монтажі застосовують комплект ручних пристроїв, що складається з набору центраторів та різальних головок для труб діаметром 50...75; 90...160 і 225...315мм.

В основі зварювання пластмас лежить процес взаємодії макромолекул в зоні контакту зварюваних деталей. Такий процес може бути двох типів. В одному випадку для надійної взаємодії між макромолекулами слід перевести матеріал в зоні зварювання у в'язкоплинний стан – цей вид зварювання має назву зварювання плавленням. У другому випадку під час так званого хімічного зварювання між взаємодійними макромолекулами утворюються хімічні зв'язки.

Зварювання плавленням застосовують для з'єднання термопластів та еластотермопластів. Воно основане на здатності полімерних матеріалів унаслідок нагрівання вище від певних температур або набухання (після введення розчинника) переходити у в'язкоплинний стан, який сприяє виникненню міжмолекулярної взаємодії між поверхнями деталей, сполучуваних під тиском. При цьому в зоні контакту відбуваються процеси (перемішування розплаву, його витікання, орієнтація та ін.) реологій, що значною мірою визначають якість зварного з'єднання. Основними параметрами режиму зварювання є температура і час нагрівання зварюваних деталей, а також тиск під час зварювання і час його прикладання. Для визначення оптимальних параметрів режиму зварювання полімеру шляхом плавлення потрібно знати інтервал між температурою текучості  $T_{\text{ТЕК}}$  і температурою деструкції  $T_{\text{Д}}$ . Структура зварного шва відрізняється від структури основного матеріалу, що впливає на експлуатаційні властивості зварної конструкції під час роботи в агресивному середовищі, знакозмінних навантажень тощо. Унаслідок нагрівання орієнтованих полімерів до температури плавлення відбувається втрата орієнтації і первинних механічних властивостей. До погіршення механічних властивостей може призвести зварювання за температури, близької до  $T_{\text{Д}}$ . В процесі зварювання внаслідок нагрівання, прикладання зусиль осідання й охолодження у шві та навколошовній зоні виникають місцеві напруги, внаслідок чого можуть утворюватися мікротріщини. Тому зварні шви бажано навантажувати не раніше, ніж через 8...20 год після зварювання, оскільки за цей час власні напруги знижуються внаслідок релаксації.

До робіт із зварювання, склеювання допускають осіб, підготовлених за затвердженими програмами, котрі мають посвідчення про допуск до зварювання (склеювання) пластмасових трубопроводів і склали контрольні випробування.

Рекомендується перед початком робіт з новою партією труб і деталей виконати контрольні зварювання (склеювання) для перевірки і корегування режимів.

Зварювання трубопроводів з поліетилену можна виконувати за температури навколишнього повітря, не нижчої за  $-10^{\circ}\text{C}$ , з поліпропілену  $-0^{\circ}\text{C}$ , а зварювання і склеювання труб з полівінілхлориду – не нижчої від  $+5^{\circ}\text{C}$ . За нижчих температурах середовища зварювання (склеювання) слід



виконувати в утеплених укриттях. Крім того, під час зварювання (склеюванні) трубопроводів просто неба слід подбати про місцевий захист сполучного стику від вітру й атмосферних опадів.

У з'єднанні труб встик контактним зварюванням в технологічному циклі виділяють чотири стадії: підготовка труб до зварювання (збирання і центрування труб у зварювальному пристрої, оброблення зварюваних кромки); приведення труб у зіткнення з нагрівальним інструментом і нагрівання торців (оплавлення); видалення деталей з інструмента і виведення інструмента із зони зварювання (технологічна пауза); притискання труб одна до одної (осідання стику) з охолодженням стику під тиском. Зварювання труб виконують із застосуванням плоских нагрівальних інструментів (рис. 8.6) за певного режиму (табл. 8.7).

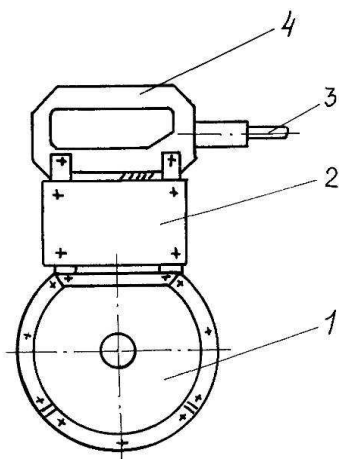


Рис. 8.6. Нагрівач зварювальний монтажний:

1 – нагрівальна плита; 2 – корпус; 3 – підвідний кабель; 4 – рукоятка

Робочі поверхні нагрівального інструмента повинні мати антиадгезійне покриття з лакотканини або емульсії на основі фторопласту  $\Phi 4Д$ . Допускається застосування нагрівачів з хромованими або полірованими поверхнями.

