

Б21. 491(075)

Ч-50

ЧЕРТОВ А. І., ЧЕРТОВ І. М.

---

ТЕХНОЛОГІЧНЕ СУПРОВОДЖЕННЯ  
ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ  
МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

---



621.791(075)  
4-50

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

**А. І. Чертов, І. М. Чертов**

# **Технологічне супроводження виготовлення зварних металоконструкцій**

Навчальний посібник

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів  
I-II рівнів акредитації, які навчаються за напрямом підготовки «Зварювання»*



621.791(075) 4-50 2015

Чертов А.І. Технологічне супроводження ви

Київ  
НТУУ «КПІ»  
2015

УДК 621.791(075.8)  
ББК 34.641я73  
Ч-50

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(Лист № 1/11-6706 від 06.05.2014 р.)

*Автори висловлюють щирю подяку Мельнику Ігорю Степановичу,  
кандидату технічних наук, за допомогу у виданні цього посібника*

Рецензенти: *К. А. Юценко*, д-р техн. наук, проф., акад. НАН України,  
Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона  
НАН України  
*П. П. Проценко*, канд. техн. наук,  
Міжгалузевий учбово-атестаційний центр  
Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України  
*В. В. Лисак*, канд. техн. наук, доц.,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Відповідальний редактор *А. Є. Бабенко*, д-р техн. наук, проф.,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

### **Чертов А. І.**

Ч-50 Технологічне супроводження виготовлення зварних металоконструкцій : навч. посіб. / А. І. Чертов, І. М. Чертов. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 340 с. – Бібліогр. : с. 338–339. – 100 пр.

ISBN 978-966-622-686-3

Викладено принципові питання технологічного супроводження загального виробництва з урахуванням конструктивно-технологічних особливостей зварних з'єднань. Наведено зміст основних технологічних процесів як на стадії отримання заготовок, так і на етапі складально-зварювальних операцій. Подано основні засоби складально-зварювальної оснастки, організації виробництва та планування робочих місць. Розглянуто приклади технологічних процесів виготовлення типових зварних конструкцій балкового і решітчастого видів, ємностей, труб і трубопроводів.

Для студентів вищих навчальних закладів I–II рівня акредитації, які навчаються за напрямом підготовки «Зварювання».

УДК 621.791(075.8)  
ББК 34.641я73

468053

ISBN 978-966-622-686-

© А. І. Чертов, І. М. Чертов, 2015  
© НТУУ «КПІ» (ЗФ), 2015

**НТБ ВНТУ**  
**М. Вінниця**

Харківський національний університет імені Г. С. Сковороди

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
<b>1. Metали для зварних конструкцій.....</b>	<b>10</b>
1.1. Основні характеристичні показники металів .....	11
1.2. Сталі для зварних конструкцій .....	22
1.2.1 .Класифікаційні ознаки сталей.....	22
1.2.2 .Класифікація сталей.....	23
1.3. Алюмінієві сплави.....	30
1.4. Титанові сплави.....	32
Питання для самоконтролю.....	34
<b>2. Конструктивно - технологічні характеристики зварних з'єднань.....</b>	<b>35</b>
2.1. Зварні з'єднання і шви.....	35
2.2. Температурний стан зварного з'єднання.....	38
2.3. Неоднорідність механічних властивостей зварного з'єднання.....	39
2.4. Конструктивна неоднорідність зварного з'єднання.....	43
2.5. Технологічні заходи зменшення неоднорідностей зварних з'єднань.....	52
2.6. Технологічні дефекти зварних швів з'єднань.....	58
2.7. Опір зварних з'єднань навантаженню.....	64
2.7.1. Види навантаження.....	65
2.7.2. Методика складання умов міцності зварних .....	68
2.7.3.. Опір навантаженню з'єднань зі стиковими швами.....	75
2.7.4. Опір навантаженню зварних з'єднань з кутовими швами.....	79
2.7.5 .Опір навантаженню зварних з'єднань при контактному зварюванні.....	89
2.8. Зображення та позначання зварних з'єднань і швів на кресленнях.....	94
Питання для самоконтролю.....	100

<b>3. Залишкові напруження від зварювання</b> .....	102
3.1 Усадкові процеси під час утворення зварного з'єднання.....	102
3.2. Розподіл залишкових напружень.....	106
3.3.Негативні наслідки наявності залишкових напружень.....	108
Питання для самоконтролю.....	110
<b>4. Деформації зварних конструкцій</b> .....	111
4.1. Усадкові сили від зварювання.....	111
4.2. Переміщення у разі зварювання листів.....	113
4.3. Переміщення одномірних зварних конструкцій.....	116
4.4. Переміщення у разі зварювання оболонкових конструкцій.....	119
4.5. Негативні аспекти наявності залишкових деформацій.....	121
Питання для самоконтролю.....	122
<b>5. Технологічні заходи впливу на залишкові напруження та деформації</b> .....	123
5.1. Фізичні основи технологічних заходів впливу на наслідки усадкових процесів.....	123
5.2. Технологічні методи впливу на залишкові напруження і деформації.....	124
5.2.1. Методи попередження.....	125
5.2.2. Методи усунення.....	131
Питання для самоконтролю.....	138
<b>6. Технологічне супроводження виготовлення зварних конструкцій</b> .....	139
6.1 .Загальні відомості.....	139
6.1.1. Виробнича структура підприємства.....	140
6.1.2. Типи виробництва.....	144
6.1.3. Основні характеристики технологічних процесів.....	148

6.2. Підготовчі процеси зварювального виробництва.....	155
6.2.1.Правка металевих напівфабрикатів.....	156
6.2.2. Очищення металевих напівфабрикатів.....	157
6.3. Процеси отримання заготовок.....	159
6.3.1. Розкрюювання матеріалу.....	159
6.3.2. Розділювальне різання.....	161
6.4. Процеси оброблення заготовок і деталей.....	171
6.4.1. Операції згинання.....	171
6.4.2. Операції штампування.....	179
6.4.3. Процеси кування.....	180
6.4.4. Процеси механічного оброблення.....	184
6.4.5. Електрофізичні и електрохімічні методи обробки.....	190
6.4.6. Променеві методи обробки.....	194
6.4.7. Хімічне фрезерування.....	196
6.5. Складальні процеси.....	198
6.5.1.Технологічні процеси .....	198
6.5.2. Міжопераційне переміщення деталей і зварних вузлів.....	202
6.5.3.Засоби технологічного спорядження процесів складання зварних конструкцій.....	205
6.6. Процеси зварювання.....	210
6.6.1. Класифікація процесів і способів електричного зварювання плавленням.....	210
6.6.2. Основні процеси і зварювальне устаткування для дугового зварювання плавленням.....	212
6.6.3. Механічне устаткування для зварювання.....	220
6.6.4. Рекомендації до призначення способу зварювання.....	232
6.7. Процеси технічного контролю і випробування.....	240
6.7.1. Вхідний контроль.....	242
6.7.2. Операційний контроль технологічного процесу виготовлення зварних конструкцій.....	246

6.7.3. Приймальний контроль зварних конструкцій.....	248
6.7.4. Виправлення дефектів в зварних з'єднаннях.....	259
6.8. Технологічна документація на виготовлення зварних конструкцій.....	261
6.8.1. Класифікація видів нормативно –технологічної документації.....	261
6.8.2 Загальні правила оформлення нормативно –технологічної документації на технологічний процес зварювання.....	262
6.9. Компановка, організація та обслуговування робочих місць виготовлення зварних конструкцій.....	271
6.9.1. Вимоги до робочих місць.....	271
6.9.2. Вибір раціонального планування робочих місць.....	274
6.9.3. Обслуговування робочих місць.....	281
Питання для самоконтролю.....	283
<b>7. Технологічні процеси виготовлення типових зварних конструкцій.....</b>	<b>288</b>
7.1. Виготовлення зварних полотнищ.....	289
7.2. Виготовлення зварних конструкцій балкового типу.....	292
7.2.1. Виготовлення конструкцій двотаврового перерізу.....	294
7.2.2. Особливості складання та зварювання перерізу коробчастого типу.....	300
7.2.3. Розрахунковий контроль опору зварних з'єднань конструкцій балкового типу експлуатаційному навантаженню.....	301
7.3. Виготовлення зварних решітчастих конструкцій.....	305
7.3.1. Виготовлення плоских решітчастих конструкцій.....	308
7.3.2. Виготовлення просторових решітчастих конструкцій.....	313
7.3.3. Розрахунковий контроль опору зварних з'єднань конструкцій решітчастого типу експлуатаційному навантаженню.....	313
7.4. Виготовлення зварних конструкцій оболонкового типу.....	318
7.5. Виготовлення зварних труб.....	322
7.5.1. Виготовлення зварних труб малого діаметру.....	322

7.5.2. Виготовлення зварних труб великого діаметру.....	325
7.5.3. Способи зварювання стиків трубопроводів.....	329
7.5.4. Розрахунковий контроль опору зварних з'єднань конструкцій оболонкового типу експлуатаційному навантаженню.....	335
Питання для самоконтролю.....	337
Література.....	338



## ВСТУП

Згідно освітньо-кваліфікаційної характеристики молодшого спеціаліста з напрямку 050504 „Зварювання” спеціальності „Зварювальне виробництво” фахівець отримує кваліфікацію «технік-технолог» і здатний виконувати таку професійну роботу: технік; технік з підготовки виробництва; технік з підготовки технічної документації; технолог.

Це означає, що однією з основних задач професійної діяльності фахівця є вирішення питань пов'язаних з розробкою та впровадженням технологічного супроводження процесів виготовлення зварних конструкцій.

В цьому сенсі основні **спеціалізовано-професійні компетенції** (виробничі функції, типові задачі діяльності) випускника полягають у здатності застосовувати знання та уміння з :

- оцінки здатності до зварювання матеріалів, що зварюються, для певних умов технологічного процесу;
- аналізу конструктивно-технологічних характеристик зварних з'єднань;
- призначення способу зварювання;
- призначення видів заготівельних операцій, обладнання та засобів для їх виконання;
- призначення технологічних операцій отримання заготовок та засобів для їх виконання;
- призначення технологічного процесу складання та зварювання на базі типових технологічних процесах виготовлення зварних конструкцій
- вибору засобів для складально-зварювальних робіт;
- планування виробничої площі;
  - поопераційного контролю якості виконання операцій технологічного процесу виготовлення зварних конструкцій;
  - контролю якості зварних з'єднань та виробу;
- комплектування технологічної документації на виготовлення зварних конструкцій та внесення зміни до неї при корегуванні технологічних процесів.

Ознакою того, що виріб відноситься до класу зварних конструкцій є наявність зварних з'єднань. Утворенню зварного з'єднання притаманні деякі процеси, пов'язані як з тепловим впливом від зварювання, так і з конструктивними особливостями зварного з'єднання, що призводить до характерних наслідків-утворення різного виду неоднорідностей та зміни геометричних параметрів виробу.

Завдання фахівця з технологічних питань зварювального виробництва полягає в тому, щоб на засадах глибокого і всебічного розуміння сутності складних процесів, що супроводжують отримання зварного з'єднання, розробити технологічні заходи, які б забезпечували виготовлення якісної продукції.

Для реалізації фахової діяльності молодший спеціаліст згідно освітньо-кваліфікаційної характеристики повинен мати певні відповідні компетенції. Для досягнення необхідної компетенції в галузі розробки та впроваджені технологій зварювального виробництва освітньо-професійна програма підготовки молодшого спеціаліста з напрямом 050504 „Зварювання” передбачає вивчення низки дисциплін, в тому числі, і такі професійно-орієнтовані дисципліни як „Зварні конструкції” та „Виготовлення зварних конструкцій”.

Навчальний посібник містить матеріали відповідно до змісту навчальних програм дисциплін, що наведені вище і побудовано на сучасних теоретичних та практичних уявленнях в галузі зварювання, методично структуроване згідно вимог до навчальної літератури.

# 1. Метали для зварних конструкцій

Для виготовлення зварних конструкцій використовуються в основному так звані конструкційні матеріали. Під конструкційними матеріалами розуміються матеріали, що використовуються для виготовлення деталей машин і споруд, в яких в процесі експлуатації мають місце напруження від механічних, термічних та інших навантажень. Такі вироби потребують розрахунків на міцність з використанням характеристик опору цих матеріалів деформуванню і руйнуванню.

За характером руйнування і деформування конструкційні матеріали поділяють на чотири групи: пластичні метали і сплави (сталі та сплави на основі алюмінію, титану та ін.), малопластичні та крихкі матеріали (чавуни), пластмаси (на основі полімерів) і композіційні матеріали (на основі металів і полімерів).

Основними вимогами до конструкційних матеріалів є:

- міцність (визначається складом та станом);
- питома міцність (визначається відношенням значення межі міцності до значення питомої ваги матеріалу);
- низька чутливість до технологічних дефектів (вплив дефектів на міцність);
- міцність в умовах низьких температур (опір крихкому руйнуванню);
- локальна міцність (опір корозії, зносу);
- стабільність властивостей в процесі експлуатації;
- технологічність обробки та збереження властивостей при обробці;
- здатність до зварювання;
- економічність виготовлення виробу.

Для металу зварних конструкцій вимога здатності до зварювання є обов'язковою.

Для зварних конструкцій найширше використовуються сталі та сплави на основі алюмінію і титану, як матеріали, що найбільше відповідають вимогам

щодо конструкційних матеріалів, особливо через їх високу здатність до зварювання.

### 1.1. Основні характеристичні показники металів

*Показники деформівного стану.* Будь-яка конструкція повинна відповідати вимогам по міцності. Міцність металів - це комплексний показник визначуваний тим, як метали сприймають зовнішні навантаження, тобто чинять опір деформації. При деформації металів спостерігається два різні види деформацій – пружні (пружний стан) і пластичні (пластичний стан), які відрізняються і зовнішніми проявами і внутрішніми механізмами. Пружні деформації відбуваються лише за рахунок зміни міжатомних відстаней, тому вони не змінюють структуру металу і є оборотними. Після зняття навантаження пружні деформації зникають, тобто є оборотними. Пластичні деформації змінюють структуру і властивості металу. Після зняття навантаження деформації залишаються, тобто пластичні деформації носять необоротний характер. Зрозуміло, що властивості, які визначають пружний і пластичний стан металів, повинні описуватися різними характеристиками.

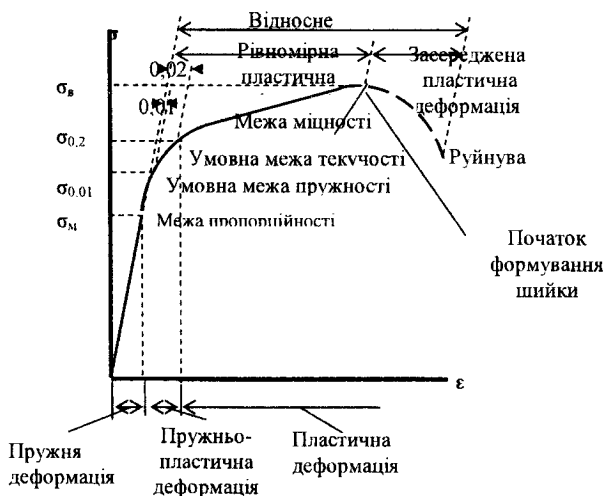


Рис. 1.1 Типова діаграма розтягування для пластичних металів

Деформаційні процеси в металі визначаються експериментальним шляхом під час випробування на статичне розтягування спеціальних зразків. В результаті випробування отримують так звану діаграму розтягування, яка показує залежність від навантаження  $\sigma = P/F$  і деформацією  $\varepsilon = \Delta l/l$  (рис 1.1)

На діаграмі показані характерні показники деформівного (пружного, пластичного) стану металу. Область напруження, при якій відбувається лише пружна деформація, обмежена межею пропорційності  $\sigma_{МП}$ . У цій області в кожному зерні мають місце лише пружні деформації, а для зразка в цілому виконується закон Гуку – деформація пропорційна напруженню (звідси і назва межі). З підвищенням напруження в окремих зернах виникають умови для початку пластичної деформації, але доки доля таких зерен невелика це не виявляється на деформації зразка в цілому (пластичної макродеформації немає). Напруження, при якій з'являються перші ознаки макропластичної деформації, називається умовною межею пружності.

У його позначенні індекс вказує на величину залишкової деформації (у відсотках), для якої зроблено визначення межі пружності, наприклад  $\sigma_{0,01}$ .

Напруження, при яких пластична деформація виявляється вже більшою мірою, називається умовною межею текучості. Найчастіше він визначається при величині залишкової деформації 0,2% і позначається  $\sigma_{0,2}$ . Таким чином, відмінність між межами пружності і текучості пов'язана лише з точністю визначення «кордону» між пружним і пластичним станом, що і відображає слово «умовний». Вочевидь, що  $\sigma_{МП} < \sigma_{0,01} < \sigma_{0,2}$ .

Відсутність різкої «границі» між пружним і пластичним станом означає, що в інтервалі напруження між  $\sigma_{МП}$  і  $\sigma_{0,2}$  відбуваються і пружні і пластичні деформації. Стан з пружно-пластичними деформаціями називається пружно-пластичним.

Пружно-пластичний стан спостерігається в такому інтервалі навантажень, при яких пластична деформація відбувається лише в окремих кристалічних зернах, а в решта продовжує реалізовуватися механізм пружної деформації. Пластичний стан реалізується, коли пластична деформація відбувається у всіх зернах зразка. Після завершення пластичної деформації метал повертається в

пружний стан, але із зміненими пружними властивостями. В переважній більшості випадків як «кордон» між пружним і пластичним станом приблизно приймають величину умовної межі текучості  $\sigma_{0.2}$ . Приведені позначення меж відповідають одноосному розтягуванню, діаграма якого приведена на рисунку 1.1.

Приведені позначення меж відповідають одноосному розтягуванню, діаграма якого приведена на рисунку 1.1. Аналогічні по сенсу межі визначають для стискування, вигину і кручення.

Розглянута діаграма характерна для металів, в яких перехід від пружного стану до пластичного дуже плавний. Існують метали з яскраво вираженим переходом в пластичний стан.(рис 1.2.).

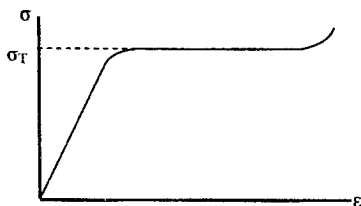


Рис. 1.2. Діаграма розтягування з площадкою текучості

Діаграми розтягування таких металів мають яскраво виражену горизонтальну ділянку(площадку текучості) и межа текучості характеризуються не умовною, а фізичною величиною межі текучості  $\sigma_T$ .

*Показники пружного стану.* Найважливіші параметри пружного стану – межа текучості  $\sigma_T$  (або умовна  $\sigma_{0.2}$ ) і модулі пружності  $E$  і  $G$ . Межа текучості визначає гранично допустимі експлуатаційні навантаження, при яких метал випробовує лише пружні або невеликі допустимі пружно-пластичні деформації. Модулі пружності характеризують опір матеріалу дії навантаження в пружному стані. Модуль Юнга  $E$  визначає опір нормальним напруженням (розтягування, стискування і вигин), а модуль зсуву  $G$  - дотичним напруженням (кручення). Значення модулів пружності визначаються на діаграмі розтягування нахилом прямої пружних деформацій( кутом  $\alpha$  ) Чим більше модулі пружності ( $\alpha_1 > \alpha_2$ ), тим крутіше нахил прямої пружної ділянки на діаграмі розтягування і менше відповідна величина пружних деформацій ( $\epsilon_1$

$< \varepsilon_2$ ) при однаковому напруженні, тобто конструкції з цього металу будуть мати більшою жорсткість. (рис. 1.3.)

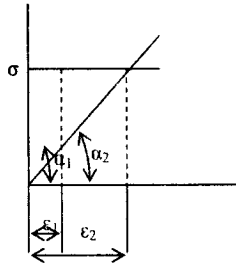


Рис.1.3. Вплив модуля пружності на деформівний стан металу

Таким чином, модулі пружності визначають гранично допустимі експлуатаційні деформації (з врахуванням величини межі текучості) і жорсткість виробів. Модулі пружності вимірюються в тих же одиницях, що і напруження (МПа або кгс/мм<sup>2</sup>) і вони пов'язані між собою через коефіцієнт поперечної деформації Пуассона  $\mu$  залежністю:

$$E = 2(1 + \mu)G$$

Конструкційні матеріали повинні поєднувати високі значення межі текучості (витримують великі навантаження) і модулів пружності (забезпечують велику жорсткість).

При напруженнях, що перевищують межу текучості  $\sigma_T$ , метал переходить в пластичний стан. Зовні це виявляється в зниженні опору навантаженню, що діє і видимою зміною форми і розмірів. Після зняття навантаження метал повертається в пружний стан, але залишається деформованим на величину залишкових деформацій, які можуть набагато перевищувати граничні пружні деформації.

*Показники міцності і пластичності.* При одноосному розтягуванні зразка визначаються також такі характеристики металу:

- тимчасовий опір  $\sigma_B$  (показник міцності)

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}$$

- відносне подовження після розриву  $\delta$  (показник пластичних властивостей).

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0}$$

- відносне звуження після розриву  $\Psi$ . (показник пластичних властивостей).

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0}$$

де  $P_{\max}$  – максимальне навантаження перед початком руйнування;  $l_0$ ,  $l_k$ ,  $F_0$ ,  $F_k$  – відповідно початкова і кінцева довжини та площа поперечного перерізу зразка.

Величину  $\sigma_B$  часто називають умовною межею міцності при розтягуванні. Опис методики випробування металів на розтягування (і визначення всіх термінів) приведені в ГОСТ 1497-73. Випробування на стискування описане в ГОСТ 25.503-97, а на кручення - в ГОСТ 3565-80.

Пластичність – це здатність металу змінювати форму без порушення цілісності (без тріщин, надривів і тим більше руйнування). Можливості пластичної деформації характеризує відношення  $\sigma_{0,2} / \sigma_B$ . При  $\sigma_{0,2} / \sigma_B = 0,5-0,6$  метал допускає великі пластичні деформації ( $\delta$  і  $\Psi$  складають десятки відсотків). Навпаки, при  $\sigma_{0,2} / \sigma_B = 0,95-0,98$  метал поводить як крихкий: область пластичних деформацій практично відсутня ( $\delta$  і  $\Psi$  складають 1-3%).

Найчастіше пластичні властивості оцінюють по величині відносного подовження при розриві  $\delta$ . Але ця величина визначається при статичному одноосному розтягуванні і тому не характеризує пластичність при інших видах деформацій (вигин, стискування, кручення). Іншою характеристикою пластичності є відносне звуження  $\Psi$  при розриві. У багатьох випадках воно точніше відображає здібність металу до плющення, кування, осідання. Точніше про пластичні властивості можна судити, якщо відоме співвідношення між рівномірним і зосередженим подовженням (звуженням).

*Показники твердості.* Однією з найбільш поширених характеристик, що визначають якість металів і сплавів, можливість їх застосування в різних конструкціях і при різних умовах роботи, є твердість. Випробування на твердість проводиться частіше, ніж визначення інших механічних характеристик металів: міцності, відносного подовження та і ін.



Твердістю матеріалу називають здатність чинити опір механічному проникненню в його поверхневий шар іншого твердого тіла. Для визначення твердості в поверхню матеріалу з певною силою вдавлюється тіло (індентор), виконане у вигляді сталеві кульки, алмазного конуса, піраміди або голки. За розмірами одержуваного на поверхні відбитка судять про твердість матеріалу. Таким чином, під твердістю розуміють опір матеріалу місцевої пластичної деформації, що виникає при впровадженні в нього більш твердого тіла - індентора. В залежності від способу виміру твердості матеріалу, кількісно її характеризують числами твердості за Брінеллем (НВ), Роквеллу (HR) або Віккерсу (HV). Широке поширення випробувань на твердість пояснюється рядом їх переваг перед іншими видами випробувань:

- простота вимірів, які не вимагають спеціального зразка і можуть бути виконані безпосередньо на деталях;
- висока продуктивність;
- вимірювання твердості звичайно не тягне за собою руйнування деталі, і після вимірювання її можна використовувати за своїм призначенням;
- можливість орієнтовно оцінити за твердістю інші характеристики металу (наприклад межу міцності).

Найбільше застосування одержало вимір твердості вдавненням в випробовуваний метал індентора у вигляді кульки, конуса і піраміди (відповідно методи Брінелля (рис. 1, а), Роквелла (рис. 1, б) і Віккерса (рис. 1, в)). В результаті втискування індентора достатньо великим навантаженням поверхневі шари металу, що знаходяться під індентором і поблизу нього, пластично деформуються. Після зняття навантаження залишається відбиток. Величина впровадження індентора в поверхню металу буде тим менше, чим твердіше випробовуваний матеріал.

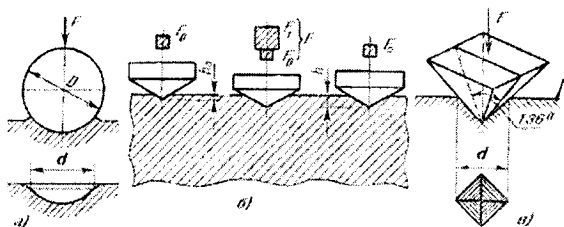


Рис. 1.4. Схеми випробування на твердість

а) - по Брінеллю; б) - по Роквеллу; в) - по Віккерсу.

*Твердість за методом Брінелля.* (ГОСТ 9012-59) вимірюють вдавненням в випробовуваний зразок сталеві кульки певного діаметра під дією заданого навантаження протягом певного часу. В результаті вдавнення кульки на поверхні зразка утворюється відбиток (лунка). Після вимірювання діаметра лунки за допомогою спеціальних таблиць визначають чисельне значення твердості. Число твердості за Брінеллем позначається, наприклад, як 350 НВ (розмірність в одиницях напруження).

*Твердість за Роквеллом* (ГОСТ 9013-59). При цьому методі індентором є алмазний конус або сталеві загартована кулька. На відміну від вимірювань за методом Брінелля твердість визначають за глибиною відбитка, а не по його площі. Глибина відбитка вимірюється в самому процесі вдавнення, що значно спрощує випробування.

Числа твердості за Роквеллом не мають розмірності і того фізичного сенсу, який мають числа твердості за Брінеллем, проте можна знайти співвідношення між ними за допомогою спеціальних таблиць. Твердість за Роквеллом виміряна при впровадженні в поверхню зразка алмазного конуса позначається HRC, а виміряна при впровадженні в поверхню зразка сталевий сферичний індентор HRB.

*Метод Віккерса.* (ГОСТ 2999-75). При випробуванні на твердість за методом Віккерса в поверхню матеріалу вдавлюється алмазна чотиригранна піраміда. Після зняття навантаження вдавнення вимірюється діагональ відбитка. Число твердості по Віккерсу позначається символом HV із зазначенням навантаження  $F$  і часу витримки під навантаженням, причому розмірність числа

твердості (кгс/мм<sup>2</sup>) не ставиться. Наприклад, 450 HV10/15 означає, що число твердості по Віккерсу 450 отримано при  $P = 10$  кгс (98,1 Н) доданої до алмазної піраміди протягом 15с.

Прямого взаємозв'язку між різними шкалами твердості не існує, відсутні і обґрунтовані методи трансформації чисел твердості з однієї шкали в іншу. Наявні таблиці, формально зв'язуючи різні шкали, побудовані за даними порівняльних вимірів і справедливі лише для конкретних категорій металів. У таких таблицях числа твердості зазвичай зіставляються з числами твердості HV. Це пов'язано з тим, що метод Віккерса дозволяє визначити твердість будь-яких матеріалів (у інших методах діапазон вимірюваної твердості обмежений) і забезпечує геометричну подібність відбитків.

Також не існує прямого зв'язку твердості з межами текучості або міцності, хоча на практиці часто використовується залежність  $\sigma_B$  від твердості. Значення коефіцієнта, що визначаються на основі порівняльних випробувань для конкретних класів металів варіюються від 0,15 до 0,5 залежно від типу металу і його стану (після відпалювання, нагартування і так далі). Із сказаного виходить, що твердість не є первинною властивістю матеріалу, швидше це узагальнена характеристика, що відображає його пружно-пластичні властивості. При цьому, вибір методу і умов виміру може переважно характеризувати або його пружні або, навпаки, пластичні властивості.

*Показники в'язкості.* Серед численних методів ударних випробувань найбільш широке практичне застосування знайшов метод випробування на ударний вигин з вимірюванням величини ударної в'язкості. Ця характеристика механічних властивостей відіграє величезну роль при оцінці службових властивостей конструкційних сталей. Чим більше величина ударної в'язкості, тим краще матеріал чинить опір динамічному навантаженні. Величина ударної в'язкості дуже сильно залежить від температури. У міру зниження температури ударна в'язкість зразків з одного і того ж матеріалу зменшується. У деяких матеріалів існує температурний інтервал, в якому ударна в'язкість різко змінює своє значення. Цей інтервал називається температурним інтервалом крихкості. Тобто, в цьому температурному інтервалі матеріал руйнується не по в'язкому

механізму, а по крихкому. Чим більше зміщений температурний інтервал крихкості в бік низьких температур, тим матеріал менш чутливий до впливу температури при ударних навантаженнях і тим більше він надійний в роботі.

Визначення ударної в'язкості при динамічних випробуваннях на ударний вигин є основним практичним методом оцінки схильності сталі до крихкого руйнування, яке, на відміну від в'язкого, відбувається без помітної пластичної деформації і розвивається катастрофічно швидко. Найбільш простим з методів практичного масового контролю є метод ударних випробувань при  $20^{\circ}\text{C}$  на маятникових копрах. Випробування на ударну в'язкість проводять на копрах маятникового типу (рис.1.5).

Стандартний зразок 1 встановлюють на опорах стійок копра так, щоб удар маятника 2 припадав проти надрізу. Маятник масою  $G$  за допомогою спеціальної рукоятки піднімають на висоту  $H$  у верхнє початкове положення I. При падінні маятник вдаряє по зразку, руйнує його і піднімається в положення II на висоту  $h$ . За різницею висот (витрати енергії на руйнування) визначають значення ударної в'язкості в одиницях Дж/см<sup>2</sup>. Крім того широке застосування знайшли випробування при знижених температурах. При проведенні таких випробувань робиться серія випробувань на ударний вигин при поступовому зниженні температури до переходу металу в крихкий стан, причому температура різкого зменшення ударної в'язкості служить мірою якості металу. Чим нижче ця температура - "критична температура крихкості" - тим вище опір металу крихкому руйнуванню.

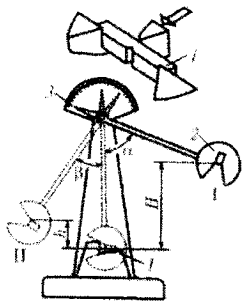


Рис. 1.5. Схема випробування на ударну в'язкість

1- зразок; 2- маятник; 3- шкала.

Випробуванню підлягають спеціальні зразки з надрізами. Форма надрізу стандартних зразків може бути у вигляді U, V, T. Згідно ГОСТ 9454-78 в якості основного використовується зразок з U-подібним надрізом, але в окремих випадках застосовуються також зразки і з іншою формою надрізів. V-подібний виконується з кутом при вершині  $45^\circ$  і радіусом заокруглення 0,25 мм, а роль T-образного надрізу грає створена на спеціальному приладі втомна тріщина. У відповідності з цим при запису ударної в'язкості (КС) в її позначення вводиться третя буква, яка вказує вид надрізу - KCU, KCV, KCT.

Параметром KCV оцінюється придатність матеріалів для посудин тиску, трубопроводів та інших конструкцій підвищеної надійності. Параметр KCT характеризує роботу розвитку тріщини при ударному вигині і оцінює здатність матеріалу гальмувати початок руйнування. Він враховується при виборі металів і сплавів для конструкцій особливо відповідального призначення (літальні апарати, ротори турбін і т. п.) При визначенні динамічної в'язкості при високих або знижених температурах додатково вводиться позначення температури випробування, наприклад KCU -60. На основі таких вимірів і по вигляду зламу зразка визначається ще одна характеристика металу - температура кричко-в'язкого переходу  $T_{\text{кр}}$ . Це температура, при якій характер руйнування змінюється з в'язкого на крихкий.

*Вплив температури на показники механічних властивостей.* Багато деталей сучасних машин (наприклад, парових і газових турбін, реактивних двигунів і ін.) працюють при високих температурах, що досягають  $800\text{—}1000^\circ\text{C}$ .

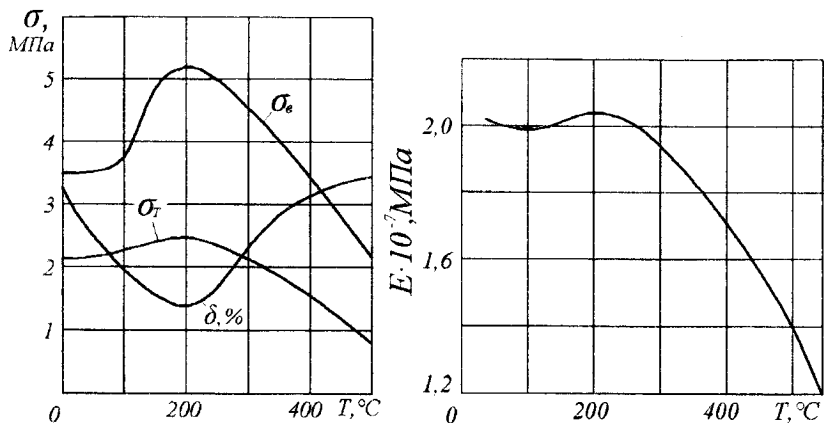


Рис.1.6.. Графіки залежності межі текучості, межі міцності, відносного подовження при розриві і модуля пружності від температури.

На рис. 1.6. наведені графіки залежності межі текучості, тимчасового опору і відносного подовження при розриві від температури для сталі.

Випробування показали, що всі механічні характеристики металів істотно змінюються залежно від температури.

Механічні властивості сталі при нагріванні її до температури  $T = 200...250^\circ\text{C}$  практично не змінюються. При температурі  $250...300^\circ\text{C}$  міцність сталі декілька підвищується, пластичність знижується. Важливо відзначити, що нагрівання вище  $400^\circ\text{C}$  наводить до різкого падіння межі текучості і тимчасового опору, а при  $T = 600...650^\circ\text{C}$  настає температурна пластичність і сталь втрачає свою здатність чинити опір навантаженню.(рис1.7.)

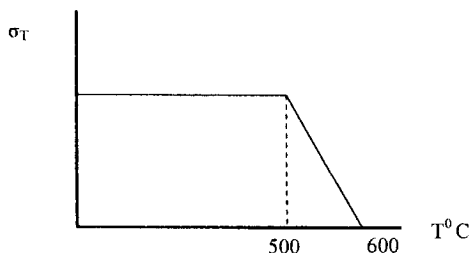


Рис. 1.7. Схематизована залежність  $\sigma_T(T)$ .