Високої якості зварювання трубопроводів з ПВХ досягають завдяки застосуванню плоских нагрівачів без антиадгезійного захисту з фторопласту  $\Phi 4Д$ , але при цьому потрібне очищення його робочих поверхонь від розплавленого матеріалу труб, що залишився після попереднього зварювання. Нагрівачі з фторопластовим покриттям рекомендовано застосовувати для зварювання труб з ПВХ з товщиною стінки, що не перевищує 6 мм, тому що за більших значень міцність стику є значно нижчою.

**Механічну обробку** (торцювання) труб виконують безпосередньо перед зварюванням після затискання труб у зварювальному пристрої. Зазори між торцями труб, підготовлених до зварювання, після приведення їх в зіткнення один з одним не повинні перевищувати певних величин за відповідного зовнішнього діаметра труб: до 110 – 0,3; до 225 – 0,4; до 315 – 0,5 і понад 315 мм – 0,6 мм.

Під час зварювання труб з ПВХ слід уникати зазору між зведеними під зварювання торцями труб.

Зсув кінців сполучуваних труб, затиснених в зварювальному пристрої, по зовнішньому периметру торців повинен становити не більш як 10% номінальної товщини їх стінки, але не перевищувати 1,2 мм. Виліт кінців труб із затисків зварювальних пристроїв має бути не меншим за 20 мм. Робоча зона нагрівального інструмента повинна виступати за контури зварюваних поверхонь труб не менше, ніж на 15 мм.

Таблиця 8.7

**Режими контактного зварювання труб встик**

Найменування показника	Товщина стінки труб, мм	Матеріал труб			
		ПВТ	ПНТ	ПП	ПВХ
Температура нагрівального інструмента, °С	–	200±10	220±10	240±5	225±5
Тиск на першому етапі оплавлення й осідання, МПа	–	0,1±0,02	0,2±0,04	0,2±0,04	0,5±0,05
Висота вала наприкінці першого етапу оплавлення, мм	4...7	0,5	0,4	0,4	0,3
	8...12	0,8	0,7	0,7	0,5
	13...18	1,1	1,0	1,0	0,8
	Понад 18	1,5	1,3	–	1,0
Тиск під час другого етапу оплавлення, МПа	–	0,02±0,01	0,04±0,015	0,02±0,01	0,02±0,01
Тривалість другого етапу оплавлення, с	4...7	45±15	55±15	50±15	60±15
	8...12	80±15	110±25	100±15	100±15
	13...18	120±15	150±25	130±20	150±20
	Понад 18	170±15	190±25	–	190±25
Тривалість технологічної паузи, с	4 – 7	3			
	8 – 12	4			
	13 – 18	5			
	Понад 18	6			
Тиск осідання стику, МПа	-	0,1±0,025	0,2±0,05	0,2±0,05	0,5±0,05
Час охолодження шва під тиском осідання, хв	4 – 7	6±2	8±2	8±2	6±2
	8 – 12	10±3	13±3	13±3	10±3
	13 – 18	16±3	20±4	20±4	16±3
	Понад 18	22±3	28±4	-	22±3

Оплавлення торців зварюваних заготовок складається з двох етапів: першого – протягом часу  $t'_H$  під тиском, рівним тиску осідання  $P_0$ , другого – протягом часу  $t''_H$  за зниженого тиску  $P_H$  (рис. 8.7).

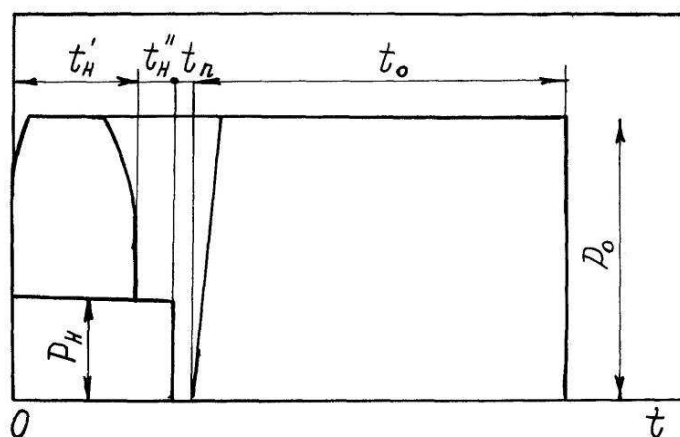


Рис. 8.7. Циклограма контактної зварювання встик

Під час технологічної паузи  $t_n$  виконують відведення труб від нагрівального інструмента, виведення його із зони зварювання і зближення оплавлених торців труб. Час підвищення тиску осідання до заданого рівня  $P_0$  повинен бути в межах 4...10 с для товщини стінок труб від 4 до 30 мм. Охолодження зварного шва виконують в природних умовах під тиском осідання протягом заданого часу  $t_0$ . За температури навколишнього повітря понад 25 °С час охолодження потрібно збільшувати на 10...20%.

Допускається виконувати зварювання в режимі постійного тиску оплавлення, що становить для труб з ПНТ і ПП  $0,075 \pm 0,02$  МПа, з ПВТ –  $0,05 \pm 0,02$  МПа і з ПВХ –  $0,1 \pm 0,02$  МПа. Тривалість стадії оплавлення залежно від товщини стінки труби і матеріалу визначають за табл. 8.7.