При підвищенні температури також істотно зменшується модуль пружності  $E$  (рис.1.6.), коефіцієнт Пуассона ж декілька зростає. Так, при зростанні температури від кімнатної до  $500^{\circ}\text{C}$  коефіцієнт Пуассона збільшується з 0,28 до 0,33. Подібний вплив притаманний також і для інших металів.

## 1.2. Сталі для зварних конструкцій

### 1.2.1 .Класифікаційні ознаки сталей

Сталеві зварні конструкції використовуються в багатьох галузях промисловості: будівництві, машинобудуванні, котлобудуванні, мостобудуванні, суднобудуванні та в інш.

Сталі – це сплав заліза і вуглецю (до 1,7%) з додаванням легуючих елементів .Сталі відносяться до класу пластичних конструкційних матеріалів,

Зміною кількості вуглецю і легуючих елементів можливо отримати різні структури та фазовий склад сталей, що забезпечує різноманітність їх властивостей та галузь використання. Тому основними класифікаційними ознаками прийнято вважати:

- хімічний склад сплаву (C, Mn, Si, та інш.);
- механичні властивості матеріалу ( межа міцності, межа текучості, відносне подовження);
- здатність до зварювання (кількість еквівалентного вуглецю  $C_{\text{екв}}$  ).

Для металу зварних конструкцій вимога здатності до зварювання є обов'язковою.

Як відомо, здатність до зварювання сталей оцінюється за кількістю так званого еквівалентного вуглецю  $C_{\text{екв}}$  , який характеризує вплив легуючих елементів.

Існує багато формул для визначення еквівалентного вуглецю. Найбільш живаною є формула стандарту WES 135 Японського товариства зварювальників

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{M_n}{6} + \frac{S_i}{24} + \frac{N_i}{40} + \frac{C_r}{5} + \frac{M_o}{4} + \frac{V}{14} + \frac{C_u}{13} + \frac{P}{2},$$

де  $C$ ,  $M_n$ ,  $S_i$  і ін. – кількість вуглецю та відповідних легуючих елементів у відсотках по масі.

Приймається, що усі сталі за технологічною здатністю до зварювання можуть бути розподілені на такі групи:

1) сталі, які здатні до зварювання без обмежень ( $C_{\text{екв}} \leq 0,35\%$ );

2) сталі з обмеженою здатністю до зварювання, для яких

призначаються спеціальні технології зварювання ( $0,35\% \leq C_{\text{екв}} \leq 0,60\%$ );

3) сталі умовно не здатні до зварювання ( $C_{\text{екв}} > 0,60\%$ ).

### 1.2.2 .Класифікація сталей

Сталі здатні до зварювання без обмежень. Сталі низьковуглецеві звичайної якості. В залежності від кількості вуглецю сталі вуглецеві звичайної якості поділяють на низьковуглецеві ( $C \leq 0,25\%$ ), середньовуглецеві ( $0,25\% \leq C \leq 0,35\%$ ) та високовуглецеві ( $C > 0,35\%$ ). Основним матеріалом для зварних конструкцій є низьковуглецева сталь. Середньовуглецева сталь використовується в обмежених випадках, а високовуглецева сталь для зварних конструкцій не використовується зовсім.

Згідно стандарту вуглецеві сталі звичайної якості поділяються на три групи: група А – сталь, що поставляється за механічними властивостями;

група Б – сталь, що поставляється за хімічним складом;

група В—сталь, що поставляється за механічними властивостям і хімічним складом.

Якість сталі залежить від технології виготовлення і пов'язана з розкисненням. Залежно від ступеня розкиснення розрізняють сталі киплячі (“кп”), напівспокійні (“пс”) і спокійні (“сп”). Сталі груп “А” і “Б” можуть бути “кп”, “пс” і “сп”, але сталі групи “В”- тільки “пс” або “сп”. Ступінь розкиснення головним чином впливає на кількість кремнію ( $S_i$ ). Спокійна сталь



має 0,1...0,3% S<sub>i</sub>, кипляча – до 0,07% S<sub>i</sub>, напівспокійна – між ними. Сталь з низькою кількістю кремнію дуже чутлива до температурного стану, тобто до умов формування тріщин. Отже, якість сталей тим вище, чим більша ступінь розкислення ( від “кп” до “сп” ).

Як вже зазначалось, сталі поставляються за певною кількістю показників механічних властивостей та хімічного складу. Щоб позначати цю кількість використовують поняття “ розряду” сталі. Група “А” має три розряди, група “Б”- два, група “В” – шість. Розряд позначається відповідною цифрою. За випадком першого розряду, коли цифра “1” не ставиться.

Низьковуглецева сталь звичайної якості має такі марки: група “А” – Ст0, Ст1, Ст2, , Ст3, ; група “Б” – БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, ; група “В” – ВСт1, ВСт2, ВСт3. . Цифра в марці сталі означає тільки номер марки, а не кількість вуглецю. Збільшення номера марки означає збільшення кількості вуглецю, внаслідок чого відповідно змінюються механічні властивості сталі: межа текучості і міцності зростає, а відносно подовження падає.

Приклади маркірування: Ст3кп – сталь групи “А”, “3” –порядковий номер марки сталі, “кп” –сталь кипляча, відсутність цифри розряду – сталь першого розряду; ВСт3сп5 –сталь групи “В”, “3” –порядковий номер марки сталі, “сп” –сталь спокійна, “5” – п’ятого розряду. В таблиці 1.1. наведені хімічний склад і механічні властивості низьковуглецевої сталі широкого використання Ст3. Сталі марок Ст0—Ст2 призначаються для малонавантажених, невідповідальних зварних конструкцій, що працюють при статичному навантаженні і позитивних температурах. Сталі марки Ст3кп використовуються для другорядних і малонавантажених елементів зварних конструкцій, які працюють в інтервалі температур від –10 до +400°С. Сталі марок Ст3пс і Ст3сп в основному призначаються для несучих зварних конструкцій, що експлуатуються в умовах змінного навантаження в інтервалі температур від –40 до +400°С.

Таблиця 1.1. Хімічний склад і механічні властивості низьковуглецевої сталі ВСт3.

Марка сталі	Хімічний склад, % по масі.								Мех. властивості.		
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %
ВСт3кп	0,14-0,22	0,30-0,60	<0,07	<0,04	<0,05	<0,30	<0,30	<0,30	360-460	215-235	27-24
ВСт3пс	0,14-0,22	0,40-0,65	0,08-0,17	<0,04	<0,05	<0,30	<0,30	<0,30	370-480	225-245	26-23
ВСт3сп	0,14-0,22	0,80-0,1,1	0,12-0,30	<0,04	<0,05	<0,30	<0,30	<0,30	380-490	230-250	25-22

*Сталі вуглецеві якісні конструкційні.* На відміну від сталей звичайної якості ці сталі підлягають термічній обробці. Вони поділяються на дві групи. До першої групи відносяться сталі зі звичайною кількістю марганцю, а до другої – з підвищеною. Для зварних конструкцій використовуються відповідні марки : сталь 10, 15, 20, 12К, 15К, 20К та сталь 10Г, 15Г, 20Г. В цьому випадку цифри вказують кількість вуглецю у сотих долях відсотка. В таблиці 2.2. наведені хімічний склад і механічні властивості цих сталей. Сталі 10, 15, 20 призначаються для деталей і елементів конструкцій, які потребують високу пластичність при температурі від  $-40$  до  $+450^\circ\text{C}$ , а сталі з індексом “Г” після термічної обробки для відповідальних деталей; без термообробки – для зварних конструкцій. Види поставки: сортовий та фасонний прокат, листовий прокат ( товстий і тонкий ), пруток, полоса, труби. Сталі з індексом “К” використовуються у котлобудуванні для елементів котлів, посудин, що працюють під тиском і температурі до  $450^\circ\text{C}$ . Хімічний склад і механічні властивості якісної сталі приведені у таблиці 1.2.

*Сталі низьколегованні.* Сталі низьколегованні характеризуються підвищеною міцністю. Підвищення міцності досягається введенням до складу сталі легуючих елементів ( до 5% ). Основні легуючі елементи мають такі умовні позначання: марганець – Г, кремній – С, нікель – Н, хром – Х, молібден – М, ванадій – Ф, алюміній – Ю, мідь – Д, титан – Т, азот – А і ін.

Таблиця 1.2.Хімічний склад і механічні властивості якісної сталі.

Марка сталі	Хімічний склад, % по масі.				Мех. властивості.		
	C	Si	Mn	Cr, Ni, Cu кожного	$\sigma_n$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %
Сталь10	0,07-0,13	0,17-0,37	0,35-0,65	< 0,25	340	220	31
Сталь15	0,12-0,18	0,17-0,37	0,35-0,65	< 0,25	380	240	27
Сталь20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	< 0,25	420	260	25
Сталь10Г	0,07-0,13	0,17-0,37	0,70-1,0	< 0,25	440	230	28
Сталь15Г	0,12-0,18	0,17-0,37	0,70-1,0	< 0,25	480	250	26
Сталь20Г	0,17-0,24	0,17-0,37	0,70-1,0	< 0,25	520	280	24
Сталь12К	0,08-0,16	0,17-0,37	0,40-0,70	< 0,30	395	215	24
Сталь15К	0,12-0,20	0,15-0,30	0,35-0,65	< 0,30	425	215	26
Сталь20К	0,16-0,24	0,15-0,30	0,35-0,65	< 0,30	455	235	24

Таблиця 1.3.Хімічний склад і механічні властивості низьколегованої сталі.

Марка сталі	Хімічний склад, % по масі.							Механічні властивості.			
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	$\sigma_n$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$a_{nT}$ , МДж/м <sup>2</sup> T=-40°C
09Г2	0,12	0,26	1,6	<0,3	<0,3	<0,3	--	450	305	21	0,35
14Г2	0,15	0,26	1,4	<0,3	<0,3	<0,3	--	465	335	21	0,33
16ГС	0,15	0,55	1,1	<0,3	<0,3	<0,3	--	480	310	21	0,35
09Г2С	0,12	0,65	1,5	<0,3	<0,3	<0,3	--	480	320	21	0,38
10Г2С1	0,12	1,10	1,5	<0,3	<0,3	<0,3	--	500	360	21	0,35
15ГФ	0,15	0,26	1,1	<0,3	<0,3	<0,3	0,6	500	360	21	0,35
15ХСНД	0,12	0,55	0,6	0,7	0,5	0,3	--	500	350	21	0,30
10ХСНД	0,12	1,0	0,6	0,7	0,6	0,5	--	530	400	19	0,50

Сталь позначається таким чином: перші дві цифри вказують на кількість вуглецю у сотих долях відсотка, а цифри праворуч від умовного позначення елемента – вміст легуючого елемента у відсотках. У таблиці 1.3. наведені характеристики найбільш поширених низьколегованих сталей.

Низьколеговані конструкційні сталі широко використовуються в різних галузях промисловості для зварних конструкцій, які працюють в умовах статичного та змінного навантаження в температурному інтервалі від -70 до +450°C.

Сталі з обмеженою здатністю до зварювання. Сталі середньовуглецеві звичайної якості. Це сталі марок Ст4, Ст5, Ст6 (таблиця 1.4.) .

Таблиця 1.4. Хімічний склад і механічні властивості сталі середньовуглецеві звичайної якості.

Марка сталі	Хімічний склад, % по масі.								Мех. властивості.		
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	$\sigma_{\text{н}}$ МПа	$\sigma_{\text{т}}$ МПа	$\delta\%$
BC <sub>7</sub> 4кп	0,18-0,27	0,40-0,70	<0,07	<0,04	<0,05	<0,30	<0,30	<0,30	400-510	225-255	25-22
BC <sub>7</sub> 4пс	0,18-0,27	0,40-0,70	0,05-0,17	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	410-530	235-265	24-21
BC <sub>7</sub> 4с	0,18-0,27	0,40-0,70	0,12-0,30	<0,04	<0,05	<0,30	<0,30	<0,30	420-540	240-270	23-20
BC <sub>7</sub> 5пс	0,28-0,37	0,50-0,80	0,05-0,17	<0,04	<0,05	<0,30	<0,30	<0,30	490-630	255-285	20-17
BC <sub>7</sub> 5сп	0,28-0,37	0,50-0,80	0,15-0,35	<0,04	<0,05	<0,30	<0,30	<0,30	490-630	255-285	20-17
BC <sub>7</sub> 6пс	0,38-0,49	0,50-0,80	0,05-0,17	<0,04	<0,05	<0,30	<0,30	<0,30	590	295-315	15-12
BC <sub>7</sub> 6сп	0,38-0,49	0,50-0,80	0,15-0,35	<0,04	<0,05	<0,30	<0,30	<0,30	590	295-315	15-12

Сталі марок Ст4,Ст5 постачаються у вигляді сортового та фасонного прокату, листа (товстого і тонкого),труби і використовуються для конструкцій підвищеної міцності, а також для малонавантажених деталей типу валів, штирів, стержнів.

Сталь марки Ст6 в основному призначається для деталей підвищеної міцності ( після термообробки) з сортового, фасонного і листового прокату, а також для стержневої арматури періодичного профілю.

*Сталі загартовано-відпалені, економно-легованні високої міцності.* Тільки загартування звичайної низьколегованої сталі типу 14Г2, 16ГС, 14ХГС можна одержати досить високі механічні властивості ( $\sigma_{\text{т}} \geq 750$  МПа,  $\sigma_{\text{н}} \geq 850$  МПа,  $\delta \geq 12\%$ ). Однак, така сталь під дією тепла зварювальної дуги на деякій ширині в зоні зварного шва розміцнюється на 15-30%. Легування цих сталей молібденом (від 0,15 до 0,40% ), ванадієм (від 0,07 до 0,15% ), а також деякими іншими

елементами у незначній кількості (Cr, Ni, Al, N ) забезпечує збереження високої міцності в стані після загартування і відпалу, дозволяє суттєво зменшити ступінь розміцнювання та ширину зони розміцнювання. Для зварних конструкцій рекомендоване використання наступних марок сталей: 12Г2СМФ, 14ГН2МФАЮ, 14Х2ГМР, 12ХГН2МФБАЮ.

*Сталі високолегованні, конструкційні.* Сталі високолегованні (легуючих елементів більше 5% ) класифікуються в залежності від основних легуючих елементів та призначення:

1) корозійностійкі – стійкі проти електрохімічної корозії; міжкристалевої корозії, корозії під дією напружень. Це сталі в основному хромисті (наприклад 1Х13, 4Х13, Х18 ) або хромонікелеві ( наприклад Х17Н2, 1Х18Н9 ).

2) жаростійкі ( окалиностійкі )- стійкі проти хімічного руйнування в газовому середовищі при температурі вище 50°С, що працюють в режимі слабого навантаження. До них відносяться сталі хромистокремнієві (наприклад Х9С2 ), хромистонікелеві ( наприклад Х23Н18 ).

3) жароміцні – здатні працювати при високих температурах на протязі визначеного часу і одночасно відповідають умові жаростійкості. Це в основному сталі хромонікелевомолібденові (наприклад 20ХН2М), хромонікелевомолібденованадієві ( наприклад 30ХН2МФА ).

Сортамент сталевих напівфабрикатів. З точки зору зварювального виробництва напівфабрикатами називаються металеві вироби у вигляді сортових і фасоних профілів загального, галузевого та спеціального призначення, труб, гнутих і періодичних профілів. Різноманітність розмірів і форм напівфабрикатів називається сортаментом.

Основним сортаментом для сталевих виробів є:

- *сортний горячекатаний прокат:* круглий (ГОСТ 2590, ДСТУ 4738, ГОСТ 7417) діаметром 5...250мм і довжиною 3...10м; квадратний ( ГОСТ 25491, ГОСТ 8559 ) зі стороною 5...250мм і довжиною 3...10м, шестигранний ( ГОСТ2879, ГОСТ 8560) з розміром 8...100мм довжиною 2...6м; прямокутний (

ГОСТ 103) перерізом ( 11...850 ) ×(4...60)мм. . Приклади простих сталевих профілів (рис 1.8.)



Рис.1.8. Перерізи простих сортових сталевих профілів

1- круглий; 2 — прямокутний; 3 – квадратний; 4 –шестигранний.

- *фасонні профілі прокату загального призначення* (рис 1.9.): кутикова рівнополічна сталь ( ГОСТ 8509) із стороною 20...200мм, товщиною стінки 3...30мм, довжиною 4...12м; кутикова нерівнополічна сталь ( ГОСТ 8510) з розмірами від 25×16×3 до 180×110×12мм, товщиною стінки 3...30мм, довжиною 4...12м; швелери гарячекатані ( ГОСТ 8240) висотою від 50 до 400мм і шириною полиць 32..115мм дожиною 2...12м, двотаври гарячекатані ( ГОСТ 26020);

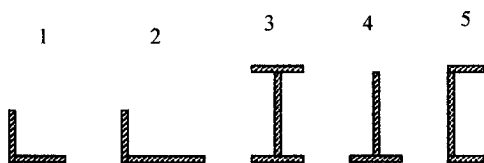


Рис. 1.9.Приклади перерізів фасонних сталевих профілів.

1 – кутовий рівнополічний; 2 – кутовий нерівнополічний; 3 – двотавр; 4 – тавр; 5– швелер.

- *прокатні гнуті профілі* (рис 1.10.): кутики ( ГОСТ 19771 і ГОСТ 19772); швелери ( ГОСТ 8278 і ГОСТ 8281);

- *листовий прокат*: гарячекатаний листовий прокат ( ГОСТ 19903) товщиною 0,5...160мм, шириною 600...3800мм і довжиною 1200...12000мм; холоднокатаний листовий прокат ( ГОСТ 19904) товщиною 0,5...5,0мм, шириною 500...2300мм і довжиною 1000...6000мм;

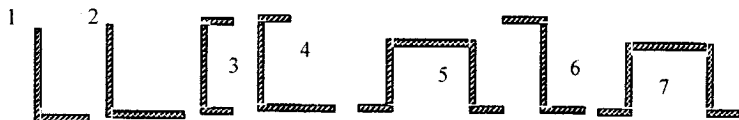


Рис.1.10. Приклади гнутих сталевих профілів.

1 – сталь кутова нерівнобічна; 2 - сталь кутова рівнобічна; 3 – швелер; 4 – швелер нерівнополочний; 5 – коритний; 6 – зетовий; 7 – гофрований.

- *трубний прокат* (рис 1.11): труби круглі безшовні (ГОСТ 8732); труби круглі зварні (ГОСТ 10704...10706); профільні сталеві труби (ГОСТ 13663).

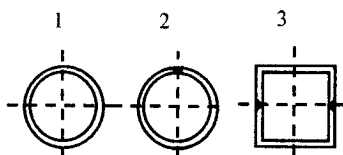


Рис.1.11. Приклади трубного прокату.

1 – кругла безшовна труба; 2 – кругла зварна труба; 3 – профільна зварна труба.

### 1.3. Алюмінієві сплави

Чистий алюміній не може використовуватись як конструкційний матеріал через низькі механічні властивості. Тому в промисловості використовуються його сплави двох видів: деформівні та ливарні. Для зварних конструкцій, як правило, використовують сплави деформівні, які в свою чергу поділяються на сплави здатні до термообробки (термічно зміцнюванні) і не здатні до неї (термічно не зміцнюванні).

Існує дві системи термічно не зміцнювальних сплавів:

1. Система Al + Mn. Це так звані сплави АМц. Вони характеризуються високою здатністю до зварювання, але мають низькі показники механічних властивостей.

2. Система Al + Mg. Залежно від кількості основного легуючого елемента (магнію) розрізняють сплави марок від АМг1 до АМг6. Цифра вказує на кількість Mg в сплаві у відсотках.

Оскільки сплави цих систем не здатні до термічного зміцнення, для підвищення міцності використовують операцію нагартування – деформування у холодному стані. Після цієї операції можливе підвищення межі міцності на 40-60%, але одночасно знижується відносне подовження на 30-50%. Щоб поліпшити пластичні властивості сплавів після нагартування, застосовують відпалювання.

Серед сплавів термічно зміцнюваних основними системами складу є:

- 1) Система Al + Mg + Si—сплави АВ ( сплав авіаль );
- 2) Система Al + Mg + Cu—сплави Д ( дюралюмініи );
- 3) Система Al + Mg + Cu + Fe + Ni—сплави АК (сплав ковкий );
- 4) Система Al + Mg + Cu + Zn + інші –сплави В (високоміцні ).

Термічна обробка алюмінієвих сплавів полягає в загартуванні і старінні.

Загартування проводиться шляхом нагріву сплаву до певної ( в залежності від складу сплаву) температури , витримки та швидкого охолодження. Старіння проводять таким чином: природнече старіння -- витримка при кімнатній температурі декілька діб (чотири ), або штучне старіння –витримка 10 – 24 години при підвищеній температурі.

Позначення термічно зміцнюваних сплавів складається з літер (система складу ) і цифр ( номер сплаву ).

Для позначення стану алюмінієвих сплавів використовують літери, які означають: М- м'який (відпалений ); Т- термічнооброблений; Н- нагартований; П- напівнагартований. Наприклад, Д16Т- дюралюміній загартований, АМг6Н- сплав нагартований.

Для усіх сплавів модуль пружності  $E = 6,8 \times 10^4 \dots 7 \times 10^4$  МПа, модуль зсуву  $G = 2,6 \times 10^4 \dots 2,7 \times 10^4$  МПа, питома вага  $\gamma = 2,65 \dots 2,8$  т/м<sup>3</sup>. Алюмінієві сплави не мають площадки текучості, тому межа текучості визначається як умовна величина напружень ( $\sigma_{0,2}$ ) відповідно до залишкової деформації 0,2%. З



пониженням температури значення  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_b$  і  $\delta$  дещо збільшуються, тому алюмінієві сплави широко використовуються для конструкцій, що працюють в умовах негативних температур. З підвищенням температури значення  $\delta$  і  $\sigma_{0,2}$  різко падає. Крім того, алюмінієві сплави характеризуються досить високою корозійною стійкістю. Властивості деяких алюмінієвих сплавів наведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5. Властивості алюмінієвих сплавів .

Марка сплаву	Механічні властивості			Здатність до зварювання	Корозійна стійкість
	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ %		
АМц	130	50	23	Висока	Висока
АМг6	300	150	20	Висока	Середня
АМг6Н	470	370	6	Висока	Середня
АМг6М	400	280	16	Висока	Середня
АВ	220	120	22	Задовільна	Середня
Д16	450	400	7	Задовільна	Низька
АК8	470	370	10	Задовільна	Середня
В95	520	440	14	Низька	Низька

Сортамент сплавів.

Листи алюмінієві. Плити алюмінієві. Фасонні пресовані алюмінієві профілі: труба пресована, труба катана (тягнута), труба фасонна. Вироби з алюмінієвих сплавів.

#### 1.4. Титанові сплави

Титан – поліморфний метал. Він може бути у вигляді двох алотропних модифікацій: низькотемпературної  $\alpha$ , що існує ї до температури 882,5°C, та високотемпературної  $\beta$ .

Титан у чистому вигляді не використовується в конструкціях через невелику міцність ( $\sigma_b \approx 250$  МПа). Як конструкційний матеріал поширені титанові сплави, легованні різноманітними елементами. Залежно від легуючих елементів і технології виготовлення кінцева мікроструктура титанового сплаву може бути  $\alpha$ ,  $(\alpha+\beta)$  та  $\beta$ .

Структура  $\alpha$ -титану є пластичною, але характеризується низькою міцністю, навпаки, структура  $\beta$ -титану є мартенситноподібною, здатною до

термічного зміцнення. Сплави поділені на групи за рівнями міцності, а також за типами структур. (таблиця 1.6.)

До групи маломіцних відносяться сплави з межею міцності до 800 МПа; сплави середньої міцності не підлягають термічній обробці і мають межу міцності до 1100-1200 МПа; високоміцні титанові сплави після зміцнювальної термічної обробки (загартування + старіння) можуть мати  $\sigma_B > 1400$  МПа.

Таблиця 1.6. Хімічний склад і механічні властивості деяких титанових сплавів.

Класифікація сплавів		Марка сплавів	Середній хімічний склад по масі у %.	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
По рівню міцності	По типу структур				
Маломіцні вископластичні.	$\alpha$ -сплави	BT1-00	Нелегований титан	300-450	30
		BT1-0	Нелегований титан	400-550	30
	Псевдо $\alpha$ -сплави	OT4-0	0,8Al; 0,8Mn.	500-650	30
		OT4-1	1,5Al; 1,0Mn.	600-750	20
		AT2	2,0Zr; 1,0Mo.	600-750	20
Середньої міцності.	$\alpha$ -сплави	BT5	5,0Al.	750-900	10
		BT5-1	5,0Al; 2,5Sn.	750-900	12
	Псевдо $\alpha$ -сплави	OT4	3,5Al; 1,5Mn.	700-900	15
		BT4	5,0Al; 1,5Mn.	850-1000	12
		AT4	4,0Al; 1,5(Fe, Cr, Si, V)	850-1050	10
		TC5	5,0Al; 2,0Zr, 3,0Sn, 2,0V	950-1100	8
		BT20	6,0Al; 2,0Zr; 1,0V	950-1150	8
		( $\alpha$ + $\beta$ )сплав	BT6C	5,0Al; 4,0V	850-1000
Високої міцності	$(\alpha+\beta)$ сплави	BT6	6,0Al; 4,5V.	$\geq 1100^*$	7
		BT14	4,5Al; 3,0Mo; 1,0V.	$\geq 1200^*$	6
		BT16	2,5Al; 5,0Mo; 5,0V.	1100-1250*	12
		BT22	5,0Al; 5,0Mo; 5,0V; 1,0(Fe, Cr).	1400-1550*	5
		BT23	4,5Al; 2,0Mo; 4,5V; 6,0Fe; 1,0Cr.	$\geq 1400^*$	
	Псевдо $\beta$ -сплави	BT15	3,0Al; 7,0Mo; 11,0Cr.	1350-1500*	
		TC6	3,0Al; 5,0Mo; 6,0V; 11,0Cr.	1400-1500*	

\*Після термічної обробки -- загартування + старіння.

Альфа сплави титану найбільш поширені через свою технологічність, високу пластичність, хорошу здатність до зварювання та корозійну стійкість в різних агресивних середовищах. Їх використовують для конструкцій, що працюють при температурі до  $500^{\circ}\text{C}$ . Псевдо  $\alpha$ -сплави мають структуру  $\alpha+\beta$  з невеликою кількістю  $\beta$ -стабілізаторів (до 7%). Вони термічно не зміцнювані і мало чим відрізняються від  $\alpha$ -сплавів. Змінюючи кількість легуючих елементів та їх склад отримують сплави з різним рівнем міцності та жароміцності.

Двофазні ( $\alpha+\beta$ )-сплави підлягають термічній обробці, але у загартованому стані вони мають незадовільні технологічні властивості. Тому вони використовуються у відпаленому стані для конструкцій, які після виготовлення можуть пройти термічнозміцнювальну обробку (загартування+ старіння). Ці сплави призначаються для конструкцій, що працюють при температурах до  $400^{\circ}\text{C}$ .

Псевдо $\beta$ -сплави також мають структуру  $\alpha+\beta$ , але на відміну від псевдо  $\alpha$ -сплавів кількість  $\beta$ -фази домінуюча. Термічна обробка дуже ефективна, але їх технологічна обробка (в тому числі і здатність до зварювання) дуже ускладнена. Тому ці сплави для конструкцій широкого використання в промисловості не знайшли.

Для усіх титанових сплавів модуль пружності  $E=1,1 \times 10^5$  МПа, модуль зсуву  $G=0,42 \cdot 10^5$  МПа, питома вага  $\gamma = 4.5$  т/м<sup>3</sup>.

Основні галузі використання – хімічне машинобудування, суднобудування, авіа та ракетобудування.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Як класифікуються конструкційні матеріали?
2. Які показники деформівного і пружного стану металу?
3. Які показники міцності і пластичності металу?
4. Які показники в'язкості і твердості металу?
5. Як впливає температура на механічні властивості металу?
6. Як класифікуються сталі, алюмінієві і титанові сплави?
7. Який сортамент конструкційних матеріалів?

## 2. Конструктивно – технологічні характеристики зварних з'єднань

### 2.1. Зварні з'єднання і шви

Зварні з'єднання. Типи зварних з'єднань визначаються взаємним розташуванням елементів які підлягають зварюванню. Згідно стандарту розрізняють наступні типи зварних з'єднань (рис.2.1.):

- *стикові з'єднання* – це з'єднання елементів, що примикають один до одного торцевими поверхнями;
- *з'єднання внакладку* – це з'єднання, в якому елементи, що підлягають зварюванню, розташовані паралельно і частково перекривають один одного;
- *таврове з'єднання* – це з'єднання, в якому торець одного елемента прилягає під кутом і приварюється до бокової поверхні другого елемента;
- *кутове з'єднання* – це з'єднання двох елементів, розташованих під кутом і зварених у місці прилягання їхніх країв.

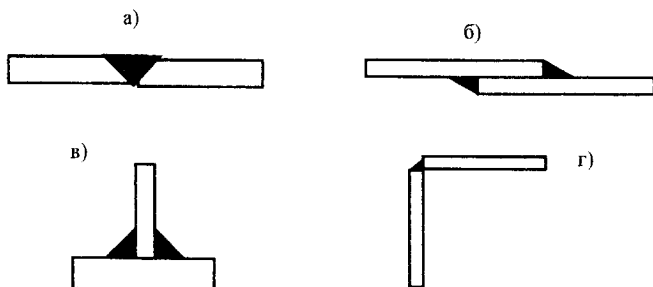


Рис. 2.1. Типи зварних з'єднань: стикове (а), внакладку (б), таврове (в), кутове (г) ( на прикладі зварювання плавленням )

При зварюванні плавленням, щоб забезпечити потрібну глибину проплавлення, вдаються до спеціальної обробки кромки – розкриття (рис.2.2.). Для кожного способу зварювання, в залежності від товщини металу, стандарти на спосіб зварювання рекомендують вид і конструктивні розміри елементів розкриття кромки.

Зварні шви. *Стикові шви.* При зварюванні плавленням стикові шви – це шви, які з'єднують елементи стикового з'єднання. Вони можуть бути одно – і двосторонніми, причому шов може бути виконаним за один або декілька проходів (шарів), тобто шов одно- або багат шаровий. Якщо переріз шва з обох сторін при двосторонньому зварюванні майже однаковий, то такий шов зветься симетричним; якщо переріз з однієї сторони більший ніж з другої – несиметричним. Шов меншого перерізу зветься підварочним. Основні параметри одношарового стикового шва показані на рис.2.3.

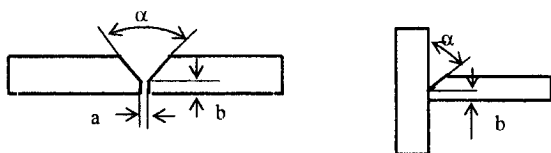


Рис.2.2. Приклади розкриття крайок( a- зазор, b – притуплення,  $\alpha$  - кут розкриття крайок).

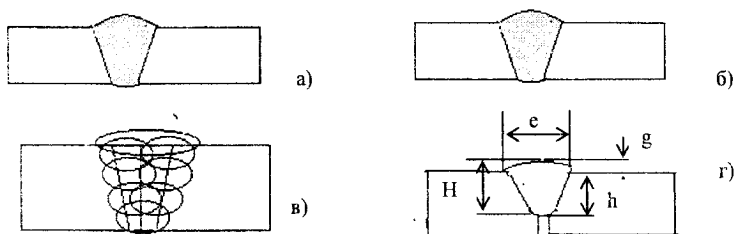


Рис.2.3. Типи стикових швів: а – односторонній; б – двосторонній несиметричний; в – односторонній багат шаровий; г – конструктивні елементи стикового шва ( Н – товщина шва, h – глибина проплавлення, g – випуклість, e – ширина шва).

Для оцінки шва використовують і інші характеристики: коефіцієнт форми ( співвідношення ширини шва до глибини проплавлення ), кут переходу від металу шва до основного металу, загальну площу шва.

При зварюванні тиском за допомогою стикових швів отримують стикові та таврові з'єднання. Параметри шва в цьому випадку визначаються шириною та площею шва.

*Кутові шви.* Кутові шви характерні тільки для зварювання плавленням. За допомогою кутових швів з'єднуються елементи з'єднань внакладку, таврові та кутові з'єднання. Кутові шви можуть бути випуклими, нормальними і увігнутими. кутові з'єднання. Основні параметри нормального кутового шва представлені на рис.2.4.

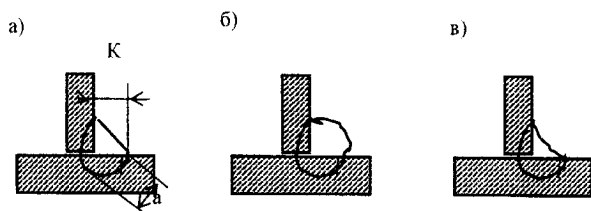


Рис.2.4. Кутові шви: а- нормальний ( К-катет шва, а – товщина шва); б– випуклий; в –увігнутий.

В залежності від катету кутового шва вони виконуються за один або декілька проходів.

*Інші види швів.* (рис.2.5.). З'єднання внакладку можуть бути зварені прорізними швами (характеризується шириною шва), електроклепками (характеризується діаметром) і також шляхом зварювання тиском точковим (основний параметр – діаметр ядра точки) або шовним швом (характеризується шириною шва).

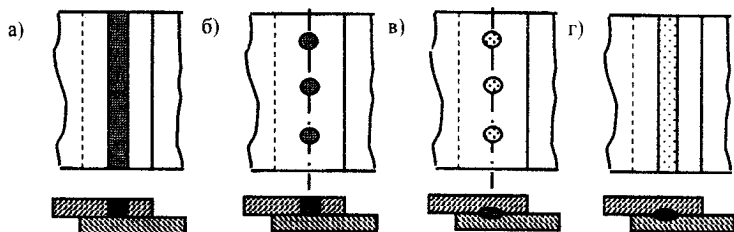


Рис.2.5. Шов прорізний (а), шов електроклепаний (б), шов точковий (в), шов шовний (г).

Існують також шви переривисті з ланцюговим та шаховим розташуванням ділянок (рис.2.6.); шви прямолінійні, кругові, кільцеві та шви більш складної конфігурації.

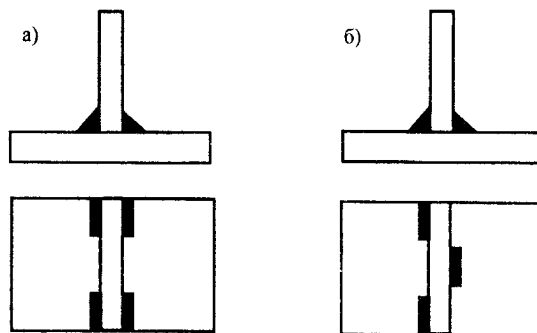


Рис.2.6. Шви переривисті ланцюгові (а) і шахові (б)

## 2.2. Температурний стан зварного з'єднання

У більшості випадків процес отримання зварного з'єднання пов'язаний з введенням в матеріал, що підлягає зварюванню, теплоти і її розповсюдженням внаслідок теплопровідності.