Для зварювання труб з ПВХ з метою уникнення можливого перепалювання матеріалу процес оплавлення раціонально провадити зі змінним тиском (табл. 8.8).

Видалення грата зварного шва (внутрішнього і зовнішнього вала витисненого розплаву) у зварних стикових з'єднаннях не допускається. У випадках, обґрунтованих відповідною нормативно-технічною документацією, для видалення грата застосовують механічний спосіб.

Контактне зварювання встик виконують з використанням зварювальних пристроїв.

Торцювальні монтажні пристрої призначені для одночасної обробки двох торців труб, затиснених у зварювальному пристрої (рис. 8.8, табл. 8.9).

Таблиця 8.8

**Тривалість стадії оплавлення труб, с, в режимі постійного тиску**

Товщина стінки труби, мм	Матеріал труб			
	ПВТ	ПНТ	ПП	ПВХ
4...7	60±15	75±20	60±15	80±15
8...12	100±20	130±20	110±20	120±15
13...18	150±20	200±30	150±20	170±20
Понад 18	200±30	250±30	–	210±25

Нагрівачі, які використовують у комплекті з монтажними пристроями, живляться від джерела струму напругою 36 В і мають потужність не менш як 0,5 кВт.

Контактне зварювання врозтруб ґрунтоване на одночасному оплавленні внутрішньої поверхні розтруба і зовнішньої поверхні прямого кінця труби і подальшому з'єднанні оплавлених поверхонь. Застосовують для з'єднання труб з поліетилену високого тиску з литими сполучними деталями, що мають на кінцях розтруби, і труб з поліетилену низького і високого тиску і поліпропілену з формованими розтрубами.

Таблиця 8.9

**Технічні характеристики монтажних зварювальних пристроїв**

Параметри	УСПМ 110	УСПМ 225
Хід рухомого затискача, мм	70	70
Зусилля приводу, Н	50	100
Зусилля осідання (макс.), Н	700	1800
Продуктивність, стиків за 1 год	10	6
Розміри, мм	380x200x280	480x470x490
Маса, кг	6,0	15,0

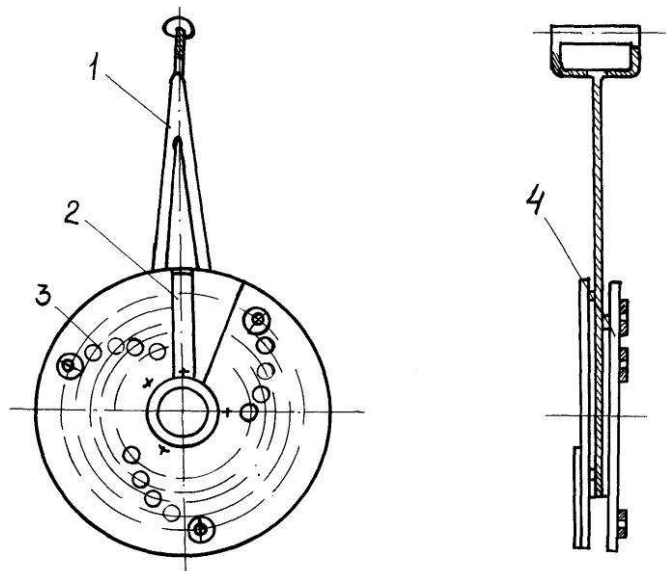


Рис. 8.8. Ручний пристрій для торцювання труб  $D_H$  50...110мм:  
 1 – важіль; 2 – ніж; 3 – опорний диск; 4 – центрувальний ролик

Технологічний процес контактного зварювання врозтруб охоплює підготовку і складання труб до зварювання, установлення обмежувального хомута, оплавлення зварюваних поверхонь, з'єднання зварюваних поверхонь, охолодження зварного з'єднання (рис. 8.9).