Особливістю нагріву металу від зварювання є його нерівномірність по ширині зварювальних деталей від температури плавлення металу до температури навколишнього середовища. На рис.2.7,а показані характерні ізотерми температурно поля у разі стикового зварювання двох пластин, а на

рис. 2.7,б розподіл максимальних температур у поперечному перерізу зварного з'єднання.

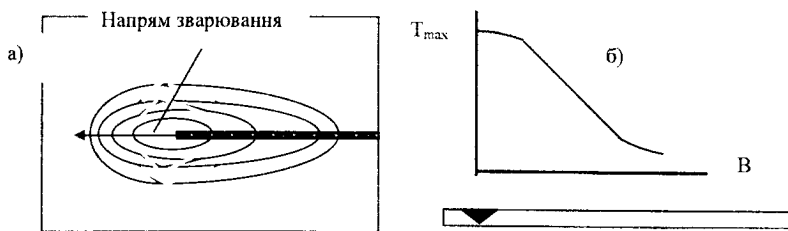


Рис.2.7. Температурний стан металу зварного з'єднання

Тобто, для процесу зварювання завжди має місце факт нерівномірного нагріву металу, що призводить до різного ступені температурного впливу на стан металу і його властивості в наслідок чого зварне з'єднання характеризується різного виду неоднорідностей.

### 2.3. Неоднорідність механічних властивостей зварного з'єднання

Утворення механічної неоднорідності. Беручи до уваги відомий факт впливу температури на стан металу, констатуємо те, що в процесі утворення зварного з'єднання має місце як зміна механічних властивостей, так і деформованого стану металу відповідно нерівномірному розподілу температур, а саме до утворення так званої механічної неоднорідності.

З точки зору впливу на механічні властивості зварне з'єднання можна поділити на три зони ( рис 2.8. ) : зона 1 металу у стані рідини (  $T \geq T_{пл}$  ); зона 2 нагріву вище температури фазових перетворень  $T_{Ac3}$  (  $T \geq T_{Ac3}$  ) так звана зона термічного впливу; зона 3 основного металу де температура не перебільшувала  $T_{Ac3}$  (  $T \leq T_{Ac3}$  ).



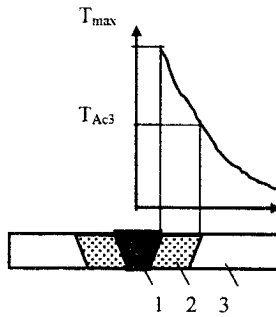


Рис.2.8. Механічна неоднорідність зварного з'єднання

Зона металу шва - це зона, де метал, що зварюється, та присадковий метал нагріваються до розплавлення з наступним охолодженням та кристалізацією. При цьому мають місце металургійні процеси взаємодії різних фаз - рідкого і твердого металів, газу і рідкого шлаку. Взаємодія фаз спочатку має місце в умовах підвищення, а потім в умовах зниження температури. В залежності від умов ( температури, часу взаємодії, початкових та рівноважних концентрацій, тощо) повнота реакцій і їх напрямки можуть бути різними. Це може привести до зміни складу і властивостей металу цієї зони.

Крім того, при переході металу від рідкого стану до твердого (процес кристалізації) формується так звана первинна структура, яка суттєво впливає на властивості зварного з'єднання. Тип первинної структури залежить від теплових і кінетичних умов кристалізації, хімічного складу розплаву та швидкості його охолодження.

Під час нагрівання і охолодження металу другої зони (зона термічного впливу) в ній мають місце фазові і структурні перетворення в твердому стані. Умови, при яких мають місце ці перетворення, повністю визначаються термічним циклом зварювання. Основними параметрами термічного циклу є максимальна температура нагріву, термін знаходження металу вище температури кінця фазового перетворення ( $A_{c3}$ ), швидкість нагрівання і охолодження в інтервалі фазових перетворень.

Для з'ясування деформівного стану металу у разі зварювання розглянемо процес його деформування, використовуючи схематизовану діаграму залежності межи текучості і відповідного відносного подовження від температури (рис. 2.9.)

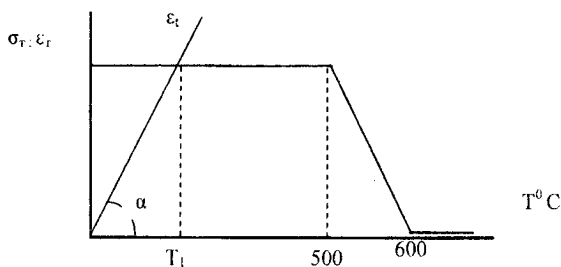


Рис.2.9. Залежність  $\sigma_T$  і  $\epsilon_T$  від температури

Розглянемо поздовжню деформацію металу в умовах нерівномірного нагріву зварного з'єднання, тобто в умовах наявності супротиву свободній температурній деформації певної зони металу в наслідок реакції менш нагрітих сусідніх зон у діапазоні температур від  $T = 0^0 \text{ C}$  до  $T \geq 600^0 \text{ C}$ .

Починаючи з температури  $T = 0^0 \text{ C}$  у зоні утворюються пружні деформації  $\epsilon_t = \alpha T$ , які зростають згідно прямої  $\epsilon_t$  під кутом  $\alpha$ , що залежить від супротиву сусідніх зон. У разі досягнення температури  $T_1$  значення  $\epsilon_t = \epsilon_T$  і під час подальшого нагріву згідно діаграми почнуть утворюватися пластичні деформації. Тобто, в межах температурного інтервалу  $T_1 \dots T_{600}$  деформація складається з пружної  $\epsilon_{пр.} = \epsilon_T$  та пластичної  $\epsilon_{пл.}$

$$\epsilon = \epsilon_{пр} + \epsilon_{пл}$$

У діапазоні температур  $T_{500} \dots T_{600}$  складова пружної деформації згідно діаграми зменшуються і при температурі  $600^0 \text{ C}$  метал повністю втрачає пружні властивості і тому за умови  $T \geq 600^0 \text{ C}$  будуть мати місце виключно пластичні деформації.

У разі охолодження має місце аналогічний процес тільки у зворотному напрямку.

Отже, після охолодження у зварному з'єднанні сформувались три зони де метал знаходиться у різному деформівному стану (рис. 2.10.)

зона пружного стану (температурний діапазон  $0 \dots T_1$  °C);

зона пружньо-пластичного стану (температурний діапазон  $T_1$  °C... $T_{600}$  °C);

зона пластичного стану (температурний діапазон  $>T_{600}$  °C).

пружно – пластичний стан

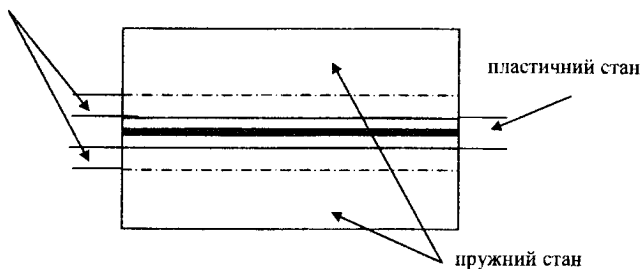


Рис.2.10. Деформівний стан металу різних зон зварного з'єднання

Зрозуміло, що наявність у зварному з'єднанні зон з різним хімічним складом, структурою та деформованим станом призведе до нерівномірного розподілу механічних властивостей, отже має місце так звана механічна неоднорідність. Відомо, що між показниками механічних властивостей (межею текучості, міцності) і значенням твердості існує певна залежність. Таким чином, аналізуючи розподіл твердості в поперечному перерізі зварного з'єднання, можна оцінювати наявність того чи іншого виду механічної неоднорідності зварного з'єднання.

Принципово, в залежності від марки основного матеріалу і його початкового стану, в процесі нагрівання – охолодження в зварному з'єднанні може сформуватися зона зі значенням твердості  $H$  більш низьким ніж в інших

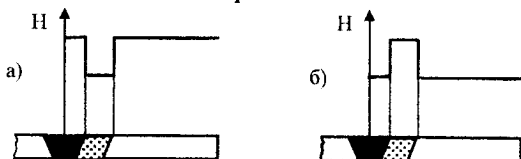


Рис .2.11. Зварне з'єднання з м'яким (а) і твердим (б) прошарком

зонах (при зварюванні загартованої сталі внаслідок відпалу), або, навпаки, більш високим значенням  $H$  (при зварюванні відпаленої сталі, здатної до загартування).

Відповідно розрізняють (рис. 2.11.) зварні з'єднання з м'яким і твердим прошарком, наявність котрих треба враховувати при розробці технології зварювання.

## 2.4. Конструктивна неоднорідність зварних з'єднань

Зварне з'єднання характеризується також конструктивною неоднорідністю, що викликана як обрисом зварного шва, так і конструкцією з'єднання. Це призводить до концентрації напружень. Розглянемо концентрацію напружень в різних типах зварних з'єднань при зварюванні плавленням та тиском.

*Стикові з'єднання.* У стикових з'єднаннях з обробленими гладкими поверхнями швів, що не мають внутрішніх дефектів (непроварів, тріщин, пор, шлакових включень), напруження від подовжньої сили розподіляються рівномірно по поперечному перерізу 1-1 елементів, що з'єднуються, і визначаються по формулі  $\sigma = P / l\delta$ . (рис.2.12.). ( $l$  – довжина шва).

В зонах шва, що прилягають до основного металу (переріз 2-2), має місце концентрація напружень, яка визначається коефіцієнтом концентрації напружень  $K_\sigma = \sigma_{\max} / \sigma$ .

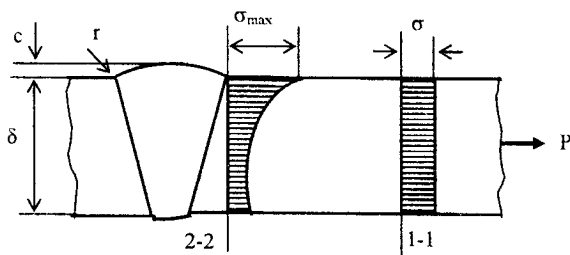


Рис.2.12. Концентрація напружень в стиковому з'єднанні

Викликана обрисом ( геометрією ) шва концентрація напружень, яка має місце в зоні сполучення шва з основним металом, залежить від величини випуклості шва  $c$  і радіуса переходу  $r$ . Характер впливу цих параметрів на коефіцієнт концентрації напружень зображений на рис.2.13. Стикові шви при усіх видах зварювання - дуговому, контактному, електроннопроменевому - є оптимальними у відношенні концентрації напружень. При якісному технологічному процесі, відсутності пор, непроварів, включень, зсуву крайок, при доведенні до мінімуму залишкових місцевих зварювальних деформацій і, нарешті, що особливо важливо, при раціональній формі швів, їхніх плавних сполученнях з основним металом коефіцієнт концентрації напружень може бути зведений до значень, близьких до одиниці. В інших типах з'єднань такий результат одержати практично неможливо.

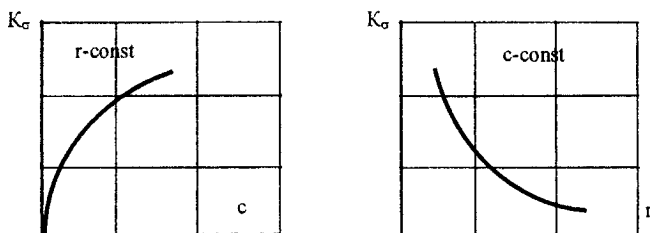


Рис.2.13. Вплив на концентрацію напружень форми стикового шва

Стикові шви при усіх видах зварювання - дуговому, контактному, електроннопроменевому - є оптимальними у відношенні концентрації напружень. При якісному технологічному процесі, відсутності пор, непроварів, включень, зсуву крайок, при доведенні до мінімуму залишкових місцевих зварювальних деформацій і, нарешті, що особливо важливо, при раціональній формі швів, їхніх плавних сполученнях з основним металом коефіцієнт концентрації напружень може бути зведений до значень, близьких до одиниці. В інших типах з'єднань такий результат одержати практично неможливо.

*З'єднання внакладку з лобовим швом.* Розподіл напружень у лобових швах визначався теоретично - на основі положень теорії пружності і

пластичності та експериментально - на моделях із застосуванням поляризованого світла, лакових покриттів, тензотрування. Останнім часом розвивається метод числового моделювання на ЕОМ, який дозволяє одержати найбільш повну інформацію про напружено-деформований стан металу шва і, на відміну від інших розрахункових методів, досить добре погоджується з даними експериментів. Експерименти і розрахунки підтвердили наявність значної концентрації напружень в лобових швах і великий вплив на їх розподіл конфігурації поперечного перерізу шва, глибини проплавлення, кута при вершині шва і форми вільної поверхні шва.

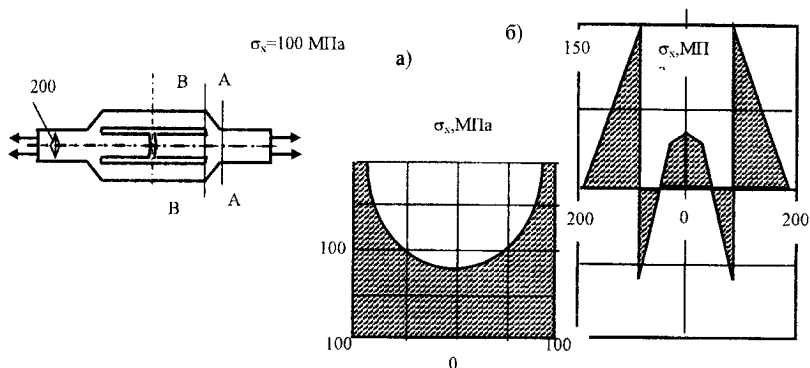


Рис. 2.14. Розподіл напружень в перерізі А-А (а), та В-В (б)

Концентрація напружень помітно знижується при збільшенні глибини проплавлення, збільшенні кута і введенні плавних переходів від шва до основного металу. Розрахунки показали, що при зростанні навантажень відбувається вирівнювання деформацій в металі шва і зниження концентрації напружень. Розподіл напружень у з'єднаннях з лобовими швами показаний на рис 2.14. У з'єднаннях внакладку з двома лобовими швами зусилля між ними розподіляються рівномірно, у випадку якщо елементи мають рівні товщини.

*З'єднання внакладку із фланговими швами.* В цьому випадку має місце концентрація напружень у швах і в основному металі смуг між швами.

Розглянемо з'єднання двох смуг, зварених швами з катетом  $K$  і довжиною  $l$  (рис.2.15.). Через незначну ширину смуг умовно приймемо розподіл напружень  $\sigma$  у смугах рівномірним по їхній ширині. Основні елементи під дією

зусиль розтягнення подовжуються і переміщуються, викликаючи у флангових швах утворення деформації зсуву.

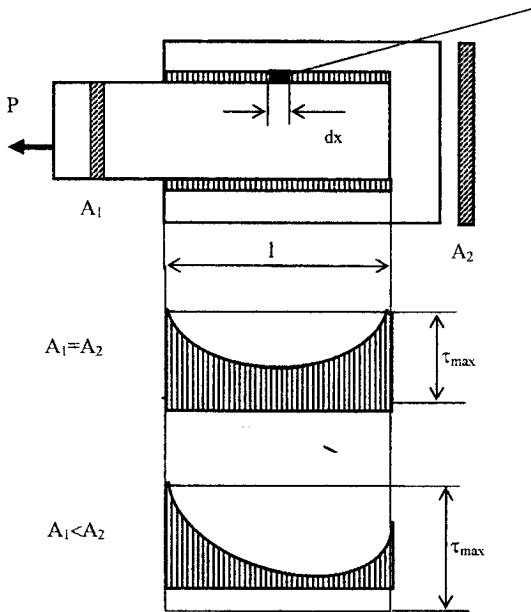


Рис.2.15. Розподіл напружень у з'єднанні з фланговими швами

Прямокутний елемент  $dx$  шва 1-1-2-2 перетворюється в паралелограм 1'-1"-2'-2" (рис.1.15.). Найбільші деформації спостерігаються в крайніх точках шва, найменші - у середніх. Тому дотичні напруження розподіляються по довжині шва нерівномірно.

Розглянемо розподіл нормальних напружень між фланговими швами в з'єднаннях внакладку (рис.2.16.). Допустимо, що флангові шви мають невелику довжину і прийmemo умовно, що напруження  $\tau$  уздовж їх довжини однакові. Ширину листів  $2a$  будемо вважати значною, і визначимо концентрацію напружень у металі листів, що викликана фланговими швами.

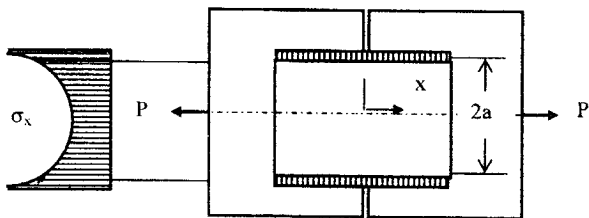


Рис 2.16. Розподіл напружень  $\sigma_x$  в накладці

Силовий потік у розтягнутому листі згущається в зоні флангових швів, а середня частина напружена мало. Тому в розглянутому з'єднанні відповідно розподіляються і нормальні напруження  $\sigma_x$ . Вони максимальні на краях накладки і мінімальні по середині.

У з'єднанні з фланговими швами завжди виникає концентрація напружень. У з'єднаннях з довгими фланговими швами при невеликій відстані між ними концентрація утвориться головним чином у кінцях флангових швів (концентрація дотичних напружень  $\tau_x$ ). У з'єднаннях з короткими фланговими швами при відносно великій відстані між ними концентрація виникає переважно в основному металі на ділянці між швами (концентрація нормальних напружень  $\sigma_x$ ). У з'єднаннях зварних конструкціях, утворюються обидві різновиди концентрацій у більш-менш різко вираженій формі.

*З'єднання внакладку з лобовими і фланговими швами (комбіновані з'єднання).* Розподіл напружень у з'єднаннях з накладками нерівномірний. У тих з'єднаннях, де стикові шви перекриті однобічними накладками, утворюється ексцентриситет сил і з'являється згинаючий момент. У таких з'єднаннях напруження не тільки не зменшуються в порівнянні зі стиковими швами без накладок, але навіть помітно зростають. У з'єднаннях, що не мають стикових швів, накладки теж викликають значну концентрацію напружень.

На рис.2.17. показані результати експериментального вивчення розподілу напружень у різних поперечних перерізах (А-А, Б-Б, В-В) з'єднань з



однобічними накладками, коли накладки приварені до смуг, що з'єднуються, тільки фланговими швами.

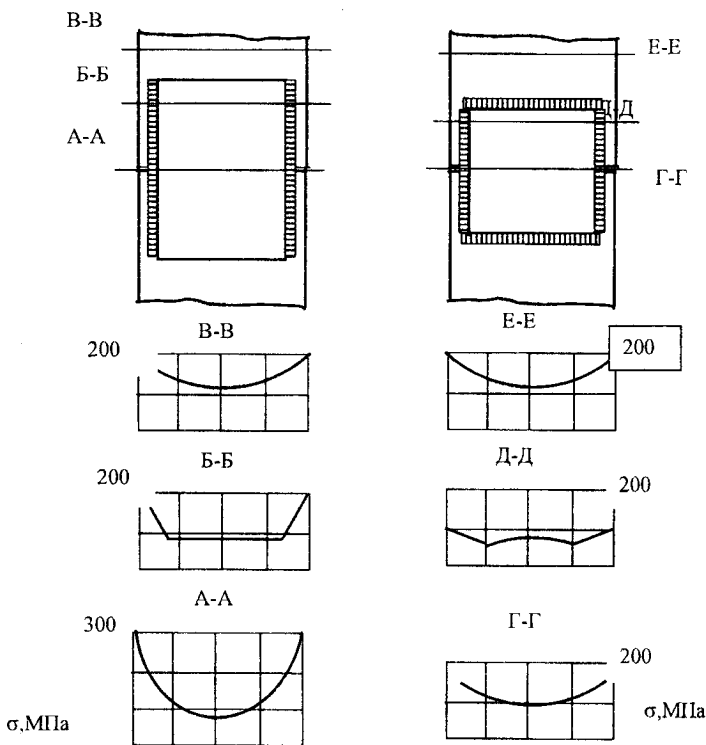


Рис.2.17. Розподіл напружень в з'єднанні з накладками

У точках, близько розташованих до флангових швів, утвориться концентрація напружень: точки, які віддалені від швів і знаходяться біля осі елемента, напружені дуже мало.

При віддаленні від накладок епюра напружень у поперечному перерізі вирівнюється і елемент працює більш рівномірно.

Нерівномірність розподілу напружень по поперечному перерізу накладок значно зменшується при додаванні до флангових швів лобових. На рис.2.17. показаний розподіл напружень у такому з'єднанні в перетинах Г-Г, Д-Д, Е-Е.

*Таврові з'єднання.* Концентрація напружень має місце також у лобових швах таврових з'єднань. Так, біля ребер жорсткості, приварених до елемента,

що розтягується, (рис.2.18.), утвориться концентрації напружень  $\sigma_x$  по перерізу А-А. Елюра цих напружень показана на рис. 2.18.

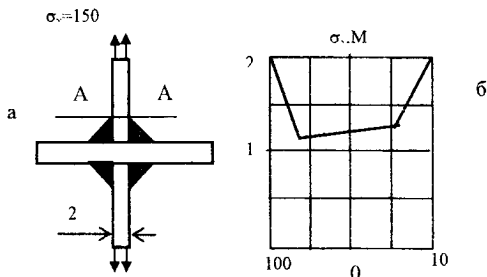


Рис.2.18. Концентрація напружень в тавровому з'єднанні

Коефіцієнт концентрації напружень у шві таврового з'єднання залежить від його обрису (геометрії) і від форми сполучення з основним металом.

*З'єднання при шовному контактному зварюванні.* У з'єднаннях, виконаних шовним контактним зварюванням, нерівномірність розподілу викликана рядом причин:

1. Розподіл напружень  $\sigma$  у зоні шва по довжині деталі при розтягненні відбувається нерівномірно. Коефіцієнт концентрації напружень при розтягненні деталей, як правило, не великий і лише незначно перевищує одиницю.

2. При розтягненні з'єднання відбувається вигин деталі (рис.2.19.), що звичайно не враховується при розрахунку.

Варто пам'ятати, що за межею текучості відбувається деяке вирівнювання напружень і коефіцієнт концентрації при цьому знижується.

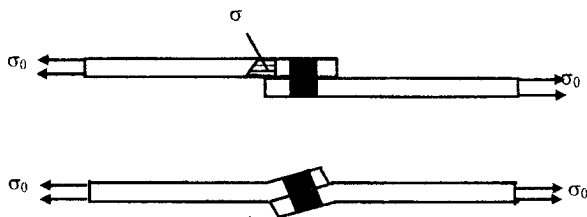


Рис.2.19..Концентрація напружень  $\sigma$  в з'єднанні з шовним швом

З'єднання при точковому контактному зварюванні. У точкових з'єднаннях виникає концентрація напружень, обумовлена рядом факторів:

I. У результаті згущення силових ліній по ширині і товщині основного металу утворюється концентрація напружень у зоні точки (рис.1.20.). Інтенсивність згущення визначає концентрацію. Вона росте з ростом відносини  $t/d$  ( $t$  - відстань між точками в напрямку, перпендикулярному дії сили ;  $d$  - діаметр точки).

На рис.2.20. показана еюра розподілу нормальних напружень  $\sigma$  у поздовжньому перерізі з'єднання. Максимального значення напруження досягають в перерізі 0-0.

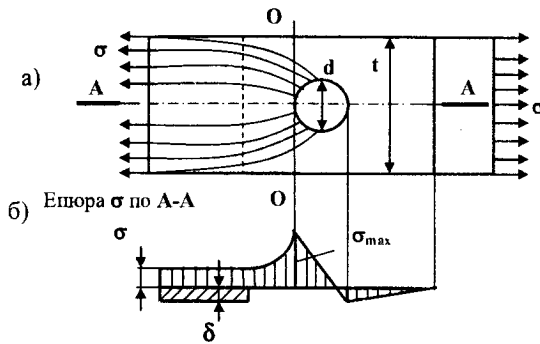


Рис.2.20. Концентрація напружень в точкових з'єднаннях:

а- загальний вигляд; б- розподіл  $\sigma$  у поздовжньому перерізі.

Зусилля в окремих точках з'єднання, розташованих у подовжньому ряді, при їхній роботі в пружній області не однакові. Розподіл зусиль між точками в подовжньому ряді приведено в таблиці 2.1.

Крайні точки виявляються навантаженими значно сильніше, ніж середні. Зі збільшенням числа точок у подовжньому ряді така диспропорція зростає. Подібне явище має місце при роботі в межах пружності. За межею текучості настає значне вирівнювання зусиль.

Таблиця 2.1. Розподіл зусиль між точками в подовжньому ряді.

Номера точок	Число точок у подовжньому ряді		
	3	4	5
1	0,444P	0,436P	0,435P
2	0,112P	0,064P	0,058P
3	0,444P	0,064P	0,014P
4	-	0,436P	0,058P
5	-	-	0,435P

Конструктивна неоднорідність також виникає внаслідок утворення технологічних дефектів - коцентраторів (газові пори, шлакові вклучення, гарячі та холодні тріщини, неповари, підрізи, тощо.)

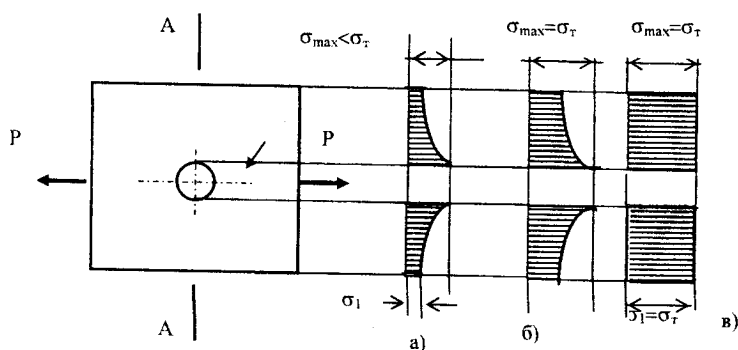


Рис.2.21. Розподіл напружень в пластині з концентратором при статичному навантаженні

Розподіл напружень в пластині з концентратором при статичному навантаженні в перерізі А-А показана на рис.2.21,а. Виберемо силу P такою, щоб  $\sigma_{\max} \leq \sigma_T$ . Збільшимо силу P так, щоб  $\sigma_{\max} = \sigma_T$ , одночасно зростуть і  $\sigma_1$ , не досягаючи значення  $\sigma_T$  (рис.2.21.б. ).

Якщо далі збільшувати силу P, то напруження у концентратора  $\sigma_{\max} = \sigma_T$  не зростуть, але пройде тільки пластична ( залишкова ) деформація, а напруження  $\sigma_1$  досягнуть значення  $\sigma_T$ . Епюра напружень (рівномірний

розподіл)у цьому випадку має вид на рис.2.21,в, тобто концентрація напружень відсутня.

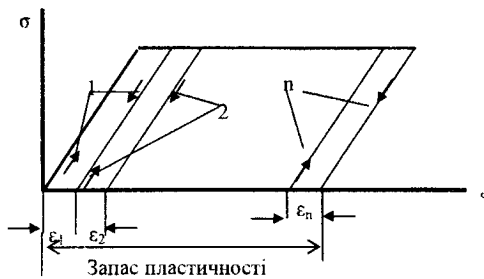


Рис.2.22 Пластична деформація у разі циклічного навантаження

1 – перший цикл; 2 – другий цикл ; n –ений цикл

Якщо пластина буде навантажуватися перемінною силою  $P$ , що викликає в перерізі середні напруження  $\sigma_{cp} < \sigma_T$ , а у концентратора на рівні  $\sigma_T$ , то в результаті кожного циклу навантаження в місці концентрації напружень буде відбуватися накопичення пластичної деформації  $\epsilon$  і врешті вичерпання запасу пластичності металу, що приведе до початку руйнування:  $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \dots + \epsilon_n > \text{запасу пластичності}$ . (рис.2.22.)

Таким чином, при розрахунках на міцність наявність концентрації напружень варто враховувати тільки при дії змінного навантаження, а при статичному навантаженні її не враховують.

## 2.5.Технологічні заходи зменшення неоднорідності зварних з'єднань

Фахівець – технолог зі зварювання повинен передбачати технологічні заходи зменшення неоднорідності зварних з'єднань, базуючись на знаннях факторів, що їх викликають.

Як вже було показано, неоднорідність формується під час зварювання в процесі нагріву і охолодження. Принципово, на ступень неоднорідності можна впливати як на стадії виконання зварного з'єднання, так і після його повного охолодження, як захід впливу на вже сформовану неоднорідність.

В процесі формування зварного з'єднання на утворення неоднорідності впливає багато факторів: термічний стан металу, геометричні характеристики форми зварного з'єднання та шва, комбінація хімічного складу основного та присадкового матеріалу та інш. Усі заходи повинні впливати як на причини утворення неоднорідностей в процесі зварювання, так і на пом'якчення їх наслідків (після зварювання).

### **Вплив на механічну неоднорідність**

Заходи в процесі зварювання. Основною причиною утворення механічної неоднорідності є термічний стан металу зварного з'єднання, який є фактором впливу на фізико-хімічні, кристалізаційні та металургійні процеси, відповідальні за остаточну структуру металу зварного з'єднання.

Термічний стан металу в будь-якій точці зварного з'єднання описується так званим термічним циклом, який визначає максимальну температуру нагріву в заданій точці, швидкість нагріву та охолодження, час перебування вище заданої температури, тобто параметри відповідальні за остаточну структуру, тобто за механічні властивості. Одночасно термічний цикл впливає і на механізм утворення залишкової пластичної деформації скорочення і, як наслідок, на неоднорідність напруженого стану.

Основними технологічними заходами впливу на термічний цикл зварювання є:

- вибір способу зварювання – полягає у оптимізації факторів забезпечення дотримання технологічних вимог до виконання зварного з'єднання (наприклад, заміна дугового зварювання на імпульсне-дугове) – призводить до використання енергетично оптимального типу джерела нагріву;

- оптимізація параметрів режиму зварювання - полягає у призначенні бажаного співвідношення  $q/v$  ( $q$  – теплова потужність джерела тепла;  $v$  – швидкість зварювання) - призводить до одночасного досягнення потрібного термічного циклу і якості зварного з'єднання (рис. 2.23.)

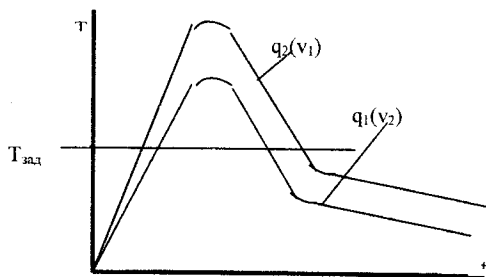


Рис.2.23. Вплив  $q$  і  $v$  на термічний цикл ( $q_2 > q_1$ ;  $v_2 > v_1$ )

- застосування попереднього підігріву (рис.2.24.) – полягає у загальному або місцевому підігріву виробу до певної температури  $T_{\text{під}}$  - майже не впливає на швидкість нагрівання, але призводить до збільшення максимальної температури ( $T_{\text{max}2} > T_{\text{max}1}$ ) і часу знаходження металу ( $t_2 > t_1$ ) вище заданої температури  $T_3$  та зменшення швидкості охолодження ( $\alpha_2 < \alpha_1$ );

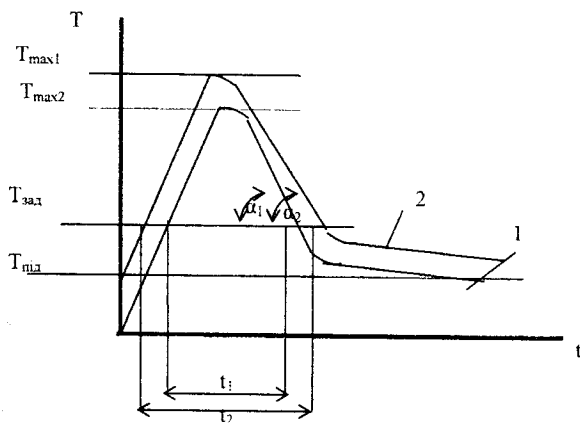


Рис.2.24. Вплив попереднього підігріву. 1- без підігріву; 2- з підігрівом

- застосування тепловідводів(рис 2.25.) - полягає у примусовому відводі теплоти  $q_T$  від зони зварювання  $q$  ( наприклад, використання мідних тепловідводів ) – призводить до зменшення тепловложения в основний метал  $q_{\text{ом}}$  та звужує ширину зони поширення критичних (наприклад,  $T_{\text{Ac}3}$  ) температур  $b_{\text{вн}}$ .

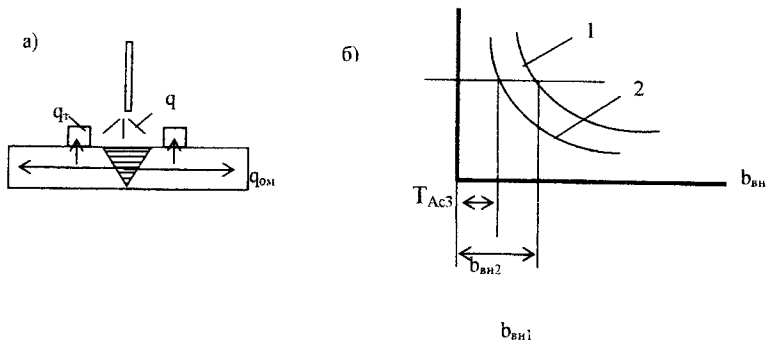


Рис.2.25. Схема застосування тепловідводів

а) – розподіл тепловітоків; б)- вплив на ширину високонагрітої зони.

Крім того, в якості впливу на остаточну структуру рекомендується застосування відповідного до експлуатаційних вимог присадкового матеріалу, який в комбінації з основним металом забезпечує протікання фізико-хімічних, кристалізаційних та металургійних процесів в бажаному напрямку.