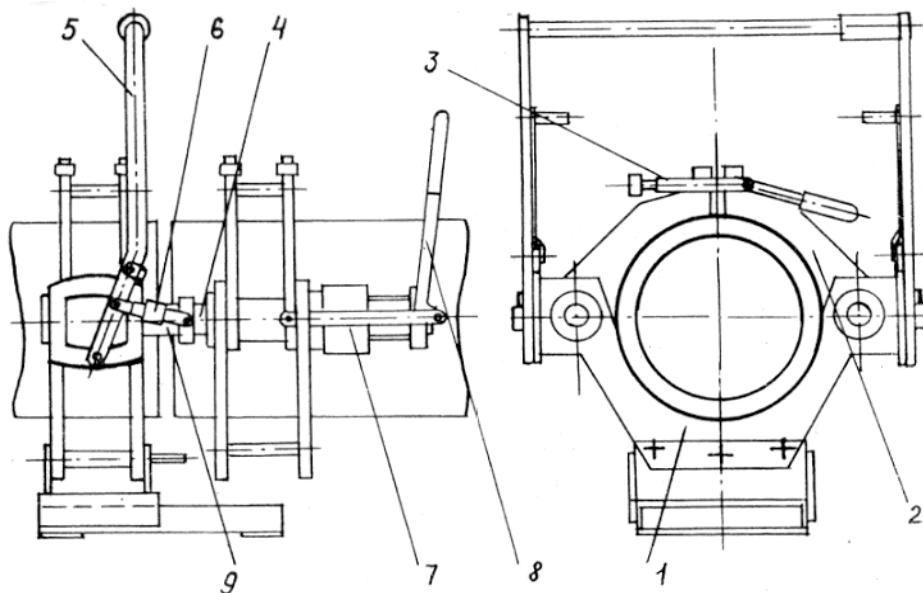


Рис. 8.9. Монтажний пристрій для зварювання пластмасових труб  $D_H$  140...225мм УСПМ-225:

1 – напівхомут; 2 – притискач; 3 – замок; 4 – повзун; 5 – важіль; 6 – тяга;  
 7 – механізм регулювання зусилля осідання; 8 – курок; 9 – напрямна

Підготовлені під зварювання кінці труб повинні мати зовнішню фаску під кутом  $45^\circ$ . Висота фаски має становити  $1/3$  товщини стінки труби у разі зварювання врозтруб і  $1...2$  мм за розтрубно-стикового зварювання. На кінцях труб перед зварюванням рекомендується встановлювати обмежувальні хомути, які сприяють усуненню еліптичності труб й одночасно дають змогу фіксувати ступінь заглиблення труби в розтруб. Обмежувальний хомут встановлюють на трубу так, щоб відстань від хомута до торця труби була на  $2$  мм менша від довжини розтруба за контактного зварювання врозтруб і на  $2$  мм більша від довжини розтруба за контактного розтрубно-стикового зварювання. Внутрішній діаметр хомута повинен бути на  $0,2$  мм менший від номінального зовнішнього діаметра труби.

Для того щоб досягти рівномірного прогрівання зварюваних поверхонь уздовж розтрубного з'єднання, посадка кінців труб на нагрівальний інструмент повинна бути плавною і максимально високою. Час витримування на нагрівальному інструменті кінців труб має бути достатнім для оплавлення всієї площі зварювання без втрати формостійкості кінців труб. Для рівномірнішого оплавлення за ручного способу зварювання допускається спочатку плавно повертати нагрівальний інструмент на кут  $\pm 15^\circ$ . Закінчення оплавлення можна визначити візуально: біля кромки торця труби і розтруба з'являється кільцевий вал оплавленого матеріалу заввишки  $1...2$  мм.

Після закінчення процесу оплавлення труби розводять, інструмент видаляють і виконують з'єднання труби з розтрубом. Якщо зварювання ведеться за температури навколишнього повітря, нижчої від  $20^\circ\text{C}$ , зварний стик охолоджують у природний спосіб до температури  $30...50^\circ\text{C}$ . За температури навколишнього повітря, вищої від  $20^\circ\text{C}$ , зварний стик після витримування протягом щонайменше  $60$  с рекомендується остудити водою і лише після цього зняти зварювальне пристосування.

Зварювання нагрітим газом звичайно виконують за допомогою присадкових матеріалів, за своїми властивостями відповідних основним зварюваним матеріалам. Найвищу якість зварного з'єднання отримують завдяки застосуванню присадкового матеріалу з пластифікаторами.

Як газ-теплоносій використовують стиснене повітря, очищене від вологи і масних забруднень, газоповітряну суміш продуктів згорання пропан-бутану, а також інертні гази – азот, аргон та ін. Інертні гази

потрібні для зварювання відповідальних конструкцій з поліолефінів і пентапласту з підвищеними вимогами до міцності швів.

Зварюють різні конструкції трубопроводних систем вручну за допомогою електричних або газових пальників для нагрівання газу-теплоносія і підтримання його температури в потрібних межах.

Оброблення кромки труб і деталей виконують переважно V-подібне з кутом розкриття  $60^{\circ}\pm 10^{\circ}$  для товщини стінок до 6 мм і  $80^{\circ}\pm 10^{\circ}$  – понад 6 мм. Зазор у стику зібраних і нерухомо зафіксованих деталей повинен бути  $1,0\pm 0,5$  мм. Перед початком зварювання присадний пруток зрізають під кутом  $40^{\circ}\pm 10^{\circ}$  до його осі. Відстань вихідного каналу наконечника від зварюваних деталей обирають рівною 5...10 мм. Кут нахилу прутка до поверхні зварного шва залежить від матеріалу:  $90^{\circ}$  – для труб з ПНТ, ПП і ПВХ і  $120^{\circ}$  – для труб з ПВТ. У разі швидкісного зварювання з механічною подачею прутка кут нахилу має становити  $80^{\circ}$ .

Під час зварювання нагрітим газом залежно від зварюваних матеріалів контролюють температуру газу-теплоносія і зусилля вдавлювання прутка.

Температуру теплоносія слід підвищувати на  $10^{\circ}$ , якщо температура навколишнього повітря нижча від  $15^{\circ}$ , для труб з ПП, ПВХ і ПНТ і на  $5^{\circ}\text{C}$  – для труб з ПВТ.

У процесі зварювання бажано укладати перший (кореневий) шов прутками діаметром близько 2 мм, а другий і третій – одночасно з використанням здвоєного прутка. У разі зміни або обриву прутка під час зварювання кінець прутка, що залишився у шві, треба зрізати під кутом  $40^{\circ}$  до осі шва. Відстань між стикуми прутків, розміщених уздовж зварного з'єднання і послідовно укладених один під одним, має бути не менш як 10 мм. Прутки в процесі зварювання не повинні перекручуватися і переплітатися один з одним. У разі багаторядного укладання прутків у зварний шов треба стежити за тим, щоб кожен наступний пруток укладався після охолодження попереднього до температури  $40^{\circ}\text{C}$  і нижче (табл. 8.9).

**Режими зварювання нагрітим газом**

Параметри	Матеріал труб			
	ПНТ	ПВТ	ПП	ПВХ
Температура теплоносія, °С	250±15	240±15	260±15	230±15
Зусилля вдавлювання прутка у шов, що припадає на 1 мм <sup>2</sup> площі перетину прутка, Н	3±1	2±1	3±1	4±1

Технологічний процес виготовлення відведень, рівнопрохідних трійників і хрестовин складається з таких операцій: розмічування і різання труб на заготовки; установлення, кріплення і центрування заготовок в затискачах зварювального пристрою; торцювання заготовок; зварювання (відведень, косинців); відрізання вершини косинців (для трійників і хрестовин), зварювання (трійників і хрестовин).

Зварні сполучні деталі виготовляють переважно із застосуванням контактного стикового зварювання.

У процесі виготовлення перехідних трійників виконують витягування горловини, торцювання горловини і відгалуження, приварювання відгалуження до горловини за допомогою контактної стикового зварювання.

Сполучні деталі з труб діаметром до 63 мм допускається зварювати без застосування зварювальних пристроїв (вручну). Після виготовлення сполучні деталі оглядають, перевіряють їх розміри, випробовують (вибірково) на міцність. Поверхня сполучних деталей повинна бути рівною і гладкою.

Зварювання сполучних деталей з труб виконують за допомогою установок, особливістю яких є застосування поворотних затисків труб і наявність поперечного переміщення однієї з кареток для підганяння зварюваних поверхонь трубних заготовок.

Для склеювання труб з ПВХ між собою та з фасонними деталями, якщо зазор між склеюваними поверхнями не перевищує 0,6 мм, застосовують зазорозаповнювальні клеї на сильних розчинниках. Допускається також приготування клею на слабких розчинниках, що дає змогу сполучати труби із зазором не більш як 0,2 мм.



До повного розчинення смоли і готовності клею суміш слід витримувати протягом 30...40 хв в герметично закритій тарі.

Склеювання труб і фасонних деталей з ПВХ складається з таких операцій: підготовка кінців труб і деталей під склеювання, контрольне складання, нанесення клею на сполучувані поверхні, складання клейового з'єднання і витримання до затвердіння.

Складання з'єднання потрібно виконувати протягом 1...2 хв після нанесення клею. При цьому не можна повертати одну деталь відносно іншої.

З'єднують труби  $D_H = 90$  мм і більше із застосуванням пристроїв, які виконують функції затискання, центрування і переміщення склеюваних виробів. Труби  $D_H < 90$  мм можна з'єднувати вручну.

Склеєні стики мають бути витримані в нерухомому стані протягом 5 хв і не зазнавати механічних навантажень упродовж щонайменше двох годин.

Контроль за якістю зварних і клейових з'єднань охоплює: вхідний контроль за якістю матеріалів і виробів на відповідність стандартам; операційний контроль, зовнішній огляд і вимірювання швів; механічні випробування зварних з'єднань. Випробування зварних і клейових з'єднань на міцність і щільність виконують під час випробування і здачі трубопроводів.

Операційний контроль зварних з'єднань полягає в перевірці якості складання під зварювання, якості поверхонь кінців труб після їх обробки, стану робочих поверхонь нагрівальних інструментів; контролі за дотриманням технологічних параметрів процесу зварювання. Операційний контроль клейових з'єднань означає перевірку якості підготовки поверхонь під склеювання, величини зазору під час складання під склеювання і режимів технологічного процесу склеювання.

Зовнішньому огляду і вимірюванню підлягають всі зварні і клейові з'єднання трубопроводів. Зовнішній вигляд з'єднання має відповідати таким вимогам: у з'єднаннях, виконаних за допомогою контактного зварювання встик, грат зварного шва повинен бути рівномірно розподілений по периметру стику. Висота грату  $h$  має бути в межах 1...2,5 мм – за товщини стінки не більш як 7 мм, 2...4 мм – за товщини

стілки від 7 до 18 мм, 3...5 мм – за товщини стінки понад 18 мм. Ширина ґрату  $b$  повинна бути в межах  $b = (1,8...2,3) h$ .