Заходи після зварювання. Структура, яка утворилася після повного охолодження зварного з'єднання, характеризує остаточні значення показників механічних властивостей металу зварного з'єднання, тобто ступень механічної неоднорідності. Основним технологічним заходом впливу на сформовану структуру з метою поліпшення механічних властивостей металу зварного з'єднання є застосування термічної обробки (рис.2.26.), яка пов'язана зі структурними та фазовими перетвореннями:

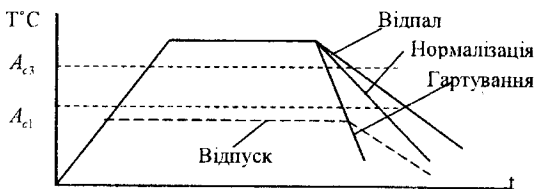


Рис.2.26. Види термообробки

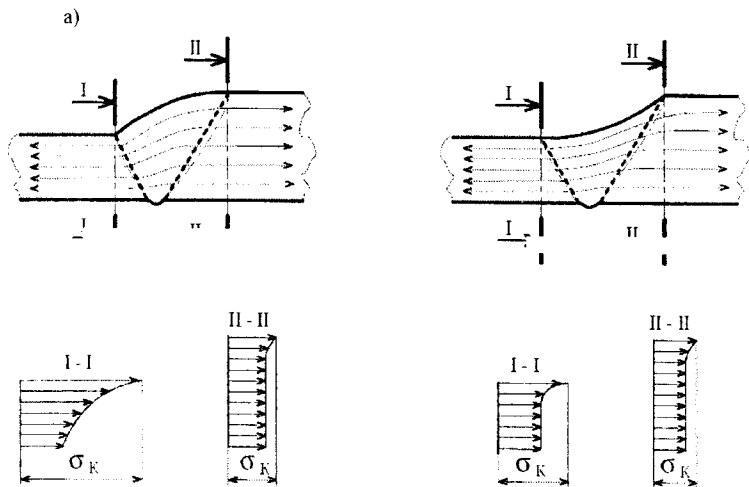


- застосування відпалу – складається з нагрівання металу до температури завершення фазових перетворень  $A_{c1}$  (приблизно  $800^{\circ}\text{C}$ ), витримки при цій температурі до повного прогрівання та завершення фазових перетворень в об'ємі металу і наступного повільного охолодження - подрібнюється зерно, підвищується пластичність та в'язкість з одночасним падінням міцності;
- застосування нормалізації – відрізняється від відпалу більшою швидкістю охолодження – зерно дрібніше за відпал, але твердість та міцність дещо більше чим у разі відпалу;
- призначення гартування з наступним відпуском – гартування (нагрів як у разі відпалу) супроводжується швидкістю охолодження, що перевищує критичну і забезпечує отримання переважно структури мартенситного класу – призводить до структурно напруженого стану, підвищення твердості, міцності та крихкості, падіння пластичності і в'язкості;
- загартовану сталь обов'язково піддають відпуску, тобто нагріву нижче від температури  $A_{c1}$  (температура початку фазових перетворень), витримки з наступним охолодженням. Для зменшення структурних напружень використовують низький відпуск (температура нагріву  $120\dots250^{\circ}\text{C}$ ); для підвищення в'язкості, пластичності, зниження твердості із збереженням міцності призначають середній відпуск (температура нагріву  $300\dots450^{\circ}\text{C}$ );
- для підвищення ударної в'язкості, пластичності з одночасним падінням міцності використовують високий відпуск (температура нагріву  $450\dots680^{\circ}\text{C}$ ).

### **Вплив на конструктивну неоднорідність.**

Як було показано основною причиною конструктивної неоднорідності є наявність концентраторів напружень, що викликана геометричною формою зварного з'єднання та обрисом шва. Можливість впливати на ці фактори

технологічними заходами обмежена.



б)

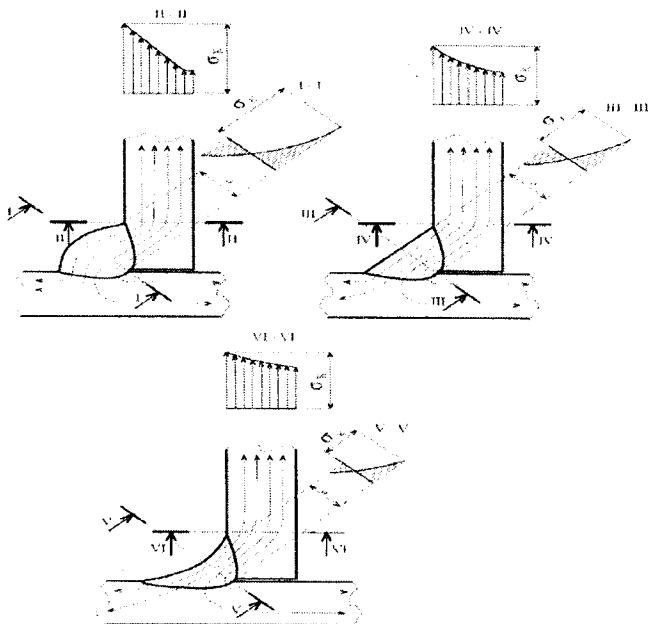


Рис.2.27. Вплив обрису шва на концентрацію напружень

а)- стикові шви; б) – кутові шви.

Заходи в процесі зварювання. Оскільки тип зварного з'єднання задається на етапі конструювання (технолог не вправі його змінювати), то заходи в основному спрямовані на отримання оптимального обрису зварного шва:

- призначати раціональний тип розкриття кромки зварного з'єднання – забезпечує зменшення наявності концентраторів;

- призначати форму зварного шва з плавним переходом до основного металу – знижує коефіцієнт концентрації напружень. (рис.2.27). Порівнюючи розподіл напружень  $\sigma_k$  в перерізі 1-1 стикового шва та в перерізах 4-4 і 2-2 кутового шва відзначаємо вплив обрису швів на концентрацію напружень. Плавний перехід металу шва до основного металу призводить до зниження максимальних напружень - тобто коефіцієнта концентрації.

Заходи після зварювання. Після зварювання на форму зварного з'єднання впливати неможливо, тому основним технологічним заходом є:

застосування обробки поверхні шва механічними (наприклад, фрезуванням) або тепловими методами (обробка зварювальною дугою з неплавким електродом), що забезпечує плавний перехід металу шва до основного металу та усунення концентраторів.

## 2.6. Технологічні дефекти зварних швів з'єднань

Дефекти зварних швів і з'єднань, виконаних зварюванням плавленням, виникають із-за порушення вимог нормативних документів до підготовки, складання і зварювання вузлів, що сполучаються, механічної і термічної обробки зварних швів і самої конструкції, до зварювальних матеріалів.

Дефекти зварних з'єднань можуть класифікуватися по різних ознаках: формі, розміру, розміщенню в зварному шві, причинам утворення, міри небезпеки і так далі. Найбільш відомою є класифікація дефектів, рекомендована міждержавним стандартом ГОСТ 30242-97 «Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначения и определения». Згідно цьому стандарту дефекти зварних з'єднань підрозділяються на шість груп:

- тріщини;
- пори, свищі;
- тверді включення;

- несплавління;
- непровари;
- порушення форми шва – підрізи, перевищення опуклості, перевищення проплава, наплавы, зсуви, натікання, прожоги і др.;

**Тріщиною** (рис.2.28.) називається порожнина у вигляді місцевого розриву з дуже малим розкриттям. Вони можуть бути розташовані в металі зварного шва, в зоні термічного впливу, в основному металі. Залежно від орієнтації тріщини діляться на:

- подовжні (орієнтовані паралельно осі зварного шва);
- поперечні (орієнтовані уперек осі зварного шва);
- радіальні (що радіально розходяться з однієї точки).

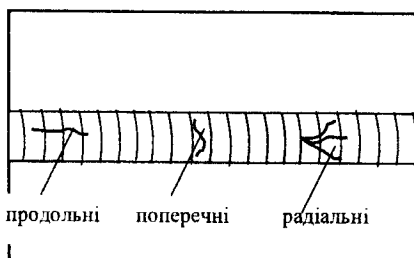


Рис.2.28. Класифікація тріщин

Тріщини розділяють на гарячі і холодні залежно від температури їх утворення. Гарячі тріщини з'являються в процесі кристалізації металу шва при температурі 1100-1300°C. Їх утворення викликається наявністю напіврідких прошарків між кристалами наплавленого металу шва і дією в нім напружень розтягу в наслідок усадкових процесів. Підвищений вміст в металі шва вуглецю, кремнію, водню і нікелю також сприяє утворенню гарячих тріщин. Вони зазвичай розташовані усередині шва і їх важко виявити.

Холодні тріщини виникають при температурах 100-300°C в легованих сталях і при нормальних температурах - у вуглецевих сталях відразу після охолодження шва або через тривалий проміжок часу. Основна причина їх утворення— значні напруження, що виникають в зоні зварювання при розпаді твердого розчину, і скупчення під великим тиском молекулярного водню в

порожнечах, наявних в металі шва. Холодні тріщини виходять на поверхню шва і добре помітні.

**Пори** – це порожнина довільної форми, що не має кутів, утворена газами, затриманими в розплавленому металі. Пори утворюються в зварних швах унаслідок швидкого твердіння газонасиченого розплавленого металу, при якому газу, що виділяються, не встигають вийти в атмосферу.

Як правило, такий дефект зустрічається при підвищеному вмісті вуглецю в основному металі, наявності іржі, масла і фарби на кромках основного металу і поверхні зварювального дроту, використанні вологого або такого, що відволожився флюсу, присутності шкідливих домішок в захисних газах, неправильному регулюванні полум'я зварювального пальника, надмірній швидкості зварювання, що порушує газовий захист ванни рідкого металу, неправильному виборі марки зварювального дроту, особливо при зварюванні в середовищі вуглекислого газу. Газові пори можуть бути розподілені в шві окремими групами, у вигляді ланцюжка уздовж шва або у вигляді окремих включень. Міра пористості шва і розмір окремих пор багато в чому залежать від того, як довго зварювальна ванна знаходиться в рідкому стані, який дозволяє газам, що утворюються, вийти з шва.

Пори можуть підрозділятися на (рис. 2.29.):

- рівномірно розподілені по зварному шву
- розташовані скупченням ;
- розташовані ланцюжком .

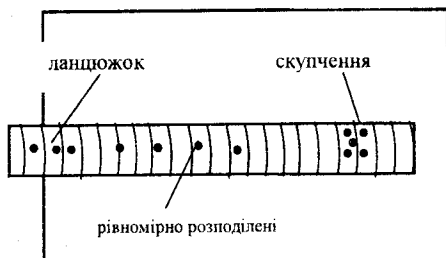


рис. 2.29

**Свищі** – довгасті трубчасті порожнини, що виходять на поверхню шва, витягнуті уловж осі зварного шва, викликані виділенням газу.

**Тверді включення** – це тверді чужорідні речовини металевого або неметалевого походження, що залишилися в металі зварного шва:

- шлакові включення ;
- оксидні включення ;
- металеві включення.

*Шлакові включення* є результатом недбалого очищення кромки деталей і зварювального дроту від окалини, іржі і грязі, а також (при багат шаровому зварюванні) неповного видалення шлаку з попередніх шарів. Крім того, вони виникають при зварюванні довгою дугою, неправильному нахилі електроду, недостатній величині зварювального струму або потужності пальника, завищеній швидкості зварювання.

Шлакові включення різні за формою (від сферичної до голкової) і розмірами (від мікроскопічних до декількох міліметрів). Вони можуть бути розташовані в корені шва між окремими шарами, а також усередині наплавленого металу.

Шлакові включення, так само як і газові пори, ослаблюють перетин шва, зменшують його міцність і є зонами концентрації напруги.

*Оксидні включення* в зварних швах представляють собою тонкі прошарки, які порушують суцільність металу і є результатом застрявання тугоплавких важкорозчинних оксидів (наприклад,  $Al_2O_3$  ) під час кристалізації металу ванни.

*Металеві включення.* Прикладом металевих включень може бути вольфрамові включення, які утворюються в металі шва під час зварювання неплавким електродом через завищену щільність струму, короткого замикання та порушення газового захисту.

**Непровари** або неповний провар – це відсутність з'єднання (несплавління) між металом шва і основним металом або між окремими валиками зварного шва. Типи несплавління (рис.2.30.):

- по бічній поверхні;
- між шарами ;
- в корені зварного шва .



Непровар  
по бочній поверхні



Непровар  
між шарами



Непровар кореня шва

Рис. 2.30. Непровари зварних з'єднань

Непровар на ділянці або по всій довжині шва з'являється через нездатність розплавленого металу проникнути в корінь з'єднання (заповнити зазор між деталями), а також несплавлення між собою окремих шарів шва при багат шаровому зварюванні. Причинами непровару є: погане очищення металу від окалини, іржа і грязі, малий зазор в стику, зайве притуплювання і малий кут скосу кромки, недостатня величина струму або потужності пальника, велика швидкість зварювання, зсув електроду убік від осі шва. При автоматичному зварюванні під флюсом і електрошлаковому зварюванні непровари зазвичай утворюються на початку процесу, коли основний метал ще недостатньо прогрітий. Тому зварювання починають на вхідних технологічних планках, що відрізуються надалі. Інколи непровари по перетину шва виникають із-за вимушених перерв в процесі зварювання.

**Порушення форми зварного шва (зовнішні дефекти)** – це відхилення форми зовнішніх поверхонь шва або геометрії з'єднання від заданого значення. До порушень форми шва відносяться: неполномірність шва, підрізи, перевищення проплава, зсуви зварювальних крайок, прожоги.

- **Неповномірність шва (рис.2.31.)** - порушення форми і розмірів зварного шва найчастіше викликані коливаннями напруги в електричній мережі, недбалістю в роботі або низькою кваліфікацією зварювальника, що виявляється в неправильному виборі режимів, неточному напрямі електроду і методиці його переміщення. Дефекти проявляються в неоднаковій ширині зварювального шва по його довжині, в нерівномірності катета кутових швів, надмірній опуклості і різких переходах від основного металу до наплавленого. Відхилення від розмірів і форми зварного з'єднання, що виявляються в кутових швах, пов'язані з

неправильною підготовкою кромek, нерівномірною швидкістю зварювання, а також з невчасним контрольним обміром шва. При автоматичному і напівавтоматичному зварюванні ці дефекти найчастіше пов'язані з коливаннями напруги, прослизанням дроту в подаючих роликах, порушеннями режимів зварки.



Рис 2.31. Дефекти форми і розмірів шва

а - неповномірність шва; б - нерівномірність ширини стикового шва; в - нерівномірність по довжині катета кутового шва; г - потрібна висота шва

*Підрізи* — углублення по лінії сплаву зварного шва з основним металом. В результаті підрізу відбувається місцеве зменшення товщини основного металу, що призводить до зниження міцності. Підріз виникає зазвичай при підвищеній напрузі дуги із завищеною швидкістю зварювання, коли одна з кромek проплавляється глибше, рідкий метал стікає на горизонтальну площину і його не вистачає для заповнення розділки. При зварюванні кутових швів підрізи виникають в основному із-за зсуву електроду у бік вертикальної стінки, що викликає значне розігрівання, плавлення і стікання металу на горизонтальну полицю. У стикових швах підрізи утворюються при зварюванні на великих струмах і при неправильному положенні присадного матеріалу. До підрізу можуть привести збільшені кути оброблення крайок. Цей дефект виявляється візуально і при відхиленнях вище встановленої норми підлягає переварюванню з попередньою зачисткою.

*Напливи* — виявляються у вигляді натікання металу шва на поверхню основного металу без сплаву з ним. Напливи різко змінюють контури швів і тим самим знижують витривалість конструкції. Причиною цього дефекту може стати знижена напруга дуги, наявність окалини на зварювальних кромках, повільна зварювання, коли з'являються надлишки розплавленого присадкового



металу. Найчастіше напливи виникають при зварюванні горизонтальних швів на вертикальній площині. При зварюванні кільцевих поворотних стиків напливи можуть виникати при неправильному розташуванні електроду відносно осі шва. Напливи великої протяжності недопустимі

*Перевищення проплаву* – надлишок наплавленого металу на зворотному боці стикового зварного шва..

*Зсув зварювальних крайок*- порушення паралельності розташування кромки.

*Прожог* – витікання металу зварювальної ванни, що наводить до утворення в шві наскрізного отвору. Він виникають унаслідок недостатнього притуплювання кромки, великого зазору між ними, завищеного зварювального струму або потужності пальника при невисоких швидкостях зварюванні. Особливо часто прожог спостерігаються в процесі зварюванні тонкого металу і при виконанні першого проходу багат шарового шва. Крім того, прожоги можуть мати місце в результаті поганого підтискання подушки флюсу або мідної підкладки (автоматичне зварюванні), а також при збільшенні тривалості зварюванні, малому зусиллі стискування і наявності забруднень на поверхнях зварювальних деталей або електродах (точкова і шовна контактні зварюванні).

### **2.7. Опір зварних з'єднання навантаженню**

Окрім відповідності технологічним вимогам зварні з'єднання повинні відповідати експлуатаційним вимогам, тобто чинити опір навантаженню, який залежить від геометричних параметрів зварного з'єднання, а саме – площі руйнування (довжини шва і глибини проплавлення), а також від характеру навантаження та механічних властивостей металу. Здатність чинити опір навантаженню у аналітичному вигляді представляється через умову міцності, яка враховує усі параметри, що впливають на працездатність зварного з'єднання.

В металі шва зварних з'єднань можлива поява напружень двох родів: робочих та з'єднувальних. Щоб пояснити відмінність між ними, розглянемо кілька прикладів.

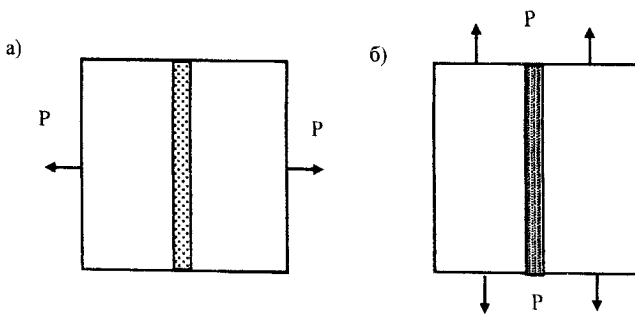


Рис 2.32. Робочі і з'єднувальні зварні з'єднання

а - шви робочі; б – шви з'єднувальні

На рис.2.32,а зображені дві смуги, які з'єднані стиковим швом. Смуги навантаженні зусиллям розтягування. Очевидно, що в разі руйнування шва зруйнується і вся конструкція. Тобто, зварні з'єднання, руйнування яких призводить до руйнування конструкції називаються робочими, а напруження, які діють в цих з'єднання (швах) - робочими напруженнями.

Зовсім інакше поводить себе метал шва у випадку навантаження двох смуг, як показано на рис.2.32,б В цьому випадку руйнування шва не призведе до руйнування усєї конструкції, оскільки зварний шов не передає зусилля від однієї смуги до іншої. Такі з'єднання називають з'єднувальними.

Відповідальними за опір навантаженню тільки робочі зварні з'єднання.

### 2.7.1. Види навантаження

У більшості випадків зварні з'єднання працюють в умовах статичного або циклічного навантаження.

*Статичне навантаження.* Це навантаження незмінне у часі, або змінюється з невеликою швидкістю. Для оцінки опору металу статичному навантаженню проводиться стандартне випробування на статичне розтяг, в результаті якого одержують діаграму розтягування. (див.1.1). На цій діаграмі принципово слід відзначити показник ,що характеризує межу текучості  $\sigma_T$ . У разі навантаженні до цього напруження метал працює пружно ( при розвантаженні відсутні залишкові деформації), а при

збільшенні навантаження мають місце пластичні деформації (при розвантаженні залишкові деформації  $\epsilon_{зал}$  мають місце) (рис.2.33).

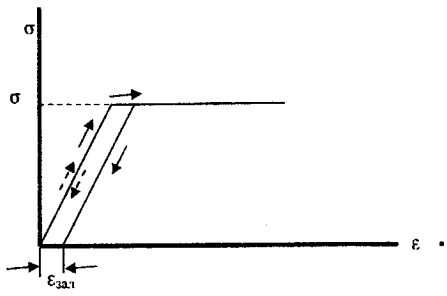


Рис.2.33. Деформації металу при статичному навантаженні

--► пружне навантаження ( $\epsilon_{зал}=0$ ); —► навантаження з

утворенням залишкової пластичної деформації ( $\epsilon_{зал} \neq 0$ ).

Циклічне (багаторазове) навантаження супроводжується періодичною зміною напружень, сукупність послідовних значень яких за один період їх зміни при регулярному навантаженні називається циклом напружень. (рис.2.34.).

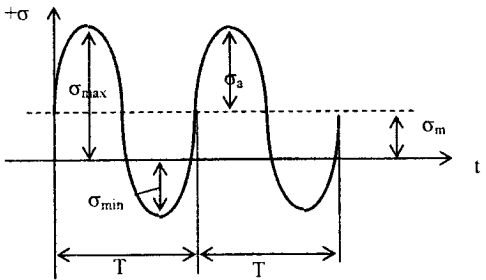


Рис.2.34.Схема циклу напружень

Основними характеристиками циклу напружень є (рис.2.34.):

Період циклу (T) – час одного циклу напружень.

Максимальне напруження циклу ( $\sigma_{max}, \tau_{max}$ ) – найбільше за алгебраїчним значенням напруження циклу.

Мінімальне напруження циклу ( $\sigma_{\min}, \tau_{\min}$ ) - найменше за алгебраїчним значенням напруження циклу.

Середнє напруження циклу ( $\sigma_m, \tau_m$ ) – постійна (позитивна або від’ємна) складова циклу напружень, яка дорівнює алгебраїчній полусумі максимального мінімального напруження циклу

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \tau_m = \frac{\tau_{\max} + \tau_{\min}}{2}$$

Амплітуда напружень циклу ( $\sigma_a, \tau_a$ ) – найбільше числове позитивне значення змінної складової циклу напружень, що дорівнює піврізниці максимального і мінімального напружень циклу

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}, \tau_a = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2}$$

Розмах напружень циклу ( $2\sigma_a, 2\tau_a$ ) – алгебраїчна різниця максимального мінімального напружень циклу.

Коефіцієнт асиметрії циклу напружень ( $R$ ) – відношення мінімального напруження циклу до максимального

$$R_\sigma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}, R_\tau = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}}$$

Руйнування внаслідок дії циклічного навантаження зветься втомою..

Одним з основних показників опору втоми є циклічна довговічність  $N$ — число циклів напружень, витриманих об’єктом (зразком, елементом, виробом), що навантажується до утворення тріщини від втоми певних розмірів (довжини, глибини) чи до повного руйнування. Зв’язок між максимальними напруженнями циклу і циклічною довговічністю, наведений графічно, являє собою криву втоми (рис. 2.35.). У напівлогарифмічних координатах чи логарифмічних криву втоми звичайно апроксимують двома відрізками прямих: одним крутопадаючим, іншим – горизонтальним. Крива втоми (крива Велера) є основною характеристикою опору матеріалу впливу змінних напружень. На кривій втоми розрізняють дві ділянки. Ділянка АВ – область руйнування при порівняно високих рівнях напружень (від  $\sigma > \sigma_{0,2}$ ), внаслідок

дії яких руйнування має місце при обмеженій кількості циклів навантаження (від  $10^1$  до  $10^5$ ). Ця область зветься малоцикловою. При порівняно низьких рівнях напружень (ділянка BCD) утворення макротріщин і повне руйнування зразків відбувається після дуже великого числа циклів навантаження, аж до  $10^7$ – $10^8$  циклів і більше. Ця область називається багатоцикловою.

Напруження  $\sigma_R$ , що відповідає горизонтальній ділянці кривої втоми, служить найважливішим її параметром — границею витривалості( витривалість – здатність чинити опір втомі), або межею втоми.

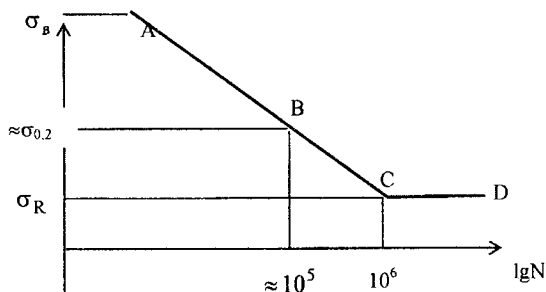


Рис. 2.35. Повна крива втоми

Напруження нижче  $\sigma_R$  не призводять до руйнування від втоми при як завгодно великому числі циклів навантаження.

### 2.7.2. Методика складання умов міцності зварних з'єднань

Складання умови міцності (оцінка опору навантаженню) – це порівняння в аналітичному вигляді напруженого стану металу шва з відповідним показником його граничного стану.

Тому умова міцності у загальному виді така:

$$\sigma_{\text{снк}} \leq \sigma_{\text{гр.ст.}}$$

Ліва частина цієї нерівності - це напружений стан металу шва. В перерізу руйнування можуть діяти декілька компонентів напружень, наприклад, від розтягу, моменту, нормальні, дотичні і таке інш. Сумарна дія цих компонентів

оцінюється еквівалентними напруженнями  $\sigma_{екв.}$ . Еквівалентні напруження визначаються за допомогою теорій міцності, побудованих на механічних моделях граничного стану. Розглядають такі основні чотири моделі (теорії).

*Теорія максимальних нормальних напружень.* Еквівалентні напруження згідно цієї теорії будуть

$$\sigma_{екв.} = \sigma_1.$$

*Теорія найбільшого відносного подовження.* Еквівалентні напруження за цією теорією мають вид

$$\sigma_{екв.} = \sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3).$$

*Теорія найбільших дотичних напружень.* Еквівалентні напруження для цього випадку будуть

$$\sigma_{екв.} = \sigma_1 - \sigma_3.$$

*Теорія питомої потенційної енергії формозміння.* Еквівалентні напруження визначаються за формулою

$$\sigma_{екв.} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1}.$$

Для плоского та об'ємного напруженого стану найбільш поширена четверта теорія, а для лінійного напруженого стану – перша теорія. Наприклад, для осевого розтягування стержня або чистого зсуву (кручення) еквівалентні напруження відповідно будуть

$$\sigma_{екв.} = \sigma; \tau_{екв.} = \tau,$$

для двохосевого розтягування пластини

$$\sigma_{екв.} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2},$$

а для плоского вигину

$$\sigma_{екв.} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}.$$

Права частина умови міцності – це граничний стан металу, для якого приймається, що при його досягненні має місце «руйнування» у інженерному сенсі цього поняття, тобто відмова експлуатаційним вимогам. В залежності від

механізму руйнування (пластичне деформування, крихке руйнування, втома, повзучість) критерієм граничного стану є відповідний показник – напруження граничного стану  $\sigma_{гр.ст.}$ .

Оскільки для більшості конструкцій машинобудування утворення залишкових деформацій неприпустиме, у практиці інженерних розрахунків на міцність за граничний стан приймається початок утворення в метали пластичного стану (метал повинен працювати пружно). Тобто, у разі статичного навантаження напруження в конструкції не повинні досягати значення межі текучості  $\sigma_{гр.ст} \leq \sigma_T$ . У разі багатоциклічного навантаження (характерно для машинобудування) граничні напруження повинні одночасно відповідати вимозі відсутності залишкових деформацій та не перебільшувати межу втоми  $\sigma_{гр.ст} \leq \sigma_R$  (оскільки  $\sigma_R \leq \sigma_T$ ).

Згідно євростандарту DIN 18.800, умова міцності має вид:

$$R_d \leq S_d$$

де  $R_d$  - розрахункове значення навантаження,  $S_d$  - розрахункове значення напруження. Розрахункове значення навантаження визначається однаково як для статичного, так для циклічного навантаження. Навантаження виникає в конструкції чи в її елементах у результаті впливу нормальних сил, моментів, поперечних сил. Розрахункове значення навантаження визначається за формулою:

$$R_d = F \gamma_f$$

де  $F$  - нормативний силовий чинник навантаження,  $\gamma_f$  - коефіцієнт надійності деталі (коефіцієнт перевантаження), що враховує просторову і часову розкиданість впливу силового чинника. Значення коефіцієнта  $\gamma_f$  наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Коефіцієнт перевантаження  $\gamma_f$  для різних споруджень.

Чинник	Споруди				
	домен -ні печі	промислові будівлі	башні та щогли	судини та газгольдери.	мости
Вага конструкції	1,0	1,1	1,1	1,1	1,25
Гідростатичний тиск рідини	1,1	-	-	1,1	-
Внутрішній тиск газу	1,1	-	-	1,2	-
Навантаження від кранів	-	1,3	-	-	--
Вітер (при $p=40$ - Снг	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
(при $p=50 - 200$ Динамічне навантаження	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Сили від температурного	1,2	1,2	-	-	1,4
	1,3	1,2	1,2	1,2	-

Значення розрахункового напруження визначається як:

$$S_d = M \gamma_m$$

де:  $M$  - опір деталі, що залежить: від геометричних розмірів деталі (геометрична характеристика  $\Gamma$  перерізу), механічних властивостей металу ( $\gamma$  у разі статичного навантаження - межа текучості металу  $\sigma_T$ , у разі циклічного навантаження - межа текучості металу  $\sigma_T$  та межа втоми  $\sigma_R$ ),  $\gamma_m$  - коефіцієнт надійності деталі, що враховує розкиданість величин опору (коефіцієнт умови навантаження). Значення коефіцієнта  $\gamma_m$  наведено в таблиці 2.3.

Геометричною характеристикою перерізу  $\Gamma$  може бути площа поперечного перерізу  $A$  у випадку впливу осьової сили, чи момент інерції перерізу  $I$  або момент опору  $W$  у випадку дії моменту.



Таблиця 2.3. Коефіцієнти умови навантаження  $\gamma_m$  елементів сталевих конструкцій.

№	Елементи конструкцій	$\gamma_m$
1.	Суцільні балки і стиснуті елементи ферм перекриттів	0,9
2.	Стиснуті основні елементи ферм і аналогічні їм елементи при гнучкості 60	0,8
3.	Колони будівель і покриття	0,9
4.	Корпуси і днища резервуарів	0,8
5.	Підкранові балки важкого і дуже важкого режимів роботи	0,9
6	Стиснуті розкоси просторових ґратчастих елементів з одиночних кутників, що приварюються до поясів однією полицею:	0,9
7	Одиночні кутники рівнобоки, що прикріплюються однією полицею, і нерівнобоки, що прикріплюються вузькою полицею	0,7

Визначення розрахункового напруження для статичного та циклічного навантаження відрізняються.

*Статичне навантаження*. В загальному вигляді у випадку статичного навантаження умова міцності прийме вид:

$$F \gamma_f \leq \Gamma \gamma_m \sigma_T.$$

Запишемо цю умову для випадку дії осьової сили  $N$ , тоді  $\Gamma = A$ :

$$N \gamma_f \leq A \gamma_m \sigma_T.$$

Перепишемо цю умову як:

$$\frac{N}{A} = \sigma_T \frac{\gamma_m}{\gamma_f}.$$

де  $N/A = \sigma$  - напруження в деталі,  $\sigma_T \gamma_m / \gamma_f = R$ -розрахунковий опір металу.

Тоді умова міцності буде мати вид

$$\sigma \leq R$$

Аналогічну залежність можна одержати й у випадку навантаження згинальним моментом  $M$ . Тоді геометричним фактором опору буде момент інерції  $I$  або опору  $W$  перерізу, тобто:

$$M \gamma_f \leq W \gamma_m \sigma_T$$

$$M/W \leq \sigma_T \gamma_m / \gamma_f$$

Таким чином, в загальному випадку умова досягнення граничного стану, тобто умова відсутності пластичних деформацій буде мати вигляд:

$$\sigma \leq R$$

У тих випадках, коли неможливо визначити коефіцієнти  $\gamma_m$  і  $\gamma_f$  застосовують методику складання умови міцності, приймаючи за критерій досягнення граничного стану так звані граничні напруження. Умова міцності записується у вигляді нерівності

$$\sigma \leq [\sigma]$$

де  $[\sigma]$  - граничні напруження.

$$[\sigma] = \sigma_T / K$$

де  $K$  - коефіцієнт запасу міцності,  $K > 1$ .

Якщо елемент працює на зріз, то умова міцності в загальному виді буде:

$$\tau \leq R_{зр.}; \quad \tau \leq [\tau]; \quad R_{зр.} = 0,65R; \quad [\tau] = 0,65[\sigma].$$

Тобто, принципово, розрахунок за граничними напруженнями нічим не відрізняється від розрахунку за граничним станом, оскільки в обох випадках критерієм міцності є значення межі текучості. Відмінність полягає тільки в мірі зниження цієї величини.

*Циклічне навантаження.* Як вже було відмічено у разі багатоциклічного навантаження (характерно для машинобудування) умова міцності повинна одночасно відповідати вимозі відсутності залишкових деформацій та не перебільшувати межу втоми  $\sigma_{гр.ст} \rightarrow f(\sigma_R, \sigma_T)$ .

Тоді, з урахуванням коефіцієнтів запасу міцності умову міцності запишемо як:

$$\sigma \leq \frac{\sigma_R}{n_{нк}} \cdot \frac{\sigma_m}{n_{см}}$$

Оскільки  $\sigma_m / n_{см} = [\sigma]$  і позначаючи  $\sigma_R / n_{нк} = \gamma$ , перепишемо цю умову як:

$$\sigma \leq [\sigma] \gamma$$

де -  $\gamma \leq 1 = \frac{1}{a + bR}$  - коефіцієнт залежний від параметрів циклічного навантаження R і властивостей металу та конструктивних особливостей виробу ( коефіцієнти a і b ). Тобто , умова міцності у разі циклічного навантаження таж сама, що і у випадку статичного навантаження , але вводиться коефіцієнт  $\gamma < 1$  - коефіцієнт зменшення граничних напружень в залежності від умов циклічного навантаження.

Як було показано, зварні з'єднання характеризуються наявністю механічної неоднорідності (м'який прошарок), що знижує характеристики міцності зварного з'єднання. Беручи до уваги цей факт, а також з метою забезпечення однакової міцності зварного з'єднання і основного металу, значення розрахункових опорів і граничних напружень для зварних з'єднань приймають :

$$R^{3B} = kR; \quad [\sigma]^{3B} = k[\sigma].$$

де k - коефіцієнт зменшення значень розрахункових опорів і граничних напружень для зварних з'єднань. (  $k \leq 1$  ). Він залежить, в основному, від технології зварювання. Нижче наводяться деякі значення для  $R^{3B}$  і  $[\sigma]^{3B}$ . (таблиця 2.4.)

Таблиця 2.4. Значення для  $R^{3B}$  і  $[\sigma]^{3B}$ .

Матеріал з'єднання	Спосіб зварювання	Тип шва						
		Стикові шви		Кутові шви	Точкові шви		Роликові шви	
		Відрив	Зріз	Зріз	Зріз	Відрив	Зріз	Відрив
Сталі	Механізо ване	0,85 R [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,65 R 0,65 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,65 R 0,65 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,45 R 0,4 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,3 R 0,3 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,5 R 0,5 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,4 R 0,4 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>
	Ручне	0,8 R 0,9 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,6 R 0,6 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,65 R 0,6 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>				
Алюмінієві сплави	Механізо ване	0,7 R 0,7 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,5 R 0,5 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,5 R 0,65 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,35 R 0,4 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,3 R 0,3 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,45 R 0,5 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>	0,35 R 0,4 [ $\sigma$ ] <sub>p</sub>
Титанові сплави		Визначається згідно галузевих стандартів шляхом випробування						

Примітка:  $R$  і  $[\sigma]_p$  - відповідно розрахунковий опір і граничні напруження для основного металу.