Між валками ґрату не має бути різкої розмежувальної лінії. З'єднання валів один з одним потрібно виконувати з плавним заокругленням. Шов не повинен мати тріщин, газових пузирів і сторонніх домішок. Зсув кромки у зварному шві може сягати 10% товщини стінки труби, але не перевищувати 1,2 мм у з'єднаннях, виконаних в прямий стик, і 1,0 мм – для з'єднань, виконаних під кутом. У з'єднаннях, виконаних контактним зварюванням в розтрубі і контактним розтрубно-стиковим зварюванням, ґрат повинен бути рівномірно розподілений по торцю розтруба, не мати поперечних тріщин, пор і порожнин між з'єднаними деталями.

Стики з виявленими під час зовнішнього огляду дефектами бракують, вирізують і замінюють патрубками-котушками завдовжки не менше, ніж 200 мм. Усунення дефектів у з'єднаннях, виконаних склеюванням або зварюванням контактним тепловим способом, не допускається.

Для налагодження зварювального устаткування, уточнення технологічних параметрів зварювального процесу після отримання нової партії труб, а також для перевірки кваліфікації зварювальника влаштовують механічні випробування зварних зразків.

Випробовують не менш ніж три стики, зварені в одному режимі. Зварний шов повинен бути посередині довжини зразка. Ґрат із зразків не знімають. Для випробування лінійних зразків з кожного зварного стику виготовляють не менш як три зразки, вирізані рівномірно по периметру стику методом фрезерування.

Випробування на розтягування виконують на розривних машинах, таких як МРС-500, 1231У-10, БРП-5000, призначених для вимірювання і відліку навантаження під час розтягування з точністю не менш як 1% вимірюваної величини і максимальним зусиллям розтягування від 5 до 100 кН (табл. 8.11). Швидкість переміщення затискачів розривної машини повинна становити 25 мм/хв під час випробування зразків з ПВХ, 50 мм/хв – з ПНТ і 100 мм/хв – зразків з ПВТ. Ознаками задовільної якості зварного стику є відповідність величини коефіцієнта міцності з'єднання значенням, наведеним в табл. 8.12, а також

руйнування зразків поза площиною зварювання і пластичний характер руйнування (утворення «шийки»).

Таблиця 8.11

**Види механічних випробувань, застосування і розміри випробовуваних зразків**

Види випробувань	Умови випробування	Позначення на ескізі	Розміри, мм
	Стикове з'єднання		
	$D_H \leq 50$	$L$	$235 \pm 1$
На розтягування	$D_H > 50$	$L$	170
		$l$	115
	$10 < S \leq 20$	$B$	$40 \pm 0,5$
		$b$	$20 \pm 0,1$
	$D_H > 50$	$L$	300
		$l$	200
	$20 < S \leq 40$	$B$	$60 \pm 0,5$
	$b$	$40 \pm 0,1$	
На розтягування	$D_H > 50$	$L$	300
		$l$	200
	$S > 40$	$B$	$80 \pm 0,5$
		$b$	$60 \pm 0,1$
На статичне згинання	$D_H > 50$		10
	$S \leq 10$	$B$ $L$	$40 \pm 100$ , але не менше 250 і не більше 400
На розтягування	Розтрубне, розтрубно-стикове з'єднання		
	$D_H \leq 50$	$L$ $l$	$235 +$ за таблицею
На віддирання	$D_H > 50$	$B$	10
	$S \leq 10$	$L$	$40 + 200$
	$D_H > 50$ $S > 10$	$B$ $L$	10 600

Коефіцієнт міцності з'єднання  $k_{з.кч}$  визначають із співвідношень (табл. 8.12):

$$k_{з.кч} = \frac{\sigma_{PP}}{\sigma_{PT}}; \quad \sigma_{PP} = \frac{P_{PP}}{A_0}; \quad \sigma_{PT} = \frac{P_{PT}}{F_0},$$

де  $\sigma_{PP}$  – міцність на розривання зварного зразка, МПа;  $\sigma_{PT}$  – межа текучості матеріалу труби, МПа;  $P_{PP}$  – навантаження, за якого руйнується зварний зразок, Н;  $P_{PT}$  – навантаження після досягнення межі текучості, Н;  $F_0$  – початковий поперечний перетин зразків, мм<sup>2</sup>,  $A_0$  – перетин.

Таблиця 8.12

### Коефіцієнти міцності з'єднань $k_{з.кч}$

#### У процесі короточасних випробувань зварних з'єднань

Спосіб зварювання	$k_{з.кч}$ , не менше	
	ПНТ, ПВТ, ПП	ПВХ
Контактний встик	0,95	0,70
Контактний врозтруб	1,0	–
Газовий прутковий	0,5	0,5

Випробування на статичне згинання виконують, плавно деформуючи зразок протягом 3...5 с. Якість зварювання вважається задовільною, якщо не менш як 80% зразків витримало загинання на кут  $\alpha = (2\beta_1 + 2\beta_2) = 180^\circ$  і не виявлено руйнувань (без приладів збільшення).

Випробування на віддирання виконують, вигинаючи вільну частину зразка, затисненого на половину довжини зварного шва. Про задовільну якість зварювання свідчить руйнування цілого матеріалу або частково по шву і цілому матеріалу.

До початку монтажу трубопроводів з полімерних труб повинні бути закінчені всі будівельні роботи, зокрема обробні, роботи з монтажу технологічного устаткування, сталевих трубопроводів, трубопроводів з чавуну, кольорових металів і сплавів, трубопроводів з покриттям, а також роботи з їх теплоізоляції; встановлення та закріплення на опорних конструкціях, спорудах, естакадах окремих опор, підвісок і суцільних опор, а також виконані для них антикорозійні покриття, передбачені

проектом; встановлені і закріплені опори під кріплення арматури, колекторів, вузлів і блоків трубопроводів, а в разі безканального прокладання і прокладання в каналах, в колодязях – встановлені і замонолічені бетоном анкерні болти для кріплення арматури.

Довжина ділянок трубопроводів, що не спираються на суцільну основу в місцях поворотів і приєднання їх до апаратів, устаткування, арматури, не повинна перевищувати 0,5 м для труб з  $D_H$ , меншим за 63 мм, і 1,0 м – для труб з  $D_H$  понад 63 мм.

Під час монтажу прямі ділянки трубопроводів потрібно укладати не менше, ніж на дві опори, а просторові вузли і монтажні блоки закріплювати так, щоб вони не могли зміщуватися і деформуватися під впливом своєї маси. Складання різних фланцевих з'єднань трубопроводу слід виконувати за температури, вищої від 0 °С. Затягують фланцеве з'єднання рівномірно-поперечним (навхрест) підтяганням гайок. Зусилля для затягування фланцевого з'єднання, збираного із застосуванням гумової ущільнювальної прокладки, не повинне призводити до деформації, що перевищує 0,2...0,4 її товщини, а для прокладок з інших матеріалів зусилля добирають дослідним шляхом відповідно до умов дотримання міцності і щільності з'єднання.

Доставляють пластмасові труби з місця зберігання на об'єкт монтажу і розкладають їх вздовж траншеї або каналу безпосередньо перед виконанням монтажних робіт у кількості, що становить змінну норму. У разі безканального прокладання і прокладання в каналах трубопроводи протяжністю 100 м і більше зазвичай вмонтовують елементами завдовжки 12...18 м, заздалегідь звареними (склеєними) в стаціонарних умовах. Розвезенні і розкладені вздовж траси труби остаточно зварюють (склеюють) в безперервну нитку за допомогою пересувних зварювальних пристроїв. У випадках, коли трубопроводи  $D_H \leq 160$  мм надходять у бухтах, їх з'єднання слід виконувати за допомогою портативних зварювальних пристроїв без попереднього укрупнення в секції.

Випробування на міцність і щільність змонтованих трубопроводів, виготовлених з пластмас, виконують залежно від робочого тиску, температури, фізико-хімічних властивостей транспортованого середовища в гідравлічний або пневматичний спосіб після закінчення робіт з монтажу трубопроводів відповідно до нормативних документів.

Тиск для випробування на міцність повинен бути  $1,25 P_{\text{РОБ}}$ , і не менш ніж 0,2 МПа для випробування на щільність –  $P_{\text{РОБ}}$ .

Трубопроводи випробовують одночасно на міцність і щільність до покриття їх термоізоляцією. Випробування трубопроводів разом з устаткуванням, пневматичні випробування на падіння тиску, передбачені проектом спеціальні промивання і продування, що належать до пусконаладжувальних робіт, виконують з участю представників замовника.