### 2.7.3. Опір навантаженню з'єднань зі стиковими швами

Як було вже показано, з точки зору забезпечення опору з'єднання експлуатаційному навантаженню, воно повинне відповідати умові міцності. Для скорочення запису складання відповідної умови міцності прийемо методику за граничними напруженнями. Розглянемо три варіанти навантаження зварних з'єднань: осьовою силою, моментом та одночасно силою і моментом.

Навантаження має статичний характер. Як уже було розглянуто, за статичного навантаження концентрація напружень до уваги не приймається. Приймається також, що руйнування буде мати місце по металу зварного шва.

Залежно від того, як взаємно орієнтовані стиковий шов і зусилля, стиковий шов може руйнуватися під впливом нормальних (рис.2.36,а,г) дотичних (рис.2.36,б) та одночасної дії цих напружень (рис.2.36,в).

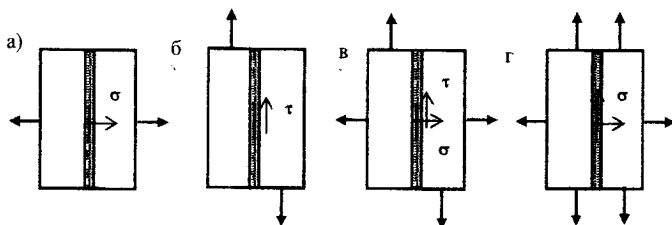


Рис. 2.36. Напружений стан стикових швів

Далі наведені відповідні умови міцності.

*Осьове навантаження* (рис.2.37). В цьому випадку руйнування відбудеться внаслідок нормальних напружень в будь якій точці поздовжнього перерізу шва (всі точки перерізу напружені однаково).

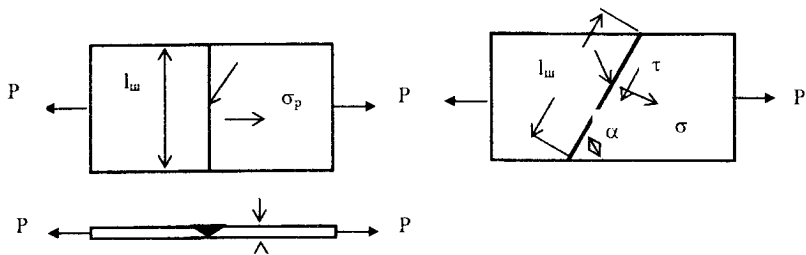


Рис.2.37. З'єднання з прямим швом

Рис.2.38. З'єднання зі швом під кутом

Отже, умова міцності має вигляд

$$\sigma_p \leq [\sigma]^{ЗВ},$$

або

$$\sigma_p = \frac{P}{F_{ш}} = \frac{P}{\delta l_w} \leq [\sigma]^{ЗВ},$$

де  $F_{ш}$  - площа руйнування шва,  $l_w$  - довжина шва,  $\delta$  - товщина шва.

Іноді використовують стикові шви орієнтовані під кутом до лінії дії сили. Тоді в поздовжньому перерізі зварного шва (рис.2.38. діятимуть нормальні й дотичні напруження:

$$\sigma = \frac{P \sin \alpha}{\delta l_w}; \quad \tau = \frac{P \cos \alpha}{\delta l_w}.$$

Тоді умова міцності

$$\sigma_{екв.} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]^{ЗВ}$$

Якщо діють сили, як показано на рис.2.39. ( без урахування моменту) руйнування буде наслідком дотичних напружень.

$$\tau_p = \frac{P}{F_{ш}} = \frac{P}{\delta l_w} \leq [\tau]^{ЗВ}$$

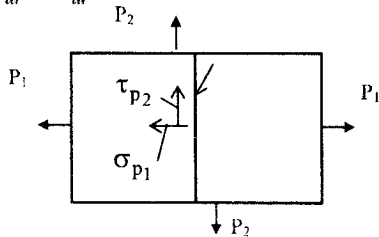
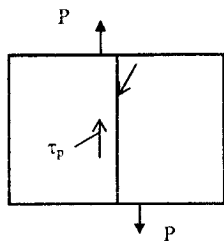


Рис. 2.39. Навантаження на зріз

Рис.2.40. Навантаження на зріз і відрив

В разі одночасної дії сил в двох напрямках (рис.2.40.) у зварному шві діятимуть як нормальні, так і дотичні напруження. Тому умова міцності має вигляд

$$\sigma_{\text{екв.}} = \sqrt{\sigma_{p1}^2 + 3\tau_{p2}^2} \leq [\sigma]^{зв}$$

У випадку дії сил як показано на рис 2.41. (сила  $P_2$  прикладена по осі шва) в металі зварного шва будуть діяти нормальні напруження у двох напрямках, тобто має місце плоский напружений стан і тоді умова міцності :

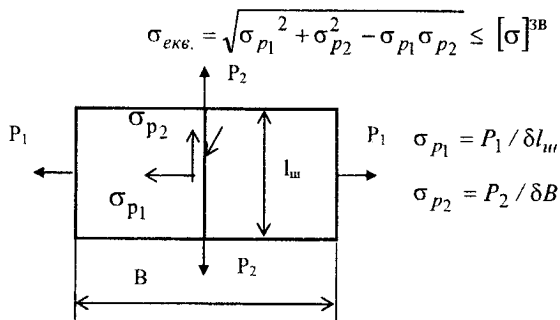


Рис.2.41. Двоосне навантаження

*Навантаження моментом (рис.2.42.). Під дією моменту у зварному шві*

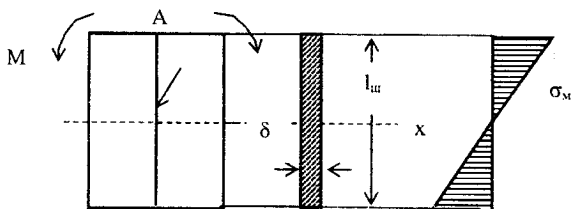


Рис.2.42. Навантаження моментом

утворюються нормальні напруження, нерівномірно розподілені по довжині шва.

Максимальні напруження діють в точці А. Тоді умова міцності буде:

$$\sigma_{\text{M}}^{\text{max}} = \frac{M}{W_{\text{ш}}} = \frac{6M}{\delta l_{\text{ш}}^2} \leq [\sigma]^{зв}$$

де  $\sigma_M^{\max}$  - максимальні напруження від моменту;  $\sigma_M^{\max} = M / W_{ш}$ ;  $W_{ш}$  - осьовий момент опору перерізу шва, що руйнується відносно осі  $x$  (прямокутник довжиною  $l_{ш}$  і шириною  $\delta$ );  $W_{ш} = \delta l_{ш}^2 / 6$ .

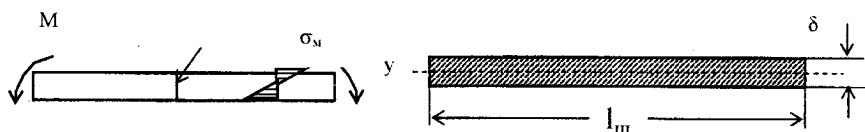


Рис. 2.43.. Напруження від згину

Для зварного з'єднання навантаженого як вказано на рис.2.43. умова міцності приймає вид:

$$\sigma_M^{\max} = \frac{M}{W_{ш}} = \frac{6M}{\delta^2 l_{ш}} \leq [\sigma]^{зе}$$

де  $W_{ш}$ - осьовий момент опору перерізу шва відносно осі  $y$ .

Навантаження силою і моментом (рис.2.44.). Аналізуючи навантаження і використовуючи принцип незалежності дії сил, необхідно в першу чергу визначити, які напруження виникають окремо від дії сили та моменту.

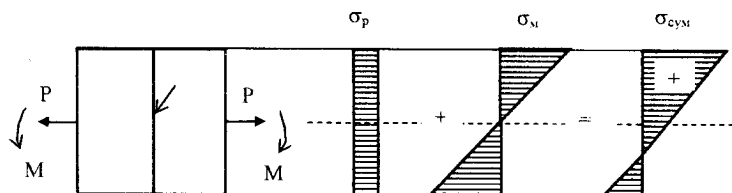


Рис. 2.44. Навантаження силою відрива та моментом

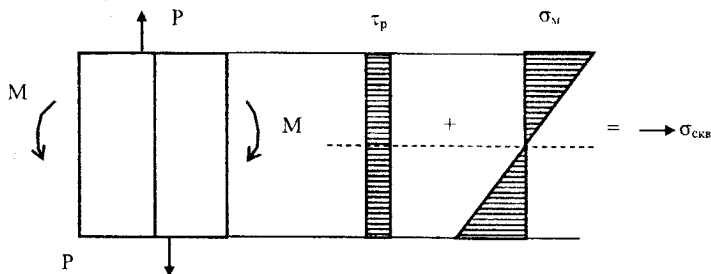


рис. 2.45. Навантаження силою зрізу та моментом

В даному випадку від сили і моменту діятимуть нормальні напруження. Це означає, що умову міцності необхідно записати за нормальними напруженнями

$$\sigma_{\text{сум}} \leq [\sigma]^{ЗВ}$$

де  $\sigma_{\text{сум}}$  - сумарні напруження від дії сили і моменту,  $\sigma_{\text{сум}} = \sigma_p + \sigma_m$ ;  $\sigma_p$  - нормальні напруження від сили  $P$ ,  $\sigma_p = P/l_{\text{ш}} \delta$ ;  $\sigma_m$  - нормальні напруження від моменту,  $\sigma_m = 6M/\delta l_{\text{ш}}^2$ . Отже,

$$\sigma_p + \sigma_m \leq [\sigma]^{ЗВ}$$

Якщо навантаження викликає нормальні та дотичні напруження (рис.3.13), умову міцності треба записати за еквівалентними напруженнями

$$\sigma_{\text{екв.}} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_p^2} \leq [\sigma]^{ЗВ}$$

#### 2.7.4. Опір навантаженню зварних з'єднань з кутовими швами

Кутові шви використовуються в основному для створення напусткових і таврових зварних з'єднань.

Основними факторами, що впливають на міцність кутового шва слід виділити два – орієнтацію шва відносно напрямку зусилля, що діє на зварне з'єднання та площу перетину кутового шва, що руйнується з урахуванням механічних властивостей металу шва.

В залежності від орієнтації шва відносно напрямку зусилля, діючого на зварне з'єднання, розглядають зварні з'єднання з лобовим швом (зусилля перпендикулярно осі шва, рис.2.46,а) і з'єднання з фланговими швами (зусилля вздовж осі шва, рис. 2.46,б.). Розглянемо напружений стан кутових швів відповідно навантажень.

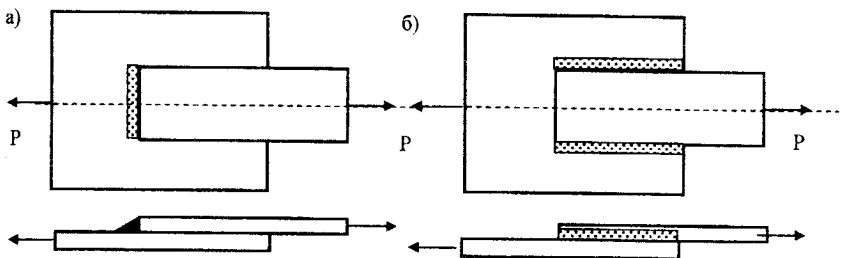


Рис. 2.46. З'єднання з лобовими і фланговими швам  
а – лобовий шов; б – флангові шви



*Фланговий шов.* Щоб оцінити напружений стан кутового флангового шва розглянемо шляхи можливого його руйнування. Аналізуючи силову ситуацію, що утворюється в металі зварного шва (рис. 2.47.), визначаємо три можливих перерізу ймовірного руйнування: по площинам 1 і 3 ( $F_1 = F_3 = Kl_{ш}$ ) і по площині 2, яка проходить через бісектрису прямого кута шва ( $F_2 = hl_{ш}, h = K \sin 45^\circ = 0,7K$ , тому  $F_2 = 0,7Kl_{ш}$ ).

Розглянемо напружений стан кутових швів відповідно навантажень.

На площинах руйнування  $F_1, F_2, F_3$  утворюються дотичні напруження  $\tau$ .

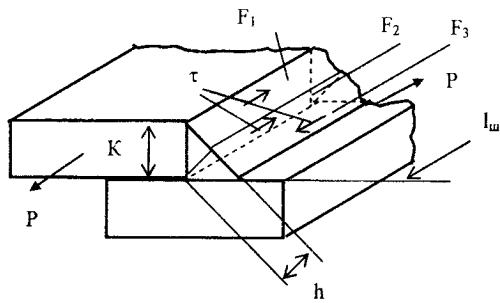


Рис. 2.47. Напружений стан флангового шва

Визначимо напруження на відповідних площинах:

$$\tau_1 = \tau_3 = P/Kl_{ш}, \quad \tau_2 = P/0,7Kl_{ш}.$$

Порівнюючи значення напружень визначаємо, що найбільша ймовірність руйнування флангового шва буде мати місце по перерізу 2, оскільки  $\tau_2 > \tau_1$ .

*Лобовий шов.* В лобовому шві внаслідок дії сили існує три перерізи ймовірного руйнування  $F_1, F_2, F_3$  (рис. 2.48,а)

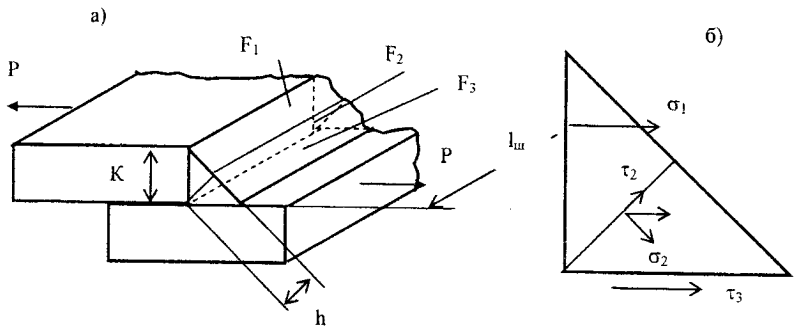


Рис. 2.48. Напружений стан лобового шва

В перерізі  $F_1$  діють нормальні напруження (рис.2.48, б.)

$$\sigma_1 = P/F_1 = P/Kl_{\text{ш}} .$$

Приймаючи  $\sigma_1 = [\sigma]^{ЗВ}$ , підрахуємо максимальне значення руйнуючої сили для цього перерізу:

$$P_1^{\text{max}} = Kl_{\text{ш}} [\sigma]^{ЗВ}$$

В перерізі 3 діють тільки дотичні напруження

$$\tau_3 = P/F_3 = P/Kl_{\text{ш}}$$

Максимальне значення руйнуючої сили для цього перерізу:

$$P_3^{\text{max}} = Kl_{\text{ш}} [\tau]^{ЗВ}$$

$$P_3^{\text{max}} = Kl_{\text{ш}} [\tau]^{ЗВ}$$

В перерізі 2 одночасно діють нормальні і дотичні напруження

$$\sigma_2 = P \sin 45^\circ / F_2 = P \sin 45^\circ / hl_{\text{ш}} .$$

$$\tau_2 = P \cos 45^\circ / F_2 = P \cos 45^\circ / hl_{\text{ш}}$$

Для кута  $45^\circ$  значення  $\sin$  і  $\cos$  однакові тому:

$$\sigma_2 = \tau_2 = \frac{P\sqrt{2}}{2hl_{\text{ш}}}$$

Визначимо максимальну допустиму інтенсивність напружень якщо одночасно діють нормальні і дотичні напруження

$$\sigma_{екв.} = \sqrt{\sigma_2^2 + 3\tau_2^2} = \sqrt{4\left(\frac{P\sqrt{2}}{2hl_{ш}}\right)^2} = [\sigma]^{36}$$

Знайдемо максимальне значення руйнуючої сили:

$$\frac{P_2^{max} \sqrt{2}}{hl_{ш}} = \frac{1,4P_2^{max}}{hl_{ш}} = [\sigma]^{36}$$

Розділивши чисельник і знаменник на 1,4 отримаємо

$$\frac{P_2^{max}}{0,7hl_{ш}} = [\sigma]^{36},$$

або приймаючи, що  $[\tau]^{36} = 0,7 [\sigma]^{36}$  і  $h = 0,7K$  отримуємо

$$P_2^{max} = hl_{ш} 0,7 [\sigma]^{36} = 0,7K l_{ш} [\tau]^{36};$$

Порівнюючи максимальні значення руйнуючих сил ( $P_2^{max} < P_3^{max} < P_1^{max}$ ), робимо висновок, що найбільша ймовірність руйнування кутового флангового шва буде мати місце по перерізу  $F_2$ . Отже, на основі аналізу напруженого стану кутових швів прийняли:

1).при проведенні розрахунків на міцність кутових швів вважати, що їх руйнування має місце по площині, яка проходить через бісектрису прямого кута шва. Площа руйнування  $F_p = h l_{ш}$ . Оскільки площа руйнування залежить від глибини проварювання кутового шва  $h$  ( $h_2 > h_1$ ) (рис.2.49.)

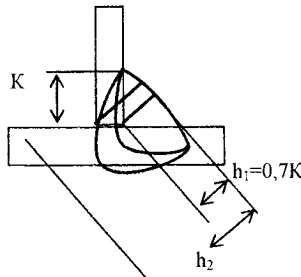


Рис. 2.49.Глибина проварювання кутового шва

то в загальному вигляді замість параметру 0,7K записують параметр  $\beta K$ , де  $\beta$  - коефіцієнт в залежності від глибини проварювання ( $\beta = 0,7 \dots 0,9$ ), тобто  $F_p = \beta K l_{ш}$ .

2).при проведенні розрахунків на міцність кутових швів вважати, що флангові кутові шви руйнуються внаслідок дії дотичних напружень, а руйнування лобових кутових швів відбувається внаслідок нормальних і дотичних напружень, але представляти ( для уніфікації форми запису ) умову міцності через дотичні напруження.

*З'єднання напукткове з лобовим швом. Осьове навантаження (рис.2.50).*

Як вже було показано, умову міцності для кутових швів потрібно складати

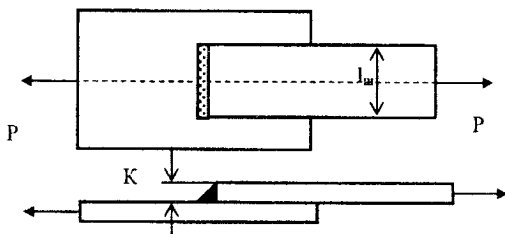


Рис 2.50. Навантаження осьовою силою

за дотичними напруженнями, тобто

$$\tau_p \leq [\tau]^{ЗВ}$$

Оскільки діє осьова сила приймаємо, що напруження в перерізі шва розподілені рівномірно по довжині

$$\tau_p = \frac{P}{F_p} = \frac{P}{\beta K l_{\text{ш}}} \leq [\tau]^{ЗВ}$$

Якщо з'єднання матиме два лобових шва, умова міцності буде

$$\tau_p = \frac{P}{2F_p} = \frac{P}{2\beta K l_{\text{ш}}} \leq [\tau]^{ЗВ}$$

*Навантаження моментом (рис.2.51).* Враховуючи загальну формулу для

напруження від дії моменту, розподіл дотичних напружень по

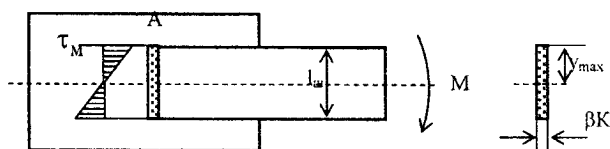


Рис.2.51. Навантаження моментом

довжині шва визначається залежністю

$$\tau_M = \frac{M}{I_{ш}} y \leq [\tau]^{зв}$$

де  $I_{ш}$  – момент інерції перерізу шва, що руйнується.

Найбільше значення напружень буде в точці А ( $y = y_{\max}$ ), для якої умова міцності приймає вид :

$$\tau_M = \frac{M}{W_{ш}} \leq [\tau]^{зв}$$

де  $W_{ш}$  – момент опору перерізу шва (прямокутник розмірами  $\beta K l_{ш}$ ),  $W_{ш} = \beta K l_{ш}^2 / 6$ , і тому

$$\tau_M = \frac{M}{W_{ш}} = \frac{6M}{\beta K l_{ш}^2} \leq [\tau]^{зв}$$

Для з'єднання з двома швами

$$\tau_M = \frac{M}{2W_{ш}} = \frac{3M}{\beta K l_{ш}^2} \leq [\tau]^{зв}.$$

Одночасна дія сили та моменту (рис.2.52.) Оскільки діють два силових фактори і від кожного з них утворюються відповідні дотичні напруження  $\tau_p$  і  $\tau_M$ , то умову міцності треба записати як

$$\tau_{\text{сум}} \leq [\tau]^{зв}$$

де  $\tau_{\text{сум}}$  - сумарні напруження від осової сили  $\tau_p$  та моменту  $\tau_M$ .

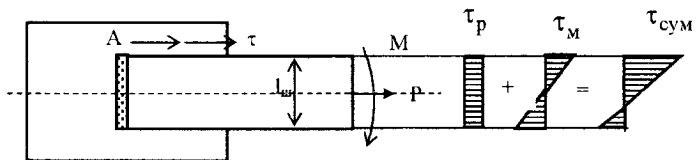


Рис. 2.52. Навантаження осовою силою і моментом

Напруження  $\tau_p$  і  $\tau_M$ , підраховуються, як це було вказано вище. Лишається з'ясувати, якою повинна бути сума. Для цього треба зробити аналіз напрямку дій

напружень. Напруження  $\tau_p$  співпадає з напрямком дії сили  $P$  (рис.2.52.). При повороті внаслідок дії моменту  $M$  у точці  $A$  (де діють найбільші напруження), напрямок напруження  $\tau_M$ , буде збігатися з напрямком дії напруження  $\tau_p$ . Отже, сумарні напруження становитимуть

$$\tau_{\text{сум}} = \tau_p + \tau_M.$$

Розглянемо ще один приклад (рис.2.53.). Сила  $P$  викликає одночасно дію як від осьової сили, так і від моменту, тобто

$$\tau_{\text{сум}} \leq [\tau]^{3B}$$

Але на відміну від попереднього випадку, напрямки напружень

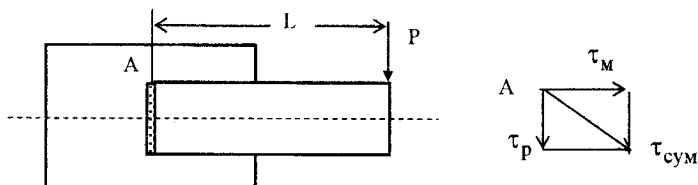


Рис. 2.53. Схема напружень

відрізняється -- від дії сили напрямок напружень  $\tau_p$  збігається з напрямком дії сили  $P$  (рис.3.24.), а від дії моменту - як і в попередньому випадку. Отже,

$$\text{сумарне напруження } \tau_{\text{сум}} = \sqrt{\tau_p^2 + \tau_M^2}$$

*З'єднання напункове з фланговими швами. Осьове навантаження* (рис.2.54.). В кутовому шві руйнування відбувається в наслідок дії дотичних напружень, тому  $\tau_p \geq [\tau]^{3B}$

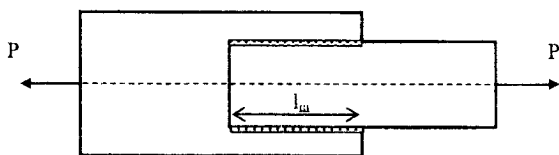


Рис. 2.54. Навантаження осьовою силою

Оскільки діє осьова сила

$$\tau_p = \frac{P}{2F_{\text{ш}}} = \frac{P}{2\beta K l_{\text{ш}}} \leq [\tau]^{ЗВ}$$

Навантаження моментом (рис.2.55). В цьому випадку приймаємо, що у зварних швах діятиме реактивний момент  $M_{\text{реак.}} = M$

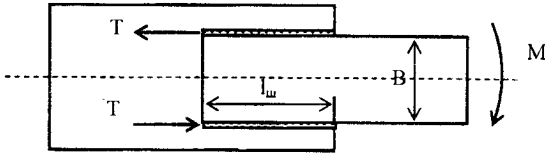


Рис. 2.55. Навантаження моментом

У свою чергу реактивний момент можна подати як пару сил  $T$ , помножених на плече  $B$ , тобто  $M_{\text{реак.}} = T B$ . Сила  $T = M_{\text{реак.}} / B$  (при  $B \gg K$ ). Сила  $T$  діє окремо на кожний шов як осьова сила, і тому умова міцності має вигляд

$$\tau_m = \frac{T}{F_{\text{ш}}} = \frac{T}{\beta K l_{\text{ш}}} = \frac{M}{B\beta K l_{\text{ш}}} \leq [\tau]^*$$

Навантаження силою та моментом (рис.2.56). Оскільки в швах напруження утворюються від дії двох силових факторів  $P$  і  $M$ , то

$$\tau_{\text{сум}} \leq [\tau]^{ЗВ}$$

Окремо від сили  $P$  і моменту  $M$  напруження визначаються як і в попередніх випадках. Залишається визначити, якою буде  $\tau_{\text{сум}}$ .

Аналізуючи дію сили  $P$  і моменту  $M$ , бачимо, що для шва  $l$  напрямком напружень, які вони спричиняють, збігається, тому  $\tau_{\text{сум}} = \tau_p + \tau_m \leq [\tau]^{ЗВ}$

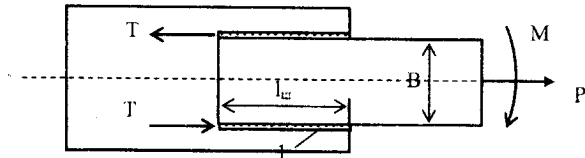


Рис. 2.56. Навантаження осьовою силою і моментом

*Комбіновані напунктові з'єднання. Осьове навантаження (рис.2.57).*

Розраховуючи міцність такого з'єднання, приймають, що напруження у всіх швах однакові, тоді площа, яка руйнується  $F = F_{\text{л}} + 2 F_{\text{ф}} = \beta K (l_{\text{л}} + 2l_{\text{ф}})$ .

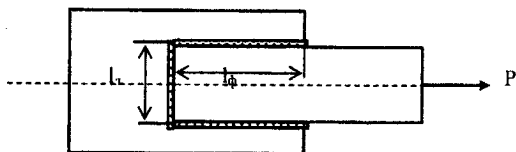
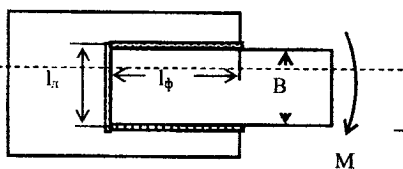


Рис.2.57. Навантаження осьовою силою

Умова міцності

$$\tau_p = \frac{P}{\beta K (l_{\text{л}} + 2l_{\text{ф}})} \leq [\tau]^{рв}$$

*Навантаження моментом (рис.2.58.).* Насамперед припустимо, що напруження у всіх швах однакові. Діючий момент сприйматиметься як лобовим, так і фланговим швами, тобто  $M = M_{\text{л}} + M_{\text{ф}}$ . Підрахуємо, чому дорівнюють ці моменти за умови, що напруження однакові за відповідними формулами і просумуємо.



$$M_{\text{л}} = \tau \beta K l_{\text{л}}^2 / 6$$

+

$$M_{\text{ф}} = \tau B \beta K l_{\text{ф}}$$

---


$$M = \tau \beta K l_{\text{л}}^2 / 6 + \tau B \beta K l_{\text{ф}}$$

Рис.2.58. Навантаження моментом



Розрахункові дотичні напруження

$$\tau_M = \frac{M}{\beta K I_D^2 / 6 + \beta \beta K I_\phi} \leq [\tau]^{зв}.$$

Можлива й інша ситуація (рис.2.59. ) В цьому випадку неможливо розподілити діючий момент між лобовим і фланговим швами.

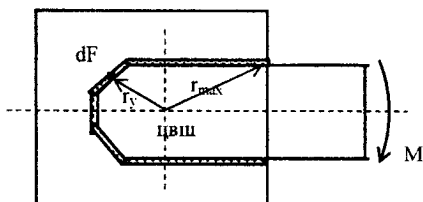


Рис. 2.59. Схема розрахунку згідно полярного моменту інерції

Розв'язання буде таким. На відстані  $r_y$  від центра ваги швів (ц.в.ш) візьмемо елементарну площадку площею  $dF$ , на якій діє напруження  $\tau_y$ . Тоді елементарний момент  $dM$ , який сприймається цією площадкою, буде  $dM = \tau_y dF r_y$ . Прийmemo наступний закон зміни напружень залежно від відстані  $r$ :

$$\frac{\tau_1}{r_1} = \frac{\tau_y}{r_y} = \frac{\tau_{max}}{r_{max}}.$$

де  $r_1$  - відстань, яка дорівнює одиниці. Тоді  $dM = \tau_1 r_y^2 dF$ . Загальний момент, який сприймається всіма швами

$$M = \tau_1 \int_F r_y^2 dF$$

Інтеграл  $\int_F r_y^2 dF = I_p$ ,

де  $I_p$  - полярний момент інерції швів.

Отже

$$M = \tau_1 I_p$$

Оскільки необхідно визначити максимальні значення напружень, то замість  $\tau_1$ , необхідно, відповідно до прийнятого закону, записати  $\tau_1 = \tau_{max} / r_{max}$ .

Тоді  $M = \tau_{\max} / r_{\max} I_p$ , а розрахункові напруження дорівнюватимуть

$$\tau_{\max} = \frac{M}{I_p} r_{\max} \leq [\tau]^{зв}$$

В разі одночасної дії сили й моменту необхідно аналізувати напрямки дії відповідних напружень у кожному шві й брати їх відповідну суму.

**Таврові з'єднання.** Розрахунок міцності таврових з'єднань виконується залежно від виду підготовки крайок. Якщо з'єднання без розкриття крайок, воно формується кутковими швами і обчислення міцності

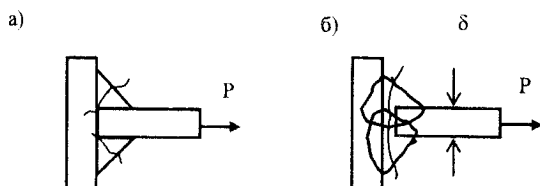


Рис. 2.60. Площини руйнування таврових з'єднань

а – без розкриття крайок; б – з розкриттям крайок

не відрізняється від методики розрахунку напругових з'єднань, тобто за дотичними напруженнями  $\tau_p = P / 2\beta K_1 l_{ш}$  (рис 2.60,а). Якщо є розкриття крайок, то у цьому випадку змінюється площа руйнування і обчислення міцності треба проводити за нормальними  $\sigma_p = P / \delta l_{ш}$ , або дотичними напруженнями  $\tau_p = P / \delta l_{ш}$  в залежності від схеми навантаження (рис. 2.60,б).

### 2.7.5. Опір навантаженню зварних з'єднань при контактному зварюванні

**З'єднання при стиковому зварюванні.** Контактне стикове зварювання застосовується в різних конструкціях. Особливо ефективно її застосування при зварюванні виробів у масовому виробництві, наприклад арматури залізобетону, конструкцій рам, подовжніх швів труб. Добре зварюються конструкції з низьковуглецевих, і деяких високолегованих сталей із площею поперечного перерізу до декількох сотень квадратних сантиметрів.

Контактним способом одержують стикові з'єднання елементів із круглими, квадратними, прямокутними, трубчастими, профільними перетинами (кутовики,

таври, рейки). Зі збільшенням периметра деталі і зменшенням її товщини процес зварювання ускладнюється. Найкраще з'єднуються елементи однакового поперечного перерізу. Діаметри елементів круглого перетину, що з'єднуються, а також товщини стінок труб по можливості не повинні відрізнятися друг від друга більш ніж на 15%. Площа поперечних перерізів деталей, що зварюються контактним способом, наближається до  $1000 \text{ см}^2$ .

Спеціальний розрахунок міцності стиків, отриманих контактним способом і працюючих під статичним навантаженням, не проводять. Міцність стику відповідає міцності самого елемента.

**З'єднання при точковому зварюванні.** У більшості випадків точковим зварюванням виготовляють вироби за умови розташування електродів із двох сторін щодо частин, що зварюються. Це висуває певні вимоги до габариту конструкцій. Розроблено установки, що дозволяють робити точкове зварювання при однобічному розташуванні обох електродів. Точковим контактним зварюванням найчастіше з'єднують елементи, що мають малі товщини — від часток до декількох міліметрів. Добре зварюються міцні і високоміцні сталі, різні сплави, зокрема алюмінієві і титанові. Не рекомендується допускати точкові з'єднання елементів, відношення товщин яких більше 3. Точковим зварюванням можна зварювати також три і більш деталей. При цьому елемент більшої товщини варто укласти між двома іншими.

Точкові зварні з'єднання характеризуються наступними параметрами (рис. 2.61.):  $d$  — діаметр точки;  $t$  — крок точки;  $t_1$  — відстань від центра зварної точки до краю деталі в напрямку дії сили  $P$ ;  $t_2$  — відстань від точки до вільного краю в напрямку, перпендикулярному дії сили  $P$  ( $t_1$  і  $t_2$  нормуються з урахуванням технологічних і силових факторів).

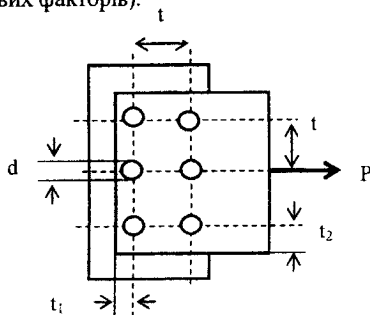


Рис.2.61. Точкове з'єднання

Відстань між центрами точок у з'єднанні повинна бути не меншою деякого граничного розміру в наслідок шунтування струму через раніше зварену точку. Чим більша відстань між звареними точками, тим менше шунтування струму, отже, стабільніше і кращі результати зварювання. Діаметр точки  $d$  призначається в залежності від товщини елементів, що з'єднуються, з урахуванням забезпечення високоякісного технологічного процесу. Для сталевих деталей рекомендується  $d=1,25\delta+4$  мм при  $\delta \leq 1,5 \dots 3,0$  мм;  $d=1,5\delta+5$  мм при  $\delta > 3$  мм ( $\delta$  — найменша товщина частин, що зварюються.). Можна приймати  $t=3d$ ,  $t_1=2d$ ,  $t_2=1,5d$ . На практиці іноді використовують співвідношення між  $t$ ,  $\delta$  і  $d$ :

$$d=1,4\sqrt{0,01t^2 + t\delta} - 0,1t$$

Точки в зварному з'єднанні варто розташовувати таким чином, щоб вони сприймали переважно зусилля зрізу, а не відриву.