### Запитання для самоперевірки

1. Назвіть галузь застосування полімерних труб. У чому їх переваги та недоліки?
2. Охарактеризуйте фізико-механічні властивості термопластів.
3. Назвіть основні види термопластів, з яких виготовляються труби.
4. За допомогою яких пристроїв розрізають труби з пластмаси?
5. Які режими обробки пластмасових труб?
6. Що застосовують для утворення з'єднань трубопроводів з поліетилену? У чому особливості процесу їх формування?
7. Наведіть схему гнуття труб способом обкатки роликком.
8. Наведіть схему гнуття труб способом намотування.
9. Якими мають бути температура теплоносія і тривалість нагрівання труб для гнуття?
10. На які групи поділяють полімерні з'єднання за функціональним призначенням?
11. Опишіть технологічний процес зварювання полімерних трубопроводів.
12. Охарактеризуйте режими зварювання полімерів нагрітим газом.
13. У чому полягає контроль якості зварних і клейових з'єднань?
14. Назвіть дефекти зварювання. У чому причини їх утворення?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Черненко В.К.* Технологія монтажних робіт: підручник / В.К. Черненко, Г.М. Тонкачєєв, О.Ф. Осіпов. – К.: КНУБА 2012. – 800 с.
2. *Абрашкевич Ю.Д.* Абразивные инструменты для строительного-монтажных работ / Ю.Д. Абрашкевич, В.М. Беликович, А.Н. Компанцев, В.А. Оглоблинский // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 1993. – №10. – С. 12-16.
3. *Абрашкевич Ю.Д.* Расширение области применения полимерно-абразивных щеток / Ю.Д. Абрашкевич, А.Н. Компанцев, В.А. Оглоблинский. Монтажные и специальные строительные работы в строительстве. – 1994. № 7. – С. 16-19.
4. *Абрашкевич Ю.Д.* Абразивні інструменти для обробки облицовальних плит з природного каменю / Ю.Д. Абрашкевич, В.А. Оглоблінський // Будівництво України. 1994. № 1, – С. 31-34.
5. *Абрашкевич Ю.Д.* К вопросу безопасности абразивных армированных кругов / Ю.Д. Абрашкевич // Монтажные и специальные работы в строительстве. – С. 18-21.
6. *Абрашкевич Ю.Д.* Расширение области применения полимерно-абразивных щеток / Ю.Д. Абрашкевич, В.А. Оглоблинский, А.Н. Компанцев // Монтажные и специальные работы в строительстве, 1996. – № 1. – С. 21-24.
7. *Абрашкевич Ю.Д.* Определение энергетических параметров машин с абразивными рабочими органами / Ю.Д. Абрашкевич // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 1996. – № 2. – С. 24-30.
8. *Абрашкевич Ю.Д.* Абразивные армированные инструменты для строительного-монтажных работ: поизводственно-практическое издание / Ю.Д. Абрашкевич, Г.А. Сотников. – М.: Стройиздат, 1983. – 110 с.
9. *Ковальчук Ю.М.* Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного інструмента / Ю.М. Ковальчук, В.А. Букин, Б.А. Глаговский и др.; под общ. ред. Ю.М. Ковальчука. – М.: Машиностроение, 1984. – 288 с.

10. *Гальперин М.И.* Строительные машины / М.И. Гальперин, Н.Г. Домбровский. – М., Высш. шк., 1980. – 344 с.
11. *Гальперин М.И.* Монтаж технологического оборудования нефтеперерабатывающих заводов / М.И. Гальперин, В.И. Артемьев, Л.М. Местечкин. – М.: Стройиздат, 1982. – 351 с.
12. *Инструменты из сверхтвердых материалов:* учеб. пос. под ред. Н.В. Новикова К.: ИСМ НАНУ, 2001. – 528 с.
13. *Сычев Ю.И.* Распиловка камня. Уч. пособие / Ю.И. Сычев, Ю.Я. Берлин. – М.: Стройиздат, 1989. – 320 с.
14. *Александров В.А.* Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом: монография / В.А. Александров. – К.: Наукова думка, 1979. – 240 с.
15. *Орлов А.М.* Добыча и обработка природного камня / А.М. Орлов. – М.: Стройиздат, 1977. – 350 с.
16. *Першин Г.Д.* Повышение эффективности работы канатно-алмазных пил при добычи природного камня / Г.Д. Першин // Горный журнал. – 1994. – №8 – С. 29-33.
17. *Обвинцев В.И.* Проектирование и монтаж технологических трубопроводов из пластмасс / В.И. Обвинцев, В.Х. Бондарь, Ю.С. Бурбело. – К.: Будивэльнык, 1985. – 144 с.
18. *Шестопал А.Н.* Проектирование, строительство и эксплуатация трубопроводов из полимерных материалов: справочник проектировщика / А.Н. Шестопал, В. С. Ромейко, В.Е. Бухин и др. – М.: Стройиздат, 1985.– 304 с.
19. *Каган Д.Ф.* Трубопроводы из пластмасс / Д.Ф. Каган. – М.: Химия, 1980. – 296 с.



Навчальне видання

**АБРАШКЕВИЧ Юрій Давидович,  
ПЕЛЕВІН Леонід Євгенович,  
РАШКІВСЬКИЙ Володимир Павлович,**

# **ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОНТАЖНИХ РОБІТ**

Підручник

Редагування та коректура *Г.В Кобриної*

Комп'ютерне верстання *І.С. Аришнікіної*

Підписано до друку 27.10.2014. Формат 60 × 84 <sup>1/16</sup>

Ум. друк. арк. 13,48. Обл.-вид. арк. 14,5.

Тираж 70 прим. Вид. № 11/І-14. Зам. № 60/1-15.

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

E-mail: red-isdat@ukr.net, тел. (044)241-54-22, 241-54-87

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів

Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.

**Ю. Д. АБРАШКЕВИЧ,  
Л. Є. ПЕЛЕВІН,  
В. П. РАШКІВСЬКИЙ,**

# **ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МОНТАЖНИХ РОБІТ**

**Підручник**

**Київ 2016**