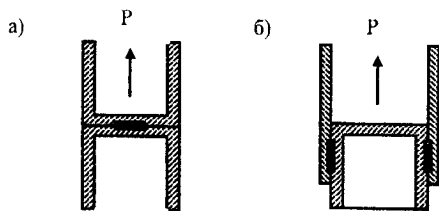


Рис. 2.62. Нераціональна (а) і раціональна (б) конструкція точкового з'єднання

На рис.2.62,а показана нераціональна конструкція (точки в ній працюють на відрив); на рис.3.43, б --- раціональна.

*Осьове навантаження.* У з'єднаннях, зображених на рис.2.63. розрахунок міцності проводиться на зріз. Зварні точки можуть бути однозрізними (рис.2.63, а) і двозрізними (рис. 2.63, б).

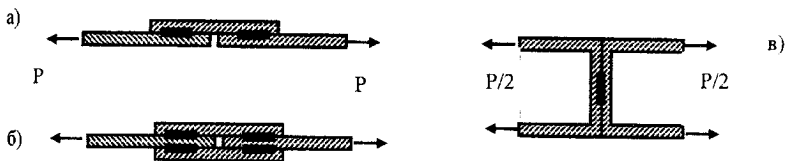


Рис. 2.63. Види точкових з'єднань  
а — однозрізні; б — двозрізні; в — на відрив

Розрахункові напруження в однозрізній точці точкового шва при умові припущення, що всі точки працюють рівномірно визначаються як:

$$\tau_p = \frac{P}{nF_m} = \frac{4P}{n\pi d^2} \leq [\tau]^{3\sigma}$$

у двозрізній точці

$$\tau_p = \frac{P}{n2F_m} = \frac{2P}{n\pi d^2} \leq [\tau]^{3\sigma}$$

де  $F_m$  - площа зрізу точки  $F = \pi d^2 / 4$ ;  $d$  - діаметр точки;  $P$  - зусилля, передане на одну точку,  $n$  - кількість точок

При роботі зварної точки на відрив, наприклад у конструкції, зображеній на рис. 2.63.в, розрахункове напруження буде

$$\sigma_p = \frac{4P}{n\pi d^2} \leq [\sigma]^{3\sigma}$$

Граничні напруження для точкових з'єднань при відриві  $[\sigma]^{3\sigma}$  варто приймати нижчими, ніж граничні напруження на зріз  $[\tau]^{3\sigma}$ . Для легованих сталей і кольорових сплавів граничні напруження для точкових з'єднань приймають на основі результатів експериментів з урахуванням умов навантаження й інших факторів.

*Навантаження моментом* (рис.2.64.). Точки працюють на зріз і кожна з них сприймає якусь частину моменту  $M$ .

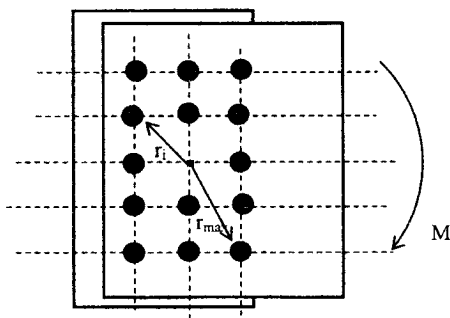


Рис.2.64. Навантаження моментом багатоточкового з'єднання

Візьмемо якусь  $i_{ty}$ - точку на відстані  $r_i$  від центра ваги точок. Нехай у ній діють напруження  $\tau_i$ . Визначимо, яку частку моменту вона сприймає:

$$M_i = \frac{\pi d^2}{4} r_i \tau_i$$

Прийmemo закон зміни напружень залежно від  $r$ , як

$$\frac{\tau_1}{r_1} = \frac{\tau_i}{r_i} = \frac{\tau_{max}}{r_{max}}$$

Виразимо  $\tau_i$  через  $\tau_1$  отримаємо

$$M_i = \frac{\pi d^2}{4} \tau_1 r_i^2$$

Щоб обчислити загальний момент, який сприймають усі точки, треба взяти суму від 1 до  $n$ , тобто

$$M = \frac{\pi d^2}{4} \tau_1 \sum_1^n r_i^2$$

Враховуючи, що  $\tau_1 = \tau_{max} / r_{max}$  маємо

$$M = \frac{\pi d^2}{4} \frac{\tau_{max}}{r_{max}} \sum_1^n r_i^2,$$

або 
$$\tau_{max} = \frac{M}{\frac{\pi d^2}{4} \sum_1^n r_i^2} r_{max} \leq [\tau]^{36}$$

де  $n$  - кількість точок;  $r_i^2$  - квадрат відстані від центра ваги точок до відповідної  $i_{toi}$ - точки;  $r_{max}$  - найбільша відстань від точки до центра ваги точок.

Таким чином обчислюють міцність, якщо кількість точок більша одиниці.

Для однієї точки умова міцності має вигляд (рис.2.65.)

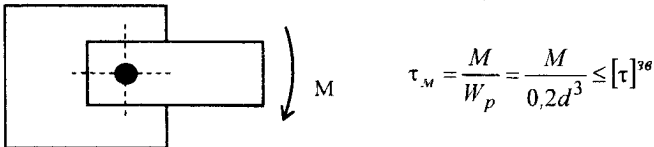


Рис.2.65 . Навантаження моментом однотоочевого з'єднання

де  $W_p$  - полярний момент інерції точки (точка в цьому випадку працює на кручення).

**З'єднання при шовному зварюванні.** Шовне контактне зварювання допускає можливість з'єднання елементів від дуже малих товщин до сумарної товщини 4...6мм. сталей і кольорових сплавів. При шовному зварюванні між елементами, що з'єднуються, утвориться шов шляхом постановки ряду точок, що частково перекриваються.(рис.2.66.)

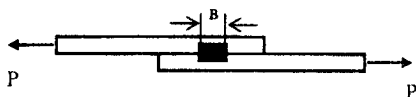


Рис.2.66. З'єднання при шовному зварюванні

Оскільки елементи, що зварюються шовним зварюванням, мають малі товщини, вплив згинаючого моменту незначний і його при розрахунку міцності не враховують.

Напруження у швах при шовному зварюванні визначають за умовою зрізу

$$\tau_p = P / вl_{ш}.$$

де  $P$  — сила, що діє в з'єднанні;  $в$  — ширина шва;  $l_{ш}$  — довжина шва.

## 2.8. Зображення та позначання зварних швів на кресленнях

**Зображення.** Всі стандартні зварні шви, не залежно від способу зварювання, умовно зображають суцільною основною лінією, якщо шов видимий, і штриховою лінією, якщо шов невидимий (рис.2.67.).

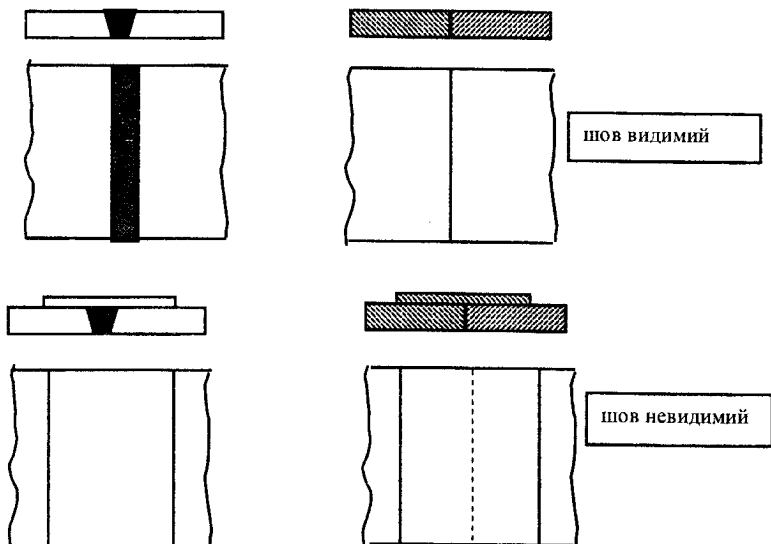


Рис.2.67. Зображення зварних швів

Видима поодинокі зварна точка зображується знаком“ + “, який виконують суцільною основною лінією. Невидима точка не показується. В разі зображення багат шарового шва коли є необхідність вказати послідовність виконання шарів, дозволяється наносити контури окремих шарів. ( рис.2.68.)



Рис.2.68. Зображення багат шарового шва

Нестандартні зварні шви зображують з позначенням усіх конструктивних елементів, необхідних для виконання шва. При цьому межі шва зображують суцільною основною лінією, а конструктивні елементи окрайок у межах шва -- суцільною тонкою лінією.



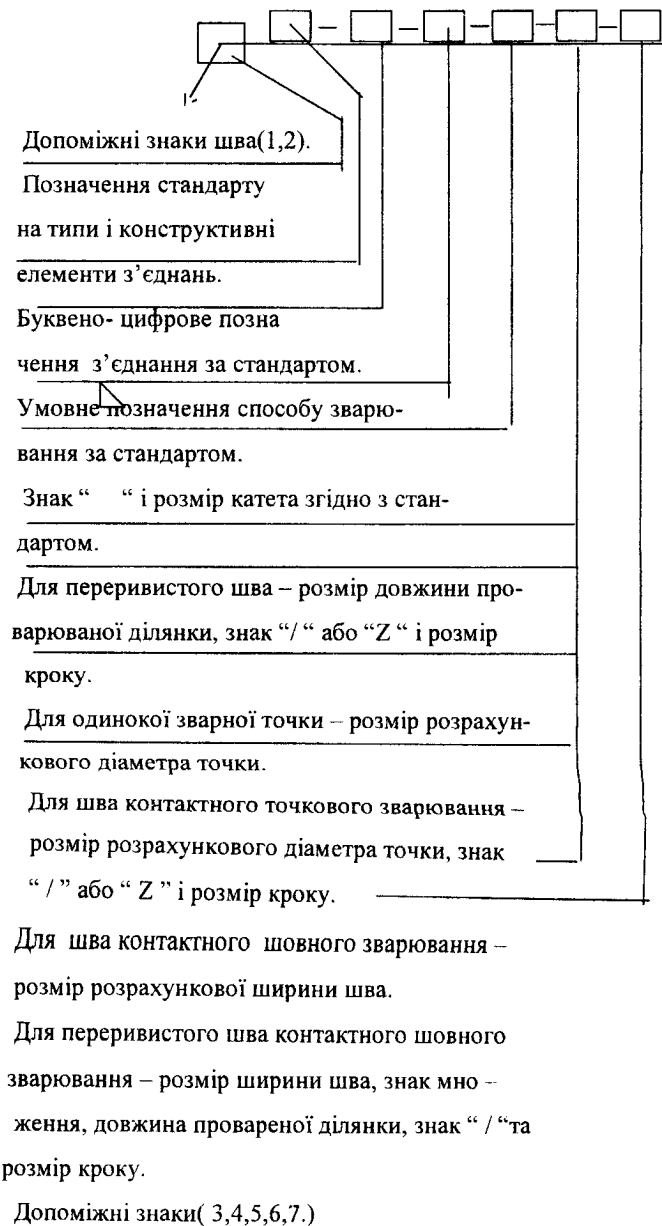


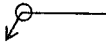
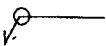
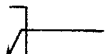
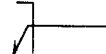
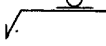
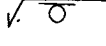
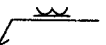

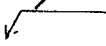
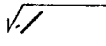
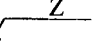
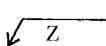
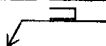
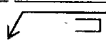
Рис. 2.69. Схема умовного позначення зварних швів та з'єднань.

*Позначання.* Позначення зварних швів і з'єднань виконується таким чином. Від зображення шва проводять лінію-виноску, яку закінчують односторонньою стрілкою. Лінія – виноска призначена для напису умовного позначення зварного з'єднання. Структура умовного позначення наведена на схемі рис.2.69.

Умовне позначення треба наносити на полиці, якщо вона проведена від лицевої сторони шва, і під полицею, якщо проведена від зворотної сторони. За лицеву сторону приймають ту, на якій виконується зварний шов. Якщо на кресленні є декілька однотипних швів, то умовне позначення пишуть один раз, а на стрільці записують його номер та їх кількість на даному кресленні (наприклад, 5№1).

Для інших однотипних швів на полиці ставлять тільки відповідний номер шва. Буквені позначення дугового зварювання і ручного дугового зварювання на кресленні не проставляють.

Таблиця 2.5. Допоміжні знаки.

Номер знака	Знак	Значення допоміжного знака	Розміщення знака	
			з лицевого боку	із зворотнього боку
1	○	Шов по замкненій лінії		
2	└	Шов виконати на монтажї		
3	○	Випуклість шва зняти		
4	~	Напливи і нерівності шва обробити.		
5	/	Шов переривистий чи точковий, ланцюговий.		
6	Z	Шов переривистий чи точковий, шаховий.		
7	≡	Шов по незамкненій лінії.		

Буквені позначення інших способів зварювання на кресленні проставляють тільки у випадку, якщо використовуються декілька способів зварювання. При використанні одного способу зварювання його вказують в технічних вимогах на кресленні

При наявності на кресленні швів, що виконуються за одним стандартом, його вказують тільки в технічних вимогах креслення. Якщо на кресленні всі шви однакові, то їх позначають лінією – виноскою без полиці.

*Допоміжні знаки.* Структура позначення передбачає використання допоміжних знаків, які наведені в таблиці 2.5.

*Позначення стандарту на типи і конструктивні елементи зварних з'єднань.* Позначення стандарту виконується шляхом написання на полиці назви документа та його номеру, наприклад, ГОСТ 5264– 80 (або ДСТУ)

Таблиця 2.6. Перелік стандартів на основні типи зварних з'єднань для різних способів зварювання.

СТАНДАРТ	НАЙМЕНУВАННЯ
ГОСТ 5264-80	Ручне дугове зварювання
ГОСТ 8713-79	Дугове зварювання під флюсом.
ГОСТ 14771-76	Дугове зварювання у захисних газах
ГОСТ 14776-79	Дугове зварювання. З'єднання зварні точкові
ГОСТ14806-80	Дугове зварювання алюмінію і алюмінієвих сплавів в інертних газах.
ГОСТ 15164-78	Електрошлакове зварювання.
ГОСТ 15878-79	Контактне зварювання.
ГОСТ 16037-80	Дугове зварювання сталевих трубопроводів.
ГОСТ 16038-80	Дугове зварювання трубопроводів з міді і мідно-нікелевих сплавів.
ГОСТ 16098-80	Дугове зварювання двошарової корозійно-стійкої сталі.

В таблиці 2.6. наведений перелік стандартів на основні типи зварних з'єднань для різних способів зварювання.

*Буквенно-цифрове позначення з'єднання за стандартом.* Стикові з'єднання позначаються - С; таврові-Т; внакладку- Н; кутові – У; нестандартні з'єднання – О ( особливе). Цифри біля букв, наприклад С25, Т3, вказують порядковий номер даного з'єднання у ГОСТі (ДСТУ) на спосіб зварювання.

Умовне позначення способу зварювання за стандартом. Спосіб виконання зварювання позначається буквами: Р – ручне, А – автоматичне, М – механізоване, які пишуться перед умовним позначенням способу зварювання. Дугове зварювання позначається Є; електрошлакове – Ш; в інертних газах неплавким електродом без присадкового металу – ИН; в інертних газах неплавким електродом з присадковим металом – ИНп; в інертних газах і їх сумішах з вуглекислим газом та киснем плавким електродом – ИП; в вуглецевому газі і його суміші з киснем плавким електродом – УП, ультразвукове – Уз; тертям – Тр; холодне – Х; дифузійне – Дф; контактне точкове – Кт; контактне шовне – Кр; контактне стикове – Кс; контактне стикове опором – Ксс; контактне стикове оплавленням – Ксо; електронно-променеве – Єл; лазерне – Лз; вибухом – Вз; плазмове – Пз. Крім того, для автоматичного зварювання прийняті такі позначання: автоматичне зварювання під флюсом без застосування підкладок і підварочного шва – А; : автоматичне зварювання під флюсом на флюсовій подушці –Аф;: автоматичне зварювання під флюсом на сталевій підкладці – Ас;: автоматичне зварювання під флюсом на мідній підкладці – Ам;: автоматичне зварювання під флюсом з попереднім накладання підварочного шва – Апш;: автоматичне зварювання під флюсом з попередньою підваркою кореня шва – Апк. Такі ж самі індекси використовуються і для механізованого зварювання ( Мс, Мпк ). Приклади умовного позначання зварних з'єднань і швів наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7. Приклади умовного позначення зварних з'єднань і швів.

Зварне з'єднання та шов.	Умовне позначення.
Шов таврового з'єднання без розкриття окрайків, з двох сторін, переривчастий з шаховим розташуванням, виконаний дуговим зварюванням в середовищі вуглекислого газу плавким електродом. Катет шва 6 мм. Довжина шва 50мм., крок 100мм. На креслені три однакових шва N1.	ГОСТ14771-75-T5-УП N6-50Z100 3N1
Спрощене зображення однакових швів при умові повного позначання одного з них.	N1
Теж саме, якщо всі шви однакові	✓

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які існують типи зварних з'єднань?
2. Які існують типи зварних швів?
3. Яка особливість температурного стану металу при зварюванні?
4. Через що утворюється механічна неоднорідність зварного з'єднання?
5. До чого призводить механічна неоднорідність?
6. Яка причина конструктивної неоднорідності?
7. До чого призводить конструктивна неоднорідність?
8. Які технологічні заходи впливу на неоднорідність зварних з'єднань?
9. Які заходи впливу на механічну неоднорідність в процесі зварювання?
10. Які заходи впливу на механічну неоднорідність після зварювання?
11. Які заходи впливу на конструктивну неоднорідність в процесі зварювання?
12. Які заходи впливу на конструктивну неоднорідність після зварювання?
13. Які основні технологічні дефекти зварних швів і з'єднань?
14. Що таке статичне навантаження?
15. Що таке циклічне навантаження?

16. Що таке умова міцності?
17. Що таке розрахунковий опір зварного з'єднання?
18. Що таке граничні напруження?
19. Яким чином визначаються значення розрахункового опору для зварного з'єднання?
20. Як руйнуються стикові шви?
21. Як руйнуються кутові шви?
22. Як руйнуються точкові зварні з'єднання?
23. Які правила зображення та позначання зварних швів і з'єднань на кресленнях?
24. Що таке м'який прошарок зварного з'єднання?
25. Що таке твердий прошарок зварного з'єднання?
26. Які основні параметри циклічного навантаження?

### 3. Залишкові напруження від зварювання

#### 3.1 Усадкові процеси під час утворення зварного з'єднання

Внаслідок розвитку під час зварювання складних усадкових процесів у двох напрямках( поздовжньому та поперечному відносно зварного шва ) через нерівномірне нагрівання у зварному з'єднанні утворюються залишкові напруження, деформації та переміщення

Інтенсивність і характер розподілу залишкових напружень свідчить про їх нерівномірність. Розуміння механізму їх утворення є базою для подальшого урахування усадкових процесів під час складання технологічного процесу виготовлення зварного з'єднання. Усадкові процеси дуже складні, залежать від багатьох факторів. Розглянемо ці процеси у спрощеному вигляді, звертаючи увагу в основному на якісну сторону процесу на двох етапах: нагрівання і охолодження.

Як показує розподіл максимальних температур у поперечному перерізі зварного з'єднання за розподілом температур його можна умовно поділити на три зони: дві крайні де метал практично не нагрівався і середню високонагріту до температури  $T \geq 600^{\circ}\text{C}$  . (рис 3.1 )

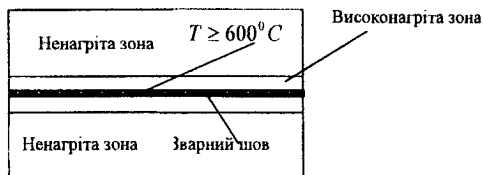


Рис.3.1. Зони нагріву зварного з'єднання

*Усадкові процеси у поздовжньому напрямку.*

*Етап нагрівання.* (рис.3.2.) Якщо умовно вирізати високонагріту зону (відокремити від не нагрітої зони), то буде мати місце її вільна температурна деформація подовження  $\epsilon_{св.}$ . Оскільки будь який супротив зі сторони ненагрітих зон цієї деформації відсутній, деформація подовження реалізується без формування напруження ( внутрішні зусилля відсутні). ( рис. 3.2,а ).

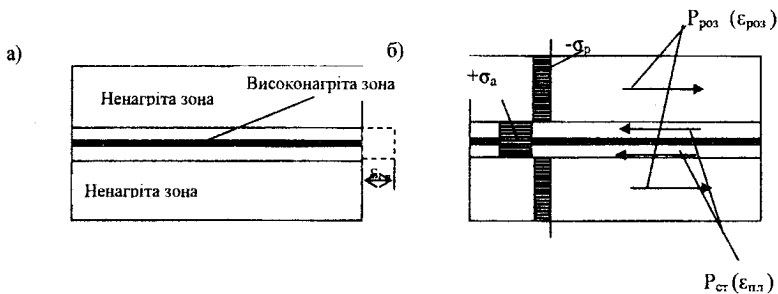


Рис. 3.2. Усадкові процеси в поздовжньому напрямку при нагріванні

а – деформація високонагрітої зони; б – внутрішні зусилля.

Якщо супротив зі сторони ненагрітих зон присутній (відокремлення зон відсутнє), температурна деформація подовження супроводжується виникненням внутрішніх зусиль, а саме: у високонагрітій зоні зусилля стиску, а у ненагрітих зонах – розтягіння. З урахування температури нагріву цих зон, (метал ненагрітих зон знаходиться у пружному стані, а метал високонагрітої у пластичному стані), будуть мати місце відповідні пружні деформації подовження ( $\epsilon_{роз}$ ) та пластичні деформації скорочення ( $-\epsilon_{пл}$ ). У поперечному перерізі зварного з'єднання утворюються відповідні напруження: на ширині високотемпературної зони так звані активні  $\sigma_a$  на рівні межі текучості  $-\sigma_r$ , а на решті ширині так звані реактивні напруження  $+\sigma_p$  (рис. 3.2,б).

*Етап охолодження* Після умовної вирізки високонагрита зона була б скорочена на величину пластичної деформації, що сформувалась на етапі нагріву.(рис. 3.3,а)

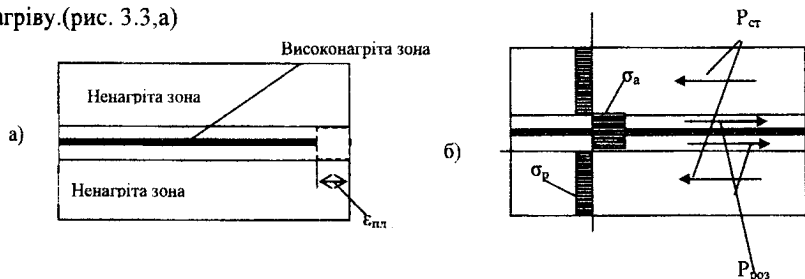


Рис. 3.3. Усадкові процеси в поздовжньому напрямку при охолодженні

а – деформація високонагрітої зони; б – внутрішні зусилля.



Це означає, що підчас охолодження зварного з'єднання ( реакція ненагрітих зон має місце) виникають внутрішні зусилля відповідного напрямку (рис 3.3,б), які після повного охолодження приведуть до утворення у поперечному перерізі високонагрітої зони пластичної деформації скорочення  $\epsilon_{пл}$  ( рис. 3.4.)

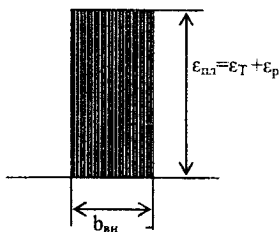


Рис.3 .4. Епюра пластичної деформації скорочення

Через цю залишкову пластичну деформацію з урахування рівноваги внутрішніх зусиль на ширині високонагрітої зони сформуються активні  $\sigma_a$  напруження розтягіння на рівні межі текучості  $+\sigma_T (\epsilon_T)$ , а на решті ширині так звані реактивні напруження стиску  $-\sigma_p (\epsilon_p)$ .(рис.3.3.)

**Усадкові процеси у поперечному напрямку.**

Від пластичної деформації високонагрітої зони. Утворення залишкової пластичної деформації скорочення поперек шва проаналізуємо за спрощеною схемою у випадку зварювання встик двох пластин (рис. 3.5. )

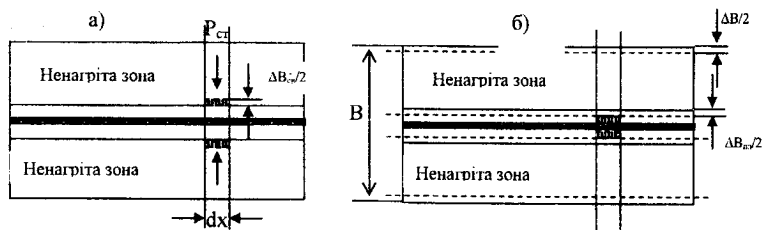


Рис 3.5. Утворення поперечної залишкової пластичної деформації а) зварне з'єднання; б) деформації в процесі нагрів-охолодження.

*Етап нагрівання.* Виріжмо умовно смужку шириною  $dx$  та і розглянемо деформації металу на ширині високонагрітої зони у поперечному напрямку. При нагріванні за умовної відсутності супротиву ненагрітої зони мала-б бути

свободна температурна деформація розширення  $\Delta V_{\text{св}}$  (рис.3.5,а) . В умовах реального зварного з'єднання внаслідок реакції ненагрітих зон виникне внутрішнє зусилля стиску  $P_{\text{ст}}$ , яке, з урахуванням стану металу високонагрітої зони, призведе до пластичної деформації скорочення  $\Delta V_{\text{пл}}$  (рис.3.5б) у поперечному напрямку відносно зварного шва.

*Етап охолодження.* На стадії охолодження внаслідок зниження температури будуть мати місце температурні деформації скорочення без супротиву ( високо нагріта зона «потягне» за собою ненагріті зони) ненагрітих зон без утворення напружень. У разі наявності закріплення (рис.3.6.) поздовжніх кромek з'єднання (несвободна усадка) у поперечному перерізу виникнуть рівномірно розподілені по довжині шва напруження розтягу  $+\sigma$ .

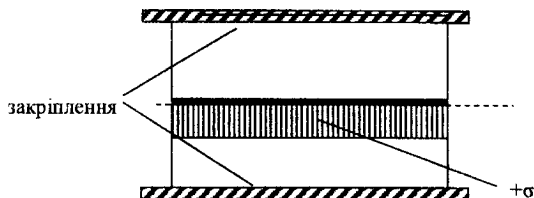


Рис. 3.6. Напруження від поперечної пластичної деформації

*Від термічної усадки рідкого металу шва* (рис.3.7) У процесі утворення зварного з'єднання має місце кристалізація рідкого металу шва, що супроводжується його поперечною термічною усадкою у діапазоні температур  $\Delta T = T_{\text{пл}} - T_0$ . Принципово, для стикових швів усадка спрямована уздовж ширини шва, а для кутового шва – уздовж гіпотенузи .



Рис.3.7. Термічна усадка металу зварного шва

а –стиковий шов; б – кутовий шов.

### 3.2 Розподіл залишкових напружень

Утворення у зварному з'єднанні залишкових поздовжніх та поперечних пластичних деформацій скорочення викликають у зварному з'єднанні урівноважену систему напружень та зміну геометрії зварного з'єднання.

Характер розподілу залишкових напружень та їхня інтенсивність залежить від багатьох факторів (геометричних розмірів та форми зварного з'єднання, технології зварювання та ін.). В залежності від товщини елементів, що зварюються, у зварному з'єднанні може мати місце плоский або об'ємний напружений стан. Приймається, що при зварюванні металу товщиною до 14 – 16 мм. утворюється плоский напружений стан. Компоненти такого напруженого стану, які спрямовані уздовж осі шва називаються поздовжніми, а перпендикулярно осі шва – поперечними залишковими напруженнями. Як приклад нерівномірності розподілу залишкових напружень наведемо епюри розподілу поздовжніх залишкових напружень у типових зварних з'єднаннях. (рис.3.8.)

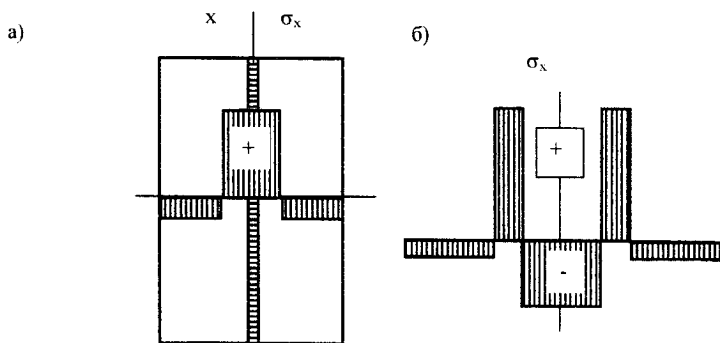


Рис.3.8. Розподіл поздовжніх напружень в стикових з'єднаннях  
а) без структурних перетворень; б) із структурними перетвореннями.

При зварюванні сталей, як правило, поздовжні максимальні напруження розтягнення  $\sigma_x$  досягають значення межі текучості (рис.3.8,а)

Структурні перетворення, якщо вони проходили при температурах нижчих 300...400°C, суттєво змінюють характер поздовжніх залишкових напружень. В шві і зоні термічного впливу при нагріві і охолодженні мали місце структурні перетворення, які завершилися при низькій температурі і супроводжувались подовженням металу. Тут виникли напруження стиску(рис.3.8,б.).

Усі розглянуті закономірності розподілу залишкових напружень  $\sigma_x$  у стиковому з'єднанні повністю відносяться і до з'єднань з кутовими швами – тавровим, внакладку, кутовим.( рис.3.9. ).

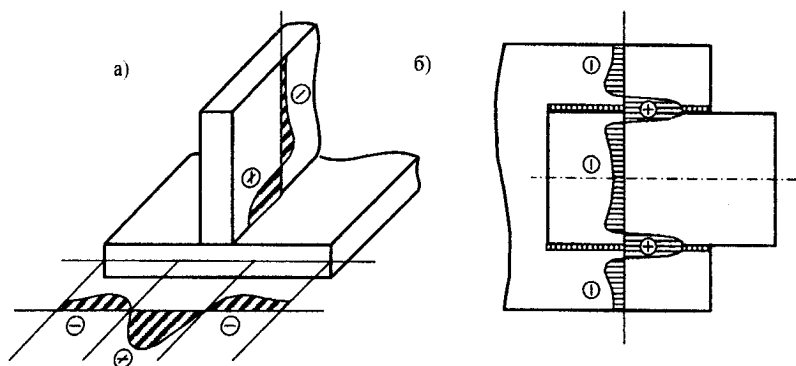


Рис.3.9. Розподіл поздовжніх залишкових напружень в з'єднаннях з кутовими швами : а) таврові з'єднання; б) напусткові з'єднання.

При зварюванні в стик металу великої товщини має місце залишковий об'ємний напружений стан. Причому, слід підкреслити, що повздовжні напруження  $\sigma_x$  в основному діють в шві і швидко згасають по перерізу внаслідок його значної жорсткості. Як приклад, на рис.3.10.. приведений розподіл залишкових напружень при зварюванні низьковуглецевої сталі товщиною 60 мм.

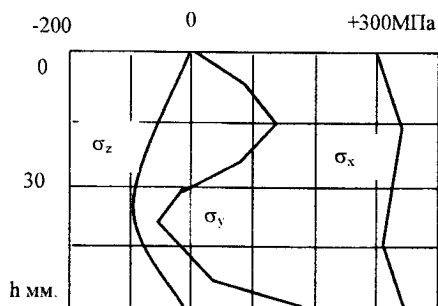


Рис.3.10 Розподіл залишкових напружень по товщині шва стикового з'єднання

При постановці однієї точки в зварному з'єднанні виникає плоский напружений стан з компонентами напружень  $\sigma_r$  (радіальні) та  $\sigma_\theta$  (окружні). Зварна точка і деяка зона біля неї знаходяться під дією напружень розтягіння. Як правило,  $\sigma_r = \sigma_\theta = \sigma_T$ . З віддаленням від точки радіальні напруження падають, а окружні переходять в зону стиску, причому  $\sigma_r = \sigma_\theta$ . (рис.3.11.)

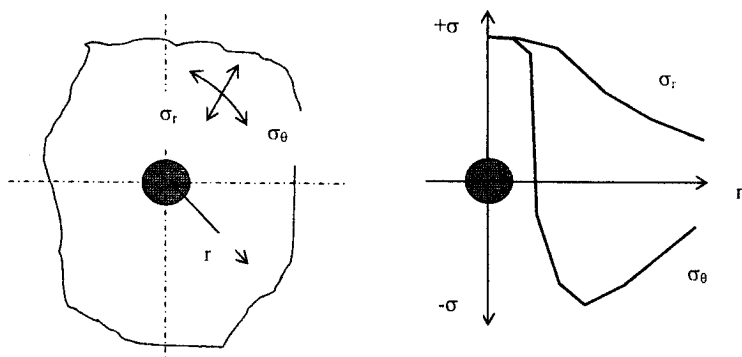


Рис.3.11. Розподіл напружень в точковому з'єднанні

### 3.3 Негативні наслідки наявності залишкових напружень

Як показали дослідження та досвід експлуатації зварних конструкцій, залишкові напруження можуть мати негативний вплив на працездатність виробу.

Напруження, що виникають від зварювання, досягають в окремих ділянках зварного з'єднання величини межі текучості. Інакше кажучи, на цих ділянках в зварному виробі діють граничні напруження, що допускається з умов експлуатації, ще до додатка до неї робочого навантаження. Міцність зварної конструкції може виявитися вище розрахунковою, коли залишкові напруження і робочі напруження різного знаку взаємно компенсуються. При цьому залишкові напруження від зварювання є резервом підвищення міцності зварної конструкції.

При статичному навантаженні залишкові напруження від зварювання не впливають на міцність зварних з'єднань і конструкцій, коли метал зберігає здатність пластично деформуватися. Якщо напруження від зовнішнього навантаження складається із залишковими напруженнями, настає місцева пластична деформація, в результаті якої збільшення напружень вище межі текучості не відбувається (див. розділ 2). Місцева текучість зазвичай захоплює невеликі ділянки зварного з'єднання і не вичерпує пластичних властивостей металу. В результаті місцевої текучості міцність конструкції практично не змінюються.

Метал зварного з'єднання втрачає здатність пластично деформуватися в наступних випадках:

- за наявності об'ємного поля залишкових напружень (велика товщина, закріплення виробу по трьох осях). В цьому випадку при складанні об'ємних залишкових напружень з робочими напруженнями руйнування може статися до появи пластичної деформації, оскільки метал переходить в крихкий стан. Слід зазначити, що плоске поле залишкових напружень також знижує здатність металу пластично деформуватися, хоча і у меншій мірі;
- за наявності різкого концентратора напружень (технологічні дефекти від зварювання, неплавний перехід від однієї деталі, тощо), розташованого уперек дії залишкових і робочих напружень розтягу;
- при низькій температурі, яка може перевести метал в крихкий стан.

Метал з низькими пластичними властивостями схильний до переходу в крихке в значно більшій мірі, чим пластичний. Зважаючи на це зварні з'єднання і

конструкції з високоміцних сталей вельми чутливі до наявності залишкових напружень. В цьому випадку поле залишкових напружень від зварювання грає роль джерела енергії для розвитку виникаючої крихкої тріщини.

Залишкові напруження від зварювання є також необхідним (силовим) компонентом умов для виникнення і розвитку холодних технологічних тріщин в період часу, безпосередньо наступний за зварюванням.

Вплив залишкових напружень від зварювання на міцність при втомному навантаженні підкоряється загальним закономірностям, розглянутим вище.

Ефективність впливу залишкових напружень на міцність від втоми збільшується за наявності концентраторів напружень, а також з пониженням пластичних властивостей металу.

Залишкові напруження знижують корозійну стійкість зварних з'єднань.

Залишкові стискуючі напруження від зварювання можуть бути також причиною втрати стійкості листових зварних конструкцій (резервуарів різного роду, трубопроводів), а також колон і стійок. Втрата стійкості елементів або конструкцій в цілому може мати місце навіть за відсутності робочих напружень, якщо рівень залишкових напружень перевищить критичний.

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які усадкові процеси мають місце при зварюванні?
2. До чого призводять усадкові процеси уздовж зварного шва?
3. До чого призводять усадкові процеси поперек зварного шва?
4. До чого призводить термічна усадка рідкого металу зварного шва?
5. Який характер розподілу залишкових напружень від зварювання?
6. Які негативні наслідки від залишкових напружень через зварювання?

## 4. Деформації зварних конструкцій

### 4.1. Усадкові сили від зварювання

В окремих випадках для визначення деформацій (переміщень) внаслідок утворення залишкової пластичної деформації скорочення використовують поняття усадкової сили. Усадкова сила – це умовна сила, дія якої за наслідками на зварне з'єднання еквівалентне дії залишкової пластичної деформації скорочення. Відповідно розрізняють поздовжню і поперечні усадкові сили. Крім того в окремих випадках має місце усадкова сила від термічної усадки рідкого металу шва.

*Поздовжня усадкова сила.* Як вже було показано через утворення залишкової пластичної деформації поздовжнього скорочення в зварному з'єднанні виникають у поздовжньому напрямку залишкові напруження: у високонагрітій зоні напруження розтягіння на рівні межі текучості  $\sigma_T$ , а поза цієї зони - стискаючи напруження  $\sigma_p$ . Поздовжня усадкова сила це така сила, яка умовно прикладена до зварного з'єднання і викликає утворення в ньому напруженого стану еквівалентного стану, що сформувався внаслідок зварювання.

Тоді

$$P_{yc}^{non} = (\sigma_T + |\sigma_p|) F_{ин}$$

де  $F_{ин}$  – площа поперечного перерізу високонагрітій зони.

*Поперечна усадкова сила.* Залишкова пластична деформація скорочення  $\Delta_{пл}$  у поперечному напрямку відносно осі шва розподіляється рівномірно по довжині шва, тобто має місце загальне скорочення ширини  $\Delta B$  зварного з'єднання на величину цієї деформації  $\Delta B = \Delta_{пл}$ .

Визначимо яку зовнішню силу треба прикласти до зварного з'єднання, що призведе до еквівалентного скорочення, використовуючи закон Гука.

$$P_{yc}^{non} = \frac{\Delta_{пл} FE}{B}$$

де  $F = \delta L$  - площа поздовжнього перерізу зварного з'єднання,  $\delta$  і  $L$  – відповідно товщина і довжина шва,  $E$  – модуль пружності Юнга.



Усадкові сили  $P_{yc}$  прикладаються у центрі ваги відповідної площі перерізу високонагрітої зони. Форма площі поперечного перерізу високонагрітої зони залежить від типу зварного з'єднання. На рис.4.1 наведені форми перерізу високонагрітої зони для деяких зварних з'єднань.

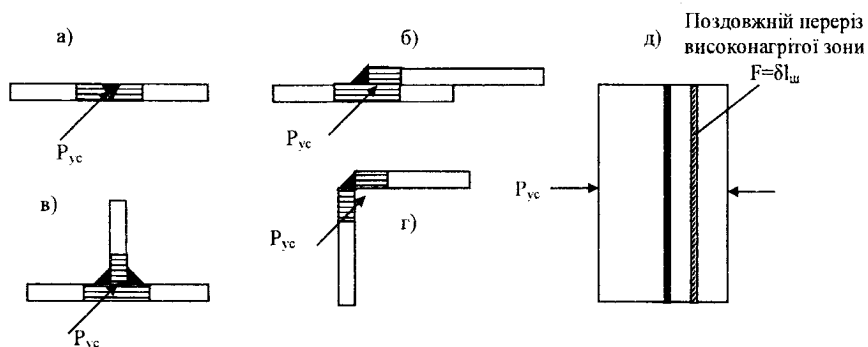


Рис. 4.1. Приклади форм перерізу високонагріт зон

Поперечний переріз: а – стикове з'єднання; б - напусткове з'єднання; в - таврове з'єднання; г - кутове з'єднання. Поздовжній переріз: д – стикове з'єднання.

Усадкові сили від термічної усадки.(рис.4.2.) Крім того, в залежності від форми проплавлення зварного шва можливе утворення усадкових сил внаслідок нерівномірної термічної (ливарної) усадки рідкого металу по товщині шва, що призводить до виникнення моментів  $M$  та кутових переміщень  $\beta$ .

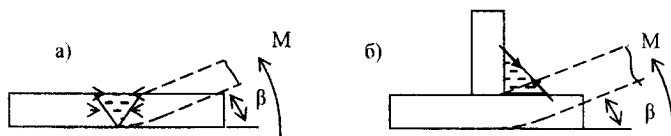


Рис.4.2. Усадкові сили від термічної усадки

а – стикові шви; б – кутові шви.

Усадкові сили в залежності від їх спрямування призводять до деформацій (переміщень) виробу різного виду.

#### 4.2. Переміщення у разі зварювання листів

Принципово, в залежності від геометричних параметрів (товщини, співвідношення довжини і ширини та інш.) зварного з'єднання, при зварюванні листів можливі два види перемішень: у площині листів та в напрямку перпендикуляра до поверхні листів

**Переміщення у площині листів.** Переміщення у площині листів проявляються через зміну лінійних розмірів зварного виробу – поздовжнього і поперечного скорочення внаслідок дії усадкових сил. Розглянемо два приклади.

Перший – зварюванню підлягають два листи встик (рис.4.3.)

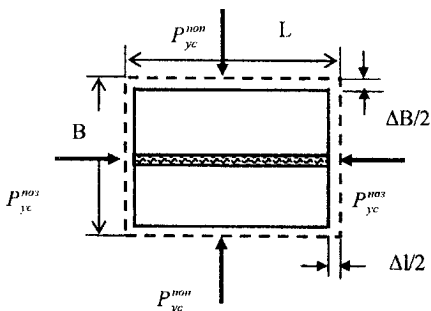


Рис.4.3. Скорочення від відповідних усадкових сил

В результаті діє усадкових сил має місце зміна початкових габаритних розмірів на  $\Delta B$  і  $\Delta L$ .

Другий приклад – зварювання полотна з трьох листів (рис.4.4.).

Приймемо, що шви виконані одночасно. Від зварювання першого шва утворюються відповідні усадкові сили  $P_{yc1}^{noz}$  і  $P_{yc1}^{non}$ , які призведуть відносно осі шва 1 до поздовжнього  $\Delta_1^{noz}$  та поперечного скорочення  $\Delta_1^{non}$ .

Аналогічно, від зварювання другого шва виникнуть усадкові сили  $P_{yc2}^{noz}$  і  $P_{yc2}^{non}$  та відповідні відносно осі шва 2 скорочення  $\Delta_2^{noz}$  та  $\Delta_2^{non}$ . Таким чином, загальне скорочення зварного полотна складе: у напрямку довжини  $L$  -

$$\Delta L = \Delta_1^{noz} + \Delta_2^{noz},$$

а в напрямку ширини  $B$  -  $\Delta B = \Delta_2^{non} + \Delta_1^{non}$

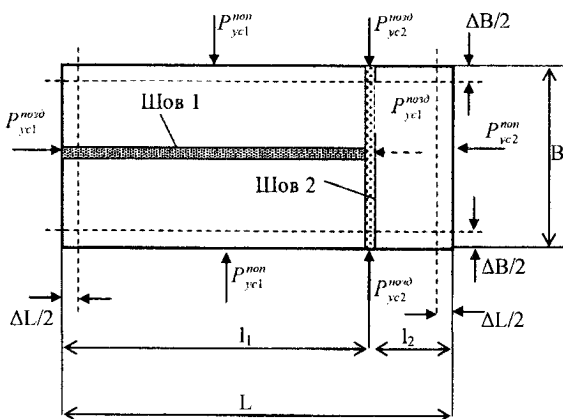


Рис.4.4. Переміщення у разі зварювання полотна

*Переміщення в напрямку перпендикуляра до поверхні листів*. Такого виду переміщення утворюється через: кутові переміщення, внаслідок втрати стійкості листів, або від одночасно дії цих явищ.

*Кутові переміщення*. У разі зварювання листів встик кутові переміщення утворюються по двом причинам: по-перше, у разі нерівномірного розподілу залишкової пластичної деформації по товщині зварюваних листових елементів, по-друге, через нерівномірну по товщині (термічну) ливарну усадку рідкого металу зварного шва. Така ситуація найбільшою мірою відбувається у разі одностороннього зварювання листів з V-подібною підготовкою крайок для зварювання. Кутові переміщення визначаються кутом  $\beta$  між зварювальними листовими елементами. (рис.4.5.)

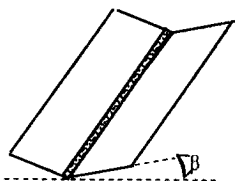


Рис.4.5. Кутова деформація

Величина кутової деформації  $\beta$  залежить від багатьох факторів: відносної глибини провару  $H/\delta$  ( $H$  - глибина провару;  $\delta$  - товщина листа), відносної ширини провару  $B/\delta$  ( $B$  - ширина провару); форми провару ( $\phi$  - кут розкриття крайків), параметрів режиму зварювання, тощо.

*Втрата стійкості* листових елементів(рис.4.6.) - це перехід з плоскої форми рівноваги до криволінійної внаслідок дії стискаючих сил (напружень  $\sigma$ ). Втрата стійкості притаманна здебільшого плоским листовим елементам невеликої товщини ( менше 8мм). Величина стискаючих сил або напружень які призводять до втрати стійкості зводяться критичними ( $P_{кр}$  ).

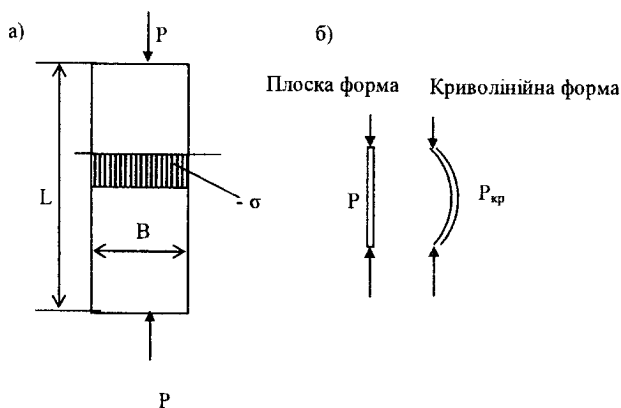


Рис.4.6. Втрата стійкості

а – схема навантаження листів; б – форми рівноваги.

Беручи до уваги, що після зварювання у зварному з'єднанні в ненагрітій (реактивній) зоні діють реактивні напруження стику  $\sigma_p$ , умова стійкості приймає вид:

$$\sigma_p \leq \sigma_{кр}$$

Критичні напруження залежать від багатьох факторів, а саме: співвідношення  $B/L$ ; товщини листів  $\delta$ , умов закріплення кромки листового елемента (кромки вільні від закріплення; шарнірно оперти, жорстко або пружно закріплені).

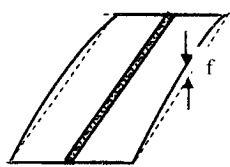


Рис.4.7. Переміщення через втрату стійкості зварного з'єднання

$f$  – переміщення в напрямку перпендикуляру до площині листів

На практиці, особливо у разі зварювання листів відносно незначної товщини, має місце переміщення одночасно від кутової деформації та втрати стійкості.(рис.4.8.)

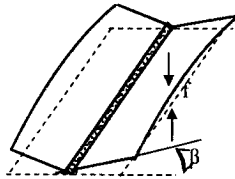


Рис. 4.8. Переміщення від кутової деформації і втрати стійкості.

#### 4.3. Переміщення одномірних зварних конструкцій

Характерною конструктивною особливістю одномірних зварних конструкцій є суттєво більший ( у десятки разів) один з габаритних розмірів порівняно з двома іншими. До такого класу конструкцій відносяться балки і стержні різного профілю та інші подібні вироби.

Після зварювання таких конструкцій головним чином утворюються два виду залишкових переміщень: поздовжнє скорочення та прогин поздовжньої осі виробу через дію усадкових сил від зварювання поздовжніх та поперечних швів (якщо вони є). Іноді має місце переміщення у формі кручення.

Розглянемо утворення таких переміщень на прикладі зварної балки таврового перерізу (рис.4.9.) Балка має два поздовжніх шва ( так званні поясні

шви) і один поперечний (полка складається з двох частин).

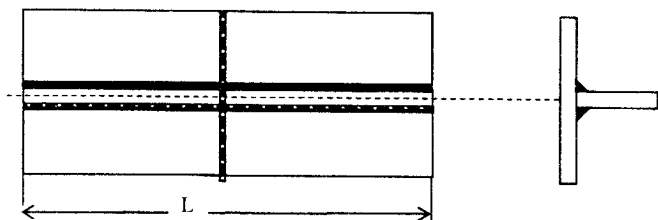


Рис. 4.9. Зварна балка

Поздовжнє скорочення. (рис. 4.10.) Від зварювання поздовжніх швів виникне усадкова сила  $P_{yc}^{noz}$  в напрямку уздовж поясних швів і прикладена у центрі ваги площі перерізу високонагрітої зони.

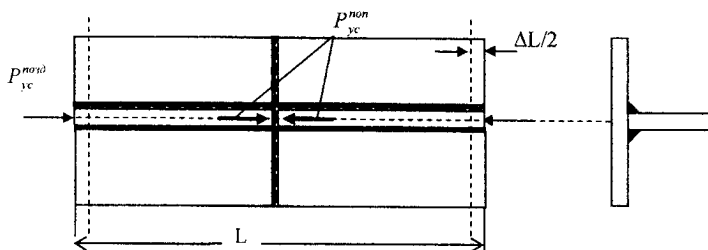


Рис. 4.10. Поздовжнє скорочення зварної балки

Зварювання поперечного шва призведе до утворення поперечної усадкової сили  $P_{yc}^{non}$ , яка також спрямована уздовж поясних швів. Отже, у напрямку поздовжньої осі балки буде діяти сумарна усадкова сила  $P^{\Sigma} = P_{yc}^{noz} + P_{yc}^{non}$ .

Згідно закону Гука :

$$\Delta L = \frac{P^{\Sigma} L}{EF}$$

Прогин поздовжньої осі балки. (рис. 4.11.) Сумарна усадкова сила ексцентрично прикладена відносно центру ваги перерізу балки ( $a$  – відстань від точки прикладення сумарної усадкової сили до центра ваги перерізу балки) і тому виникає згинаючий момент  $M = P^{\Sigma} a$ , прикладений по торцях балки. Прогин  $f$  балки від дії згинаючого

моменту  $M = P^{\Sigma} a$  визначається за формулою:  $f = \frac{ML^2}{8EI}$

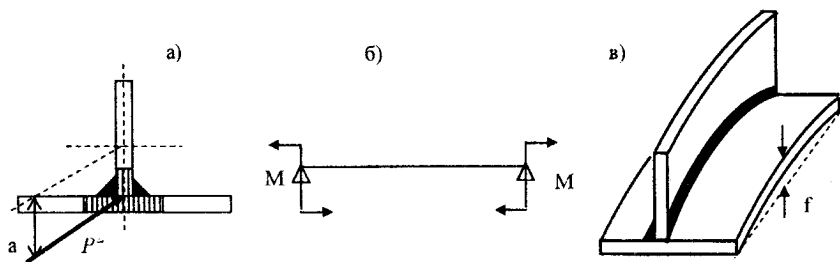


Рис.4.11. Прогин зварної балки

а – схема прикладення усадкової сили; б – розрахункова схема;  
в - прогин балки.

Крім того, через ливарну (термічну) усадку металу кутових швів в напрямку гіпотенузи будуть мати місце кутові переміщення полку  $\beta$ . (рис.4.12. )

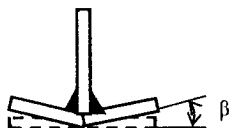


Рис. 4.12. Кутове переміщення полку

*Переміщення у формі кручення.*(рис. 4.13.). Такого виду деформація проявляється у вигляді взаємного повороту торців балки на певний кут відносно друг друга.

Причиною кручення може бути ситуація, коли при зварюванні стінки з полкою, через певні обставини ( наприклад, різна жорсткість полки і стінки ), стінка може змішуватись відносно поясу у поздовжньому напрямку на якусь певну величину. Зварний шов фіксує таке взаємне розташування стінки з полкою. Після охолодження за рахунок пружних сил у швах виникають пружні дотичні напруження, що і приводить до повороту торців балки.

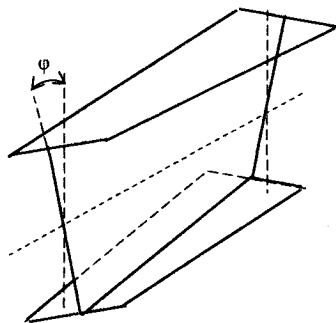


Рис.4.13. Переміщення у формі кручення балки

#### 4.4. Переміщення у разі зварювання оболонкових конструкцій

Оболонки – це такі конструкції, які працюють переважно на внутрішній або зовнішній тиск. Оболонки відносяться до класу двовірних конструкцій через те, що два їх розміри (габарити) в багато разів перевищують товщину. Вони переважно призначені для збереження та транспортування рідин, газів тощо. Найчастіше трапляються циліндричні та сферичні оболонки, для яких характерним є наявність стикових поздовжніх, кільцевих і колових швів.

*Переміщення у разі зварювання кільцевих швів циліндричних оболонок.* Кільцеві шви використовують для з'єднання окремих частин оболонки в основному застосовуючи стикові з'єднання. (рис.4.14.)

Після виконання кільцевого шва у високо нагрітій зоні внаслідок усадкових процесів виникнуть дві усадкові сили: від усадки уздовж шва так звана окружна  $P_{\text{vc}}^{\text{оп}}$  і від усадки у поперечному напрямку відносно шва  $P_{\text{vc}}^{\text{нон}}$ .

Умовно виріжемо високонагріту зону. Під дією усадкової сили  $P_{\text{vc}}^{\text{нон}}$  буде мати місце скорочення довжини шва, що призведе до зменшення діаметра високо нагрітої зони  $D_2 < D_1$ . Через дію усадкової сили  $P_{\text{vc}}^{\text{нон}}$  високонагріта зона скоротиться на величину  $\Delta_{\text{пл}}$ .

«Зшиємо» високонагріту зону з ненагрітою. Це призведе до утворення у з'єднанні внутрішніх зусиль: моменту  $M$ , поперечної сили  $Q$  і поздовжньої сили  $P$ .



В результаті дії внутрішніх зусиль, по-перше ,оболонка скоротиться вздовж продольної осі на величину  $\Delta L$ , а, по-друге , буде мати місце радіальне (уздовж радіусу оболонки) переміщення

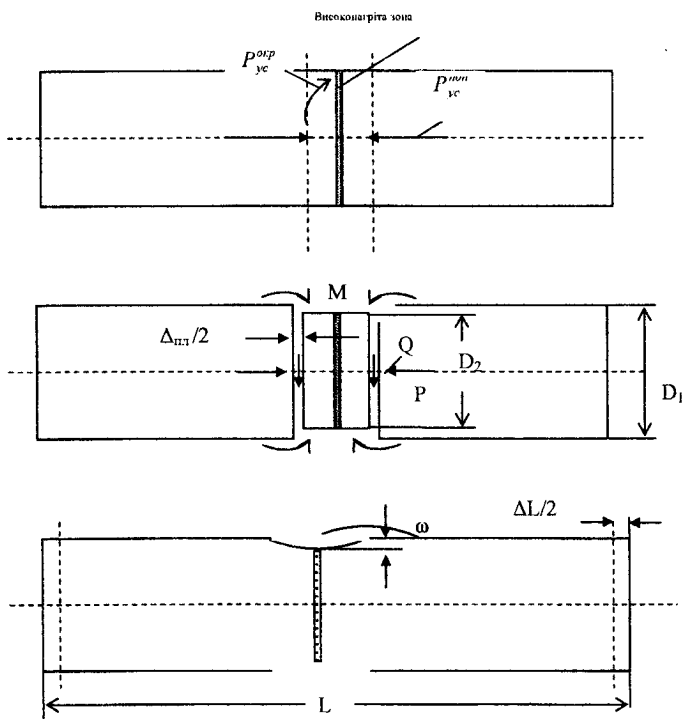


Рис.4.14. Переміщення у разі зварювання кільцевого шва

Переміщення у разі зварювання поздовжніх швів циліндричних оболонок. Від зварювання поздовжнього шва головним чином утворюються два види переміщень, а саме : прогин оболонки і зміни циліндричної форми (кривизни) у поперечному перерізу ( втрата круглості) . Такі переміщення є наслідком ексцентричного розташування поздовжньої усадкової сили  $P_{ус}^{nom}$  (рис.4.15. )

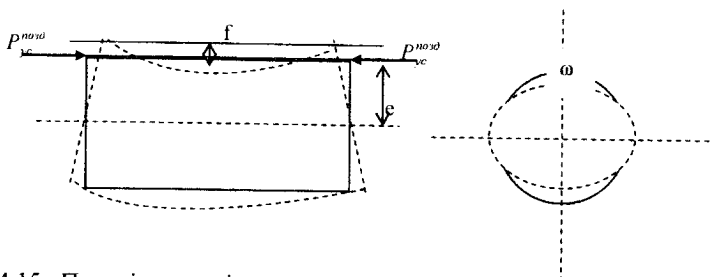


Рис.4.15. Переміщення від зварювання поздовжнього шва

Ексцентричне прикладення усадкової сили утворює момент  $M = P_{ус} e$ , під дією якого виникає прогин  $f$  і некруглість  $\omega$ .

#### 4.5. Негативні аспекти наявності залишкових деформацій

Вплив залишкових деформацій на якість зварних конструкцій виявляється наступному:

- залишкова деформація вузлів і елементів крупної конструкції ускладняє складання або робить її неможливою без підгонки, підрубання, правки. Це ускладнює технологію і збільшує трудомісткість виготовлення конструкції;
- заготовки вимагають призначення підвищених припусків на механічну обробку після зварювання через необхідність компенсувати деформації від зварювання;
- спотворення розрахункових геометричних перетинів елементів і конструкції в цілому в результаті зварювальних деформацій. Це явище може привести до появи неврахованих напружень при експлуатації конструкції. Спотворення форми зварних виробів може істотно змінити експлуатаційні характеристики зварного виробу.

І, нарешті, залишкові деформації погіршують зовнішній вигляд виробу. Це основному відноситься до листових обшивок кабін автомобілів, вагонів і ін.

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які усадкові сили від зварювання ?
2. Що таке поздовжня усадкова сила?
3. Що таке поперечна усадкова сила?
4. Що таке термічна усадкова сила?
5. Як усадкові сили прикладаються до зварного з'єднання?
6. Які переміщення у площині листів від зварювання?
7. Які переміщення від зварювання в напрямку перпендикуляра до поверхні листів?
8. Які переміщення одномірних зварних конструкцій?
9. Які переміщення у разі зварювання оболонкових конструкцій?
10. Які негативні аспекти наявності залишкових деформацій?

## 5. Технологічні заходи впливу на залишкові напруження та деформації

### 5.1. Фізичні основи технологічних заходів впливу на наслідки усадкових процесів

Усадкові процеси призводять до формування у зварному з'єднанні залишкових напружень та деформацій через поздовжню та поперечну залишкову пластичну деформацію скорочення і термічну (ливарну) усадку рідкого металу зварного шва. Отже, впливаючи на величину і характер розподілу залишкових пластичних деформацій, одночасно досягається вплив як на залишкові напруження, так і на залишкові деформації. Наслідки поздовжньої деформації залежать від їх об'єму або площі ( з урахуванням товщини). Наслідки поперечної пластичної деформації разом з термічною усадкою залежать від їх величини та характеру розподілу по товщині елементів зварного з'єднання.

*Заходи впливу на поздовжні пластичні деформації* . Площа епюри поздовжньої залишкової пластичної деформації скорочення характеризується двома параметрами (рис.5.1 ): шириною високотемпературної зони  $b_{вн}$  та певною величиною цієї деформації  $\epsilon_{пл}$ . Чим менша площа, тим менше наслідки усадкових процесів.

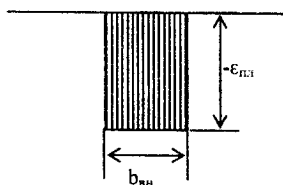


Рис.5.1. Еюра залишкової пластичної деформації

Отже, будь які заходи впливу на площу поздовжньої залишкової пластичної деформації скорочення можуть бути реалізовані як в процесі

зварювання ( утворення залишкової пластичної деформації), так і після охолодження зварного з'єднання ( зменшення вже сформованої площі).

Заходи в процесі зварювання . На ширину високотемпературної зони в основному впливає температурний стан металу при зварюванні. Технологічними заходами звуження ширини за рахунок впливу на температурний стан головним чином є зниження тепловложения.

Величина залишкової пластичної деформації скорочення залежить від внутрішніх сил, що виникають при зварюванні у високотемпературній зоні : на етапі нагріву – сил стиску, а на етапі охолодження – сил розтягу. Тобто, на етапі нагріву необхідно зменшувати сили стиску, а на етапі охолодження збільшувати сили розтягу.

Заходи після зварювання . На ширину вже сформованої епюри пластичної деформації після зварювання впливати практично неможливо, тому заходи зі зниження наслідків усадкових процесів головним чином базуються на процесах зменшення величини цієї деформації. Оскільки залишкова пластична деформація скорочення, ці процеси повинні викликати у високонагрітій зоні деформації розтягу.

Заходи впливу на поперечні пластичні деформації Зменшення наслідків пластичної деформації у поперечному напрямку в основному досягається тільки в процесі зварювання за рахунок звуження високонагрітої зони ( призначення оптимального тепловложения).

Заходи впливу на термічну усадку. Зменшення величини термічної усадки у поперечному напрямку зварного з'єднання базується на забезпеченні рівномірності розподілу усадкових сил по товщині зварних швів ( відповідне розкриття крайок) та оптимізації їх розмірів.

## 5.2. Технологічні заходи впливу на залишкові напруження і деформації

Як вже було показано впливати на напружено-деформований стан можливо на двох етапах : в процесі зварювання ( методи попередження ) і на етапі після зварювання ( методи усунення ).

### 5.2.1. Методи попередження

До них належать:

- зменшення тепловложення;
- застосування попереднього статичного навантаження;
- застосування складально-зварювального спорядження для фіксації (закріплення) деталей під час зварювання;
- компенсація переміщень.

**Зменшення тепловложення.** Основною метою зменшення тепловложення є звуження ширини високонагрітої зони. Ефект досягається за рахунок зміщення кривої розподілу максимальних температур в напрямку осі шва. (рис.5.2.) і, як наслідок, зменшення ширини високонагрітої зони, тобто ширини зони пластичної деформації.

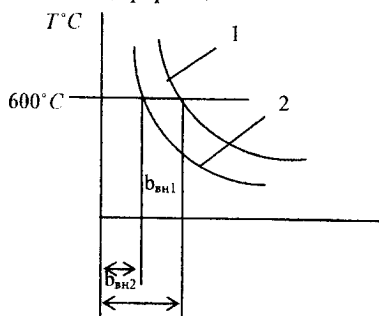


Рис.5.2 Вплив тепловложення на ширину високонагрітої зони

1,2- розподіл максимальних температур відповідно без і з тепловідвідом

Зменшення тепловложення під час зварювання можна досягти шляхом тепловідведенням від високнагрітої зони, а також застосуванням зварювання концентрованими джерелами нагріву.

**Зварювання з тепловідвідом** – примусовий відвід із зони зварювання теплоти, що вводиться у виріб джерелом нагрівання. Теплота, що вводиться, поширюється у виріб і тепловідвід. Тепловідвід у цьому випадку являє собою від'ємне джерело теплоти стосовно позитивного джерела нагрівання. Взаємодія цих двох джерел призводить до зниження тепловложення і зміни теплового стану металу елементів, що зварюються. Тепловий стан залежить від

потужності тепловідводу і місця його розташування відносно джерела зварювального нагрівання. Ефективність тепловідводу залежить від теплофізичних властивостей його матеріалу, місця розташування і площі контакту з поверхнею, з якої здійснюється відбір тепла.

*Зварювання концентрованими джерелами нагріву.* Концентровані джерела нагрівання характеризуються підвищеною здатністю до проплавлення, що приводить до зміни параметрів режиму зварювання, а саме, до зниження зварювального струму або до підвищення швидкості зварювання. Іншими словами, застосування концентрованих джерел нагрівання дозволяє одержати якісне зварне з'єднання на більш низьких значеннях теплової енергії. Це означає, що розплавляється менший об'єм металу, а за умови збереження глибини проплавлення, зменшується ширина зварного шва і високонагрітої зони. На практиці широко використовують такі способи зварювання концентрованими джерелами нагрівання: електронно-променеве, плазмове, лазерне, гібридне лазерне- дугове, імпульсне дугове тощо.

*Застосування попереднього статичного навантаження.* Цей метод призводить до зменшення величини залишкової пластичної деформації скорочення  $\varepsilon_{\text{шл}}$  ( тобто площі епюри цих деформацій ) через зменшення внутрішніх зусиль стиску у високонагрітій зони на етапі нагріву та збільшення внутрішніх зусиль розтягу у цій зоні на етапі охолодження в наслідок сумування сил від попереднього розтягу з силами від зварювання.

Зварювання з попереднім розтягуванням полягає в тому, що у зварювальних елементах до зварювання створюються поздовжні напруження розтягу за рахунок зовнішнього навантаження від якого після зварювання з'єднання звільняються.

У разі зварювання з попереднім розтягом однією з основних задач є реалізація навантаження. Застосовують різні способи навантаження : механічне навантаження за допомогою силового вузла, градієнтне нагрівання зварного з'єднання тощо.

На практиці широко використовують попередній розтяг майбутньої високонагрітої зони у разі зварювання тонкостінних виробів, наприклад,

зварюванні стикових кільцевих швів оболонок на активних підкладних кільцях. ( рис.5.3. ) Під дією сили  $P_{нав}$  підкладне кільце тисне на оболонку і викликає утворення окружних напружень розтягу  $+\sigma_{\theta}$  на базі майбутньої високонагрітої зони  $b_{вн}$  .

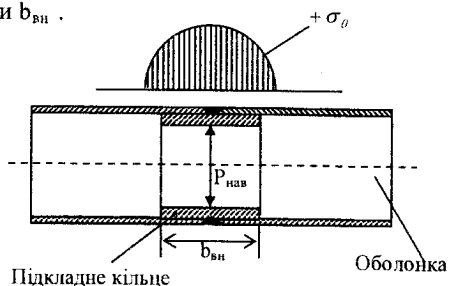


Рис.5.3. Схема зварювання з попереднім навантаженням на підкладному кільці

Різновідністю статичного навантаження для одномірних зварних конструкцій типа балка , стержень тощо є утворення напружень розтягу у високонагрітої зоні за рахунок попереднього пружного вигину виробу у сторону протилежної очікуваної деформації від зварювання. ( рис.5.4.)

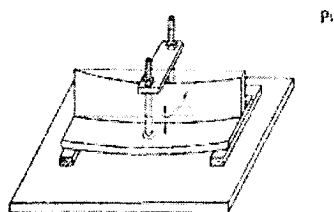


Рис. 5.4. Схема пружного вигину

При зварюванні листів встик використовують попередній нагрів зони зварного з'єднання, прилеглою до зварного шва.(рис.5.5.). Зона нагрітого металу подовжується і «тягне» за собою майбутню високотемпературну зону  $b_{вн}$ , викликаючи у цій зоні перед зварюванням напруження розтягу  $+\sigma$ .



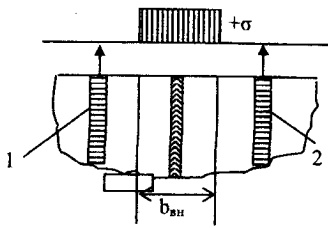


Рис.5.5. Попередній розтяг зони зварювання місцевим нагрівом

1,2 – зони попереднього нагріву

*Застосування складально-зварювального спорядження для фіксації (закріплення) деталей під час зварювання.* Фіксація виробу рівнозначне збільшенню жорсткості ненагрітих зон елементів, що підлягають зварюванню. Підвищення жорсткості призводить на етапі охолодження до збільшення сил «супротиву» ненагрітих зон пластичному скороченню високонагрітої зони, тобто зменшенню величини залишкової пластичної деформації стиску  $\epsilon_{пл}$ , що призводить і до зменшення площі епюри цих деформацій.

Практика застосування складально-зварювального спорядження свідчить про те, що ефективність цього заходу знаходиться в межах 10-15%.

*Компенсація переміщень.* Ефект запобігання переміщень від зварювання досягається за рахунок створення переміщень протилежного напрямку, як до зварювання, так і в процесі виконання зварних швів виробу (рис.5.6.), а також шляхом попереднього пластичного деформування.

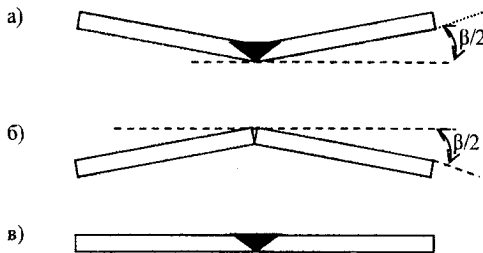


Рис.5.6. Компенсація кутового переміщення у разі зварювання встик  
 а)- кутове переміщення від зварювання, б)- компенсаційне розташування елементів до зварювання; в) – відсутність кутового переміщення.

До зварювання компенсаційні переміщення створюються шляхом відповідного взаємного розташування елементів, що підлягають зварюванню, або за рахунок пластичного деформування виробу.

З метою компенсації (положення *в*) кутової деформації у разі зварювання листів встик перед зварюванням елементи розташовують не в одній площині, а з розвалом на кут  $\beta/2$  (положення *б*) у сторону протилежну очікуваної (положення *а*).

Попереднє пластичне деформування виробу полягає у створенні відповідної зміни геометрії елементів зварного виробу у протилежному напрямку, що утворюється в наслідок зварювання, за рахунок чого має місце компенсаційний ефект і залишкові переміщення від зварювання зменшуються.. Наприклад, у разі зварювання полки зі стінкою балки таврового перерізу має місце кутова деформація полки  $+\beta$  (так звана грибовідність). З метою компенсації такого виду деформації застосовують шляхом пластичного деформування у вальцах до зварювання вигин полки у протилежному напрямку  $-\beta$  (рис.5.7.)

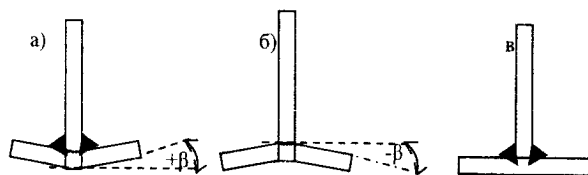


Рис.5.7. Компенсація кутової деформації полки

а- кутова деформація від зварювання ; б- пластичне компенсування; в) – відсутність кутової деформації через компенсування.

Компенсація переміщень в процесі виготовлення виробу полягає у призначенні оптимальної, з точки зору залишкових деформацій, послідовності виконання зварних швів виробу. При розробці оптимальної послідовності виконання зварних швів за допомогою розрахунків розглядається декілька варіантів очікуваних результатів Розглянемо вплив послідовності виконання

швів на прикладі виготовлення зварної двотаврової балки. Зварна двотаврова балка має чотири поясних шва (рис.5.8.). Розглянемо два варіанти послідовності виконання цих швів:

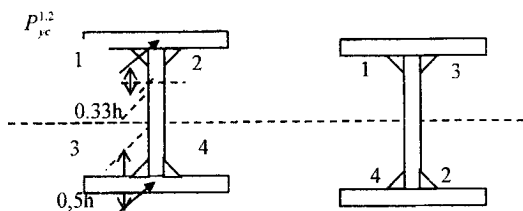


Рис.5.8. Технологічні варіанти виконання швів двотаврової балки

Перший – одночасно зварюється пара швів 1,2, потім друга пара -3,4. І другий варіант – послідовно шви 1,2,3,4.

Перший варіант. Нижня полка практично не оказує ніякого супротиву вигину, тобто при виконанні швів 1 і 2 маємо тавровий переріз. Від зварювання швів 1 і 2 на балку буде діяти усадкова сила  $P_{yc}^{1,2}$  та відповідний момент  $M_{1,2} = P_{yc}^{1,2} \times 0,33h$ , (0,33h координата центра ваги тавра) що призведе до прогину:

$$f_{1,2} = \frac{M_{1,2} L^2}{8EI_T}$$

У разі зварювання швів 3,4 переріз вже буде двотаврового профілю і відповідно  $M_{3,4} = P_{yc}^{3,4} \times 0,5h$ , (0,5h координата центра ваги двотавра) а прогин:

$$f_{3,4} = \frac{M_{3,4} L^2}{8EI_T}$$

Порівняємо прогини, беручи до уваги що  $P_{yc}^{1,2} = P_{yc}^{3,4} \text{mal}_{\gamma} \approx 2I_T$ :

$$\frac{f_{1,2}}{f_{3,4}} = \frac{P_{yc}^{1,2} \times 0,33h \times L^2}{8EI_T} \frac{8EI_T}{P_{yc}^{3,4} \times 0,5h \times L^2} = \frac{0,66}{0,5} > 1$$

Тобто, у разі зварювання згідно першої послідовності сформується залишковий прогин  $f_{\text{зв}} = f_{1,2} - f_{3,4}$ .

Згідно другого варіанту послідовності залишковий прогин буде менше через те, що тільки усадкова сила від одного шва 1 викликає прогин тавра, а

решта три усадкові сили прогин двотавра і, крім того, прогини від протилежних швів компенсують один одного.

Компенсація переміщень від усадкових процесів у поперечному напрямку в основному полягають:

Для стикових швів

- призначення режимів зварювання, що забезпечують прямокутну форму проплавлення металу по товщині – призводить до рівномірності розподілу усадкових сил по товщині;
- призначення симетричних форм розкриття кромки – призводить до урівноваження дій усадкових сил;
- застосування джерел теплоти, що зменшують ширину стикового шва – призводить до зменшення ливарної усадки у поперечному напрямку зварного з'єднання;

Для кутових швів:

- застосування джерел теплоти, що забезпечують отримання зварного шва з глибоким проплавленням – призводить до зменшення нерівномірності розподілу усадкових сил по товщині шва.

### 5.2.2. Методи усунення

Методи усунення поділяють в залежності від характеру дії на зварний виріб, а саме на механічну і теплову.

**Механічна дія.** Полягає у зменшенні величини залишкової пластичної деформації скорочення  $-\epsilon_{пл1}$  за рахунок створення після зварювання у високо нагрітій зоні деформацій розтягу  $+\epsilon$  ( $P_{зов}$ ), що призводить до сумування цих деформацій та зменшення залишкової деформації до значення  $-\epsilon_{пл2} < \epsilon_{пл1}$  (рис.5.9).

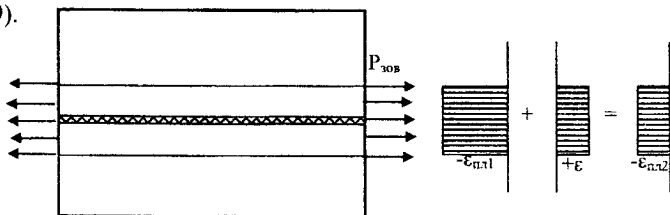


Рис.5.9. Компенсація залишкової пластичної деформації скорочення у разі механічної дії

На практиці використовують наступні технологічні заходи механічної (силової) дії:

*Статичне навантаження.* Реалізується шляхом безпосереднього навантаження зовнішніми силами  $P_{зов}$  уздовж високонагрітої зони за допомогою силових пристроїв або іншими засобами ,наприклад, витримка під внутрішнім підвищеним тиском виробів оболонкового типу.

*Прокатка роликми, або проковка* – сутність методів полягає в тому, що зона пластичних деформацій скорочення піддається пластичному стисненню по товщині зовнішніми силами  $P_{зов}$ , спрямованими перпендикулярно шву у результаті чого відбувається рівномірне подовження металу  $\epsilon$  в поздовжньому напрямку  $i$ , як наслідок, компенсація залишкових пластичних деформацій скорочення (рис.5.10.).

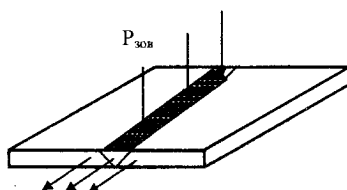


Рис. 5.10. Принципова схема стиснення металу по товщині

На рис.5.11. представлена схема прокатки роликми. Ефективність методу залежить основним чином від діаметра і ширини роликів, а також від сили прокатки, товщини металу і його властивостей ( особливо значення межі текучості.). Принципово існують три технологічних схеми прокатки .Прокатка шва (а); прокатка шва і високонагрітої зони(б); прокатка високо нагрітої зони (в).

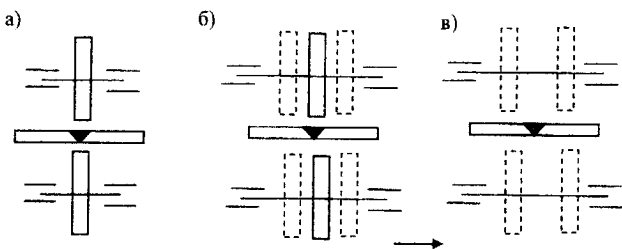


Рис.5.11. Прокатка роликками

Проковування проводять в процесі охолодження металу при температурах 450 °С і вище або від 150 °С і нижче. У інтервалі температур 400–200 °С у зв'язку із зниженою пластичністю металу при його проковуванні можливе утворення надривів. Спеціальний нагрів зварного з'єднання для виконання проковування, як правило, не потрібний. Удари наносять спеціальним інструментом із закругленим бойком з невеликим зусиллям до зміни малюнка шва. При багат шаровому зварюванні проковують кожен шар, за винятком першого, в якому від удару можуть виникнути тріщини.

*Вібраційна обробка* – полягає у створенні в зварній конструкції змінних напружень (циклічне навантаження) певної частоти за допомогою механічних вібраторів. У високо нагрітій зоні після зварювання діють пружні напруження розтягу на рівні межі текучості  $\epsilon_{T1}$ . Як відомо, вібраційна обробка призводить до зменшення значення межі текучості металу до значення  $\epsilon_{T2} < \epsilon_{T1}$ . І, як наслідок, трансформацію пружних деформацій розтягу  $\epsilon_{пр} = \epsilon_{T1} - \epsilon_{T2}$  у пластичне подовження  $+\epsilon_{пл}$  металу високо нагрітої зони, в результаті чого має місце зменшення величини залишкової пластичної деформації скорочення.

Основними параметрами вібраційної обробки є амплітуда і час (тривалість) вібронавантаження. Чим вище амплітуда змінного навантаження, тим ефективніше процес. Необхідно відзначити, що дуже високі амплітуди і велика тривалість віброобробки можуть стати причиною пошкоджень зварних конструкцій від втоми.

*Обробка вибухом.* Полягає в тому, що зовнішнє навантаження стиску перпендикулярно високонагрітій зоні здійснюється за рахунок ударної хвилі, унаслідок детонації зарядів вибухової речовини, що розташовуються в зоні

зварного шва, яка викликає пластичні деформації стиску по товщині металу і, за умови збереження об'єма деформованого металу, до пластичних деформацій подовження металу уздовж шва. Результат – зменшення залишкової пластичної деформації скорочення. Метод вибухової обробки відрізняється універсальністю, ефективністю і економічністю, дозволяє обробляти найрізноманітніших типів зварних з'єднань, обходитися без дорогого устаткування і витрат електроенергії. Особливо перспективне вживання вибухової обробки в польових умовах, коли утруднено використання інших методів дії на зварні з'єднання. Так, вибухове навантаження може бути використане для обробки монтажних стиків при будівництві магістральних трубопроводів в труднопрохідній місцевості.

*Механічна правка*. Механічна (рис.5.12.) - холодна правка досягається утворенням пластичних деформацій розтягу металу високонагрітої зони і пластичного стиску волокон основного металу на протилежній до шва стороні виробу шляхом вигину виробу у протилежному напрямку по відношенню до деформацій від зварювання (наприклад, механічна правка вигину зварної балки). Метод громіздкий, вимагає великих зусиль, і при цьому вичерпується запас пластичних властивостей наплавленого металу.

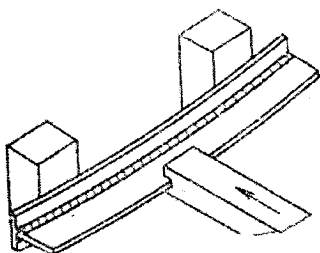


Рис.5.12 Схема механічної правки вигину балки

*Теплова дія*. Стосовно зварних конструкцій теплова дія у вигляді термічної обробки в основному використовується для впливу на механічні властивості металу, або для зменшення залишкових напружень від зварювання (відпуск). Крім того теплову дію застосовують як спосіб компенсації переміщень від зварювання.

Вплив термічної обробки на механічні властивості металу було розглянуто раніше. ( див. розділ 1)

*Термічна обробка - відпуск.* Розрізняють загальний і місцевий відпуск. У разі загального відпуску для усунення напружень виріб піддають нагріву лише до температури 600—650°C і після витримки (з розрахунку 2—2,5 мін на 1 мм товщини металу, але не менше 30 мін) — подальшому повільному охолодженню разом з піччю до нормальної температури. Оскільки, при цьому метал нагрівається до температури нижче температури фазових перетворень  $A_{c1}$ , жодних змін його структури не відбувається. При відпуску можна нагрівати виріб і до нижчої температури, але тоді напруження частково залишаться у виробі, хоча «піки» їх значно знизяться. Так, наприклад, при нагріві сталевого виробу до 400—500°C знімається до 50%, а при 200—300°C — до 10—20% залишкових напружень, від зварювання.

Головний ефект зниження напружень має місце на етапі нагрівання при досягненні температури 600—650°C. (рис 5.13.) При нагріванні

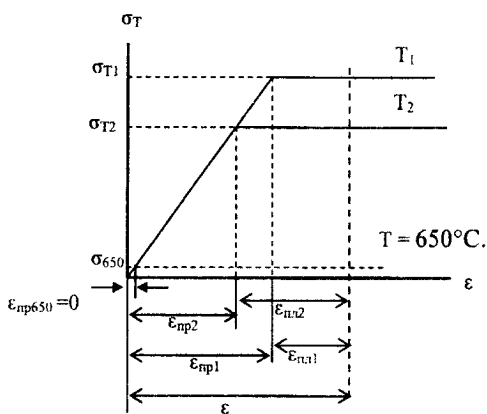


Рис.5.13 Принципова схема зниження напружень у разі відпуску змінюються властивості металу, а саме: знижуються межа текучості.

Механізм зниження напружень розглянемо використовуючи рис.5.13. Після зварювання у виробу утворилась деформація  $\varepsilon = \varepsilon_{сп1} + \varepsilon_{пл1}$  і відповідні



напруження  $\sigma_{T_1} = \epsilon_{пр1} E$  на рівні межі текучості металу при температурі  $T_1$  (індекси пр.і пл. - відповідно пружні і пластичні деформації). При нагріванні до температури  $T_2$  значення межі текучості металу впаде до значення  $\sigma_{T_2}$ , що, з умови збереження значення  $\epsilon$ , призведе до зменшення пружної складової загальної деформації  $\epsilon_{пр2} < \epsilon_{пр1}$  та збільшенню пластичної складової  $\epsilon_{пл2} > \epsilon_{пл1}$ . Тобто, за рахунок трансформації пружної деформації у пластичну мало місце зменшення залишкових напружень до значення  $\sigma_{T_2} = \epsilon_{пр2} E < \sigma_{T_1}$ .

Таким чином, підвищення температури металу на  $\Delta T = T_2 - T_1$  призвело до зниження напружень на величину  $\Delta \sigma = \sigma_{T_1} - \sigma_{T_2}$ . Відкля слідує, що для повного зняття напружень потрібен нагрів до температури (600—650°C.), при якій значення межі текучості  $\sigma_{650}$  практично дорівнює нулю і пружні деформації  $\epsilon_{650} = 0$  в цих умовах у повній мірі трансформуються у пластичні.

Після охолодження напруження не поновлюються оскільки пластична деформація є незворотною.

Поряд із загальним відпуском у практиці виробництва зварних конструкцій застосовують місцевий відпуск. Він відрізняється від загального тим, що нагріванню піддається частина виробу, а саме високотемпературна зона. Оскільки нагрівається тільки частина виробу, напруження повністю не знімаються, а лише перерозподіляються. На перерозподіл напружень впливає характер температурного поля при місцевому нагріванні, регулюючи яке можна в значній мірі змінити характер розподілу залишкових напружень від зварювання.

Деформація виробу у вигляді прогину (загального чи місцевого) свідчить про наявність у виробу зон з різною довжиною волокон. Сутність термічної правки полягає у вирівнюванні довжин волокон в конструкції за рахунок створення додаткових зон укорочення зі сторони зони розтягнутих волокон. Для цього використовують нерівномірний (локальний) нагрів цієї зони конструкції. Локально нагрітий метал розширюється і, через опір ненагрітого металу, має місце пластичне скорочення розтягнутих волокон. Нагрівати можна газокисневим полум'ям, електричною дугою, плазмовим струменем.

Практика виробила певні способи нагріву конструкцій: переривистими лініями (косими або паралельними) — при правці ребристості або хвилястості вільних кромek; суцільними лініями (однорядними або дворядними) — при правці бухтин з великими стрілками прогину; трикутниками — при правці балок і хвилястості вільних кромek; плямами — при правці невідкріплених великих пластин і полотниць.

Тепловий спосіб найбільш поширений, оскільки не вимагає громіздкого устаткування, не викликає пошкоджень поверхні елементів конструкції, досить ефективний і застосовний при будь-яких розмірах конструкції.

Як приклад, розглянемо застосування термічної правки для компенсації прогину зварної балки. (рис.5.14.) Після зварювання через дію усадкової сили  $P_{yc}^{zw}$  утворився згинаючий момент  $+M = P_{yc}^{zw} \times e_1$  і прогин балки. При цьому крайні волокна стінки подовжились. З метою пластичного скорочення цих волокон

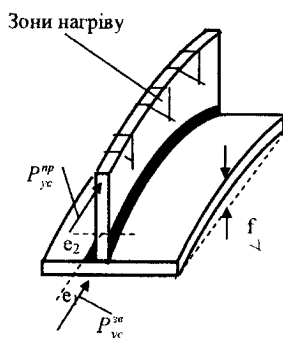


Рис. Термічна правка балки

було проведено їх локальний нагрів у формі трикутника, що призвело до пластичного скорочення волокон. Таке скорочення може бути представлено через дію еквівалентної усадкової сили від правки  $P_{yc}^{np}$  і моменту  $-M = P_{yc}^{np} \times e_2$ , спрямованому у протилежну сторону від зварювання і, як наслідок, до зменшення залишкового прогину.

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яка фізична сутність заходів впливу на наслідки усадкових процесів від зварювання?
2. Які технологічні заходи впливу на поздовжні пластичні деформації?
3. Які технологічні заходи впливу на поперечні пластичні деформації?
4. Які технологічні заходи впливу на термічну усадку?
5. Які технологічні методи попередження утворення деформацій і напружень від зварювання?
6. До чого призводить зменшення тепловложения?
7. До чого призводить зварювання з тепловідводом?
8. До чого призводить зварювання концентрованими джерелами нагріву?
9. До чого призводить застосування попереднього статичного навантаження?
10. До чого призводить компенсація переміщень?
11. Які технологічні методи усунення залишкових деформацій і напружень від зварювання?
12. Яка сутність прокатки роликми, або проковки?
13. Яка сутність вібраційної обробки?
14. Яка сутність обробки вибухом?
15. Для чого застосовують відпуск зварних конструкцій?
16. В чому полягає термічна правка?

## 6. Технологічне супроводження виготовлення зварних конструкцій

### 6.1. Загальні відомості

Виробничий процес - сукупність дій, в результаті яких вихідні матеріали і напівфабрикати перетворюються на готову продукцію, відповідну своєму призначенню, який реалізується на промислових підприємствах.

Сучасне промислове підприємство є складною економічною системою, в якій лежить взаємодія матеріальних, трудових і фінансових ресурсів. Виробничо-технічна єдність підприємства визначається спільністю призначення продукції, що виготовляється, і є найважливішою рисою підприємства.. Сучасне підприємство включає комплекс виробничих підрозділів: цехів, ділянок, господарських органів управління і організацій по обслуговуванню працівників підприємства. Головна мета підприємства — здобуття максимального і стабільного прибутку від реалізації продукції і послуг в умовах конкуренції на світовому ринку .

В даний час в оброблювальних галузях промисловості виділяються наступні різновиди підприємств: завод в галузях машинобудування і важкої промисловості і фабрика — в легкій промисловості; мале підприємство; наукові і проектні організації.

Завод (фабрика) — це виробнича одиниця промисловості, призначена для виготовлення будь-якої продукції або для виконання певної стадії виробничого процесу. У машинобудівній промисловості існує п'ять основних організаційних форм цих підприємств:

- заводи з повним технологічним циклом, в яких здійснюються всі стадії виробничого процесу, — заготівельна, оброблювальна і складальна;
- заводи механо-складального типу, що працюють на заготовках і напівфабрикатах, що отримуються в порядку кооперації від інших підприємств;
- заводи складального типу, що збирають вироби з деталей, вузлів і агрегатів, що виготовляються на інших спеціалізованих заводах;

· заводи, що спеціалізуються лише на виробництві заготовок (пакувань, штампувань, відливань);

· заводи, що спеціалізуються на виготовленні окремих деталей (зубчастих коліс, пружин, кріпильних деталей, підшипників і так далі).

У залежності від об'ємів господарського обороту підприємства і чисельності працівників заводи можуть бути віднесені до малих, середніх або великих. Кожна з цих груп підприємств має свої особливості створення і діяльності.

У розвинених країнах вважаються малими підприємства з числом працівників до 100 чоловік, середніми — від 100 до 500; великими — більше 500 чоловік. У нашій країні ці показники складають відповідно: до 200 чоловік; від 200 до 1000; більше за 1000 чоловік.

### **6.1.1. Виробнича структура підприємства**

Склад структурних підрозділів підприємства, їх кількість, величина і співвідношення між ними за розміром виробничих площ, чисельністю персоналу, пропускній спроможності характеризує загальну виробничу структуру підприємства. Складовою частиною загальної структури підприємства є виробнича структура.

Виробнича структура підприємства - це сукупність виробничих одиниць підприємства (цехів, служб), що входять в його склад і форми зв'язків між ними. Виробнича структура залежить від характеру продукції, що випускається, і його номенклатури, типу виробництва і форм його спеціалізації, від особливостей технологічних процесів. Причому останні є найважливішим чинником, що визначає виробничу структуру підприємства. (рис.6.1). Виробнича структура - це, по суті, форма організації виробничого процесу, тобто співвідношення цехів, ділянок, служб, створених на підприємстві; склад, кількість і розміщення робочих місць. Отже, під виробничою структурою підприємства мається на увазі сукупність виробничих підрозділів, форми їх побудови і характер взаємозв'язків між ними.

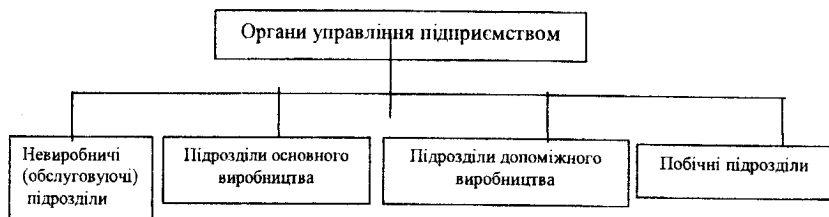


Рис.6.1. Принципова виробнича структура підприємства.

*Органи управління підприємства.* Структура управління характеризується наявністю зв'язків між її елементами: горизонтальні зв'язки носять характер узгодження і є, як правило, однорівневими. Вертикальні зв'язки — зв'язки підпорядкування, виникають за наявності декількох рівнів управління. Вертикальні зв'язки можуть носити лінійний, функціональний і лінійно-функціональний характер. Лінійні зв'язки означають підпорядкування лінійними керівникам (директор, начальник цеху, майстер, бригадир), тобто з усіх питань управління. Функціональні зв'язки мають місце при підпорядкуванні по певній групі проблем функціональному керівникові. При функціональній структурі управління підприємством загальне керівництво здійснюється керівником підприємства (підрозділи) через функціональні органи або виконавців. Кожен функціональний керівник несе відповідальність за окремі сторони роботи підприємства (підрозділи). При функціональній структурі підвищується компетентність рішень, що приймаються, спрощується робота лінійних керівників, проте порушується єдиноначальність, єдність і узгодженість, відповідальність за кінцеві результати роботи кожного підрозділу.

Лінійно-функціональна структура забезпечує розділення функцій управління і компетентність управлінських рішень шляхом створення при керівнику функціональних підрозділів.

Ці підрозділи, що складаються з відповідних фахівців, готують рішення і розпорядження, які набувають сили після затвердження їх керівником.

*Підрозділи основного виробництва.* У підрозділах основного виробництва або виконується певна стадія виробничого процесу по перетворенню основної сировини або напівфабрикатів на основну продукцію

підприємства, або реалізуються стадії безпосереднього виготовлення будь-яких виробів або їх вузлів. Підрозділи основного виробництва визначають обсяг виробництва і профіль підприємства, ритм роботи всіх його підрозділів.

*Підрозділи допоміжного виробництва.* Призначені для забезпечення нормальної роботи цехів і господарств підприємства виробничими послугами - ремонтами, транспортом, енергоносіями. До цієї групи відносяться:

- ремонтні - що виготовляють запасні частини, змінне устаткування і що здійснюють ремонт механічного устаткування і побудов підприємства;
- енергетичні - що забезпечують завод всіма видами енергоносіїв (трансформаторні підстанції електромережі, різного роду газо- і нафтопроводи, а також зв'язок і сигналізація) і що здійснюють ремонт енергетичних агрегатів.
- транспортні - що обслуговують перевезення між цехами і господарствами підприємства

*Невиробничі підрозділи.* Це виробничі підрозділи, де здійснюються процеси, пов'язані із зберіганням, постачанням і спорядженням всього необхідного цехам основного і допоміжного виробництва, - сировини, енергії, матеріалів і тому подібне. Вони виконують функції обслуговування. До таких господарств відносяться:

- складське, таке, що складається з різного роду заводських складів;
- санітарно-технічне, яке об'єднує водопровідні, каналізаційні, опалювальні і вентиляційні пристрої;
- центральна заводська лабораторія, до складу якої входить ряд лабораторій (відділень), обслуговуючих всі підприємства. Сюди входить хімічна, механічна, металографічна, рентгенографічна і інші лабораторії (відділення), які виконують контрольні випробування вихідних матеріалів і готової продукції, контролюють якість технологічних процесів і тому подібне
- машинолічильні станції - інформаційно-обчислювальні центри, де виробляється механізована обробка різної документації.

*Побічні підрозділи.* Підрозділи, що випускають продукцію з відходів основного виробництва.

Підрозділи у свою чергу мають свою виробничу структуру, а саме:

*робоче місце* - первинна ланка виробничої структури, що представляє частину виробничої площі, де робітник або група робітників (бригада) виконує окремі операції по виготовленню продукції або обслуговуванню процесу виробництва, використовуючи при цьому відповідне устаткування і технічне оснащення. Робочі місця класифікуються по різних ознаках. Робоче місце, призначене для виконання окремої операції, є простим. Воно може бути одноагрегатним і багатоагрегатним (багатоверстатним). При використанні складного устаткування робочі місця об'єднуються в комплексні з певним розмежуванням виконуваних функцій. У залежності від міри територіального закріплення виділяють робочі місця стаціонарні і пересувні. У залежності від різноманітності виконуваних робіт робочі місця підрозділяються на універсальних і спеціалізовані.

Первинний трудовий колектив (бригада) очолює бригадир. Он є організатором і керівником колективу бригади, не звільненим від виконання виробничих функцій... Чисельність робітників в бригаді залежить від розмірів робочої зони, трудомісткості кінцевого продукту, змінності і типа виробництва.

*виробнича дільниця* - група робочих місць, зв'язаних єдністю виконуваної частини виробничого процесу, або що виконують однакові операції. Різновідністю виробничої дільниці є потокова лінія. Це сукупність машин і механізмів, призначених для виготовлення певної продукції, та розташованих згідно операцій технологічного процесу, що здійснюються із заданим ритмом.

*відділення* - структурний підрозділ, який складається з декілька виробничих дільниць, займає відокремлену територію та здійснює закінчену частку виробничого процесу

Колективи робітників, зайнятих на ділянці цеху очолює майстер, а відділення - старший майстер. Старший майстер (майстер) на основі єдиноначальності управляє виробничо-господарською діяльністю підрозділу, бере участь у вдосконаленні технології, оперативному плануванні; розставляє



робітників і видає завдання, представляє до підвищення розряду, організовує колектив на виконання змінно-добового завдання.

*цех* — організаційно відособлений підрозділ підприємства, в якому виготовляється готовий виріб або виконується стадія виробництва, в результаті якої утворюється напівфабрикат, використовуваний на даному або других підприємствах. Виробнича структура цеху складається з виробничих ділянок.

Цех має адміністративно-технічне керівництво, самостійне планове завдання за об'ємом робіт, якості продукції, витратам, пов'язаним з її виробництвом, і закінчену бухгалтерську звітність (без обліку прибутків і збитків). Виробничі цехи в залежності від їх призначення і ролі в здійсненні основної функції підприємства діляться на основні, допоміжні, підсобні, побічні і обслуговуючі. Очолює цех начальник цеху. Он керує всією діяльністю цеху на основі єдиноначальності і підкоряється безпосередньо головному інженерові, а по технічних і технологічних питаннях - головному фахівцеві за напрямком. Структура промислового підприємства залежить від багатьох чинників, в тому числі і від типу виробництва.

### 6.1.2. Типи виробництва

*Тип виробництва* - Під типом виробництва слід розуміти організаційно-технічну характеристику (класифікаційну категорію) виробничого процесу, засновану на його спеціалізації, повторюваності і ритмічності, тобто по ознаках широти номенклатури, регулярності, стабільності обсягу випуску виробів, типа устаткування, кваліфікації кадрів, трудомісткості операцій і тривалості виробничого циклу. Чим ширше номенклатура продукції, тим менш спеціалізовано виробництво. Широка номенклатура продукції вимагає велику різноманітність технологічних процесів, устаткування і професій робітників. (Таблиця.6.1. ) Зазвичай розрізняють одиничне, серійне і масове виробництва.

Таблиця 6.1. Кваліфікаційні ознаки типів виробництва

Чинник	Одиничне	Серійне	Масове
Номенклатура	Необмежена	Обмежена серіями	Одне або декілька виробів
Повторюваність випуску	НЕ повторюється	Періодично повторюється	Постійно повторюється
Устаткування	Універсальне	Універсальне	Спеціальне
Розташування устаткування	Групове	Групове і ланцюгове	Ланцюгове
Технологічний процес	На виріб, на вузол	Подетальне	Післяопераційне
Закріплення операцій за верстатами	Спеціально не закріпленні	Частково	На кожному верстаті одна операція
Кваліфікація робітника	Висока	Середня	Невисока
Взаємозамінюваність	Неповна	Повна	Повна
Собівартість одиниці продукції	Висока	Середня	Низька

Не менш важливим є обсяг продукції (масштаб виробництва) та її трудомісткість. (Таблиця 6.2.)

Таблиця 6.2. Кваліфікаційні ознаки за обсягом продукції.

Маса виробу, кг	Річний випуск виробів, тис. шт.		
	одиничне	Серійне	Масове
До 25	До 5	5...200	200...400
25...100	2...8	2...100	100...400
100...500	0,5...2,5	0,5...150	30...350
500...1000	0,3...0,6	0,3...10	5...100
1000...5000	0,2...1	0,2...17	3,5...125
5000...25000	0,1...0,5	0,1...10	2,0...25
25000...100000	0,05...0,2	0,05...4	1,0...10
Вище 100000	До 0,01	Вище 0,01	-

*Одиничне виробництво.* Одиничне виробництво характеризується широким асортиментом продукції і малим обсягом випуску однакових виробів. Вироби або не повторюються, або повторюються через невизначені проміжки часу.

Робочі місця не мають глибокої спеціалізації. Одиничне виробництво характеризується наявністю значного незавершеного виробництва, відсутністю закріплення операцій за робітниками місцями, вживанням унікального устаткування, частою переналадкою устаткування, високою кваліфікацією робітників, значною питомою вагою ручних операцій, загальною високою

трудомісткістю виробів і тривалим циклом їх виготовлення, високою собівартістю продукції, що випускається.

*Серійне виробництво.* Серійне виробництво характеризується виготовленням обмеженого асортименту продукції. Партії (серії) виробів повторюються через певні проміжки часу. У серійному виробництві вдається спеціалізувати окремі робочі місця для виконання подібних технологічних операцій. Рівень собівартості продукції знижується за рахунок спеціалізації робочих місць, широкого вживання праці робітників середньої кваліфікації, ефективного використання устаткування і виробничих площ, зменшення, в порівнянні з одиничним виробництвом, витрат на заробітну плату. Продукцією серійного виробництва є стандартна продукція

Серійне виробництво залежно від розміру серії підрозділяється на малосерійне, середньосерійне і великосерійне. Рівень серійності характеризується коефіцієнтом  $K_c$ :

$$K_c = (\text{кількість деталей операцій у виробничому підрозділі}) / (\text{кількість устаткування})$$

При  $K_c$  рівному від 20 до 40 — малосерійний виробничий процес, при  $K_c$  рівному від 5 до 20 — середньосерійний і при  $K_c$  рівному від 2 до 5 — великосерійний виробничий процес.

*Масове виробництво.* Масове виробництво характеризується виготовленням окремих видів продукції у великих кількостях на вузькоспеціалізованих робочих місцях протягом тривалого періоду. Механізація і автоматизація масового виробництва дозволяють значно понизити долю ручної праці. Для масового виробництва характерні незмінна номенклатура виробів, що виготовляються, спеціалізація робочих місць на виконанні однієї постійно закріпленої операції, вживання спеціального устаткування, невелика трудомісткість і тривалість виробничого процесу, висока автоматизація і механізація. Собівартість продукції масового виробництва в порівнянні з продукцією одиничного і серійного виробництва мінімальна. Цей тип виробництва економічно доцільний при чималому обсязі випуску продукції. Необхідною умовою масового виробництва є наявність

стійкого і значного попиту на продукцію. Масове виробництво існує в трьох основних варіантах:

- **безперервно-потокове неавтоматичне виробництво.** При такому виробництві завантаження кожного робочого місця однією операцією, що повторюється, поєднується з безперервним рухом виробів. Робочі місця розташовуються в послідовності ходу технологічного процесу.
- **безперервно-потокове автоматичне виробництво.** Виробничий процес здійснюється за допомогою системи машин-автоматів, об'єднаних в автоматичні поточкові лінії;
- **прямоточне виробництво.** У масовому прямоточному виробництві на кожному робочому місці виконується лише одна виробнича операція, проте безперервність руху виробів відсутня. Потік регламентується за допомогою підтримки певного змінного вироблення.

### **6.1.3. Основні характеристики технологічних процесів**

Технологічний процес — це частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії із зміни і (або) визначення стану предмету праці. Під час виконання технологічного процесу відбувається зміна форми, розмірів, властивостей предмету праці з метою здобуття виробу. Практично будь-який технологічний процес можна розглядати як частина складнішого процесу і сукупність менш складних (у межі — елементарних) технологічних процесів.

**Види технологічних процесів.** Основним чинником, що визначають міру диференціації технологічного процесу, є характер виробництва і пов'язаний з ним обсяг випуску продукції. Залежно від вживання у виробничому процесі для вирішення одного і того ж завдання різних прийомів і устаткування розрізняють наступні види технологічних процесів:

- *Одиничний технологічний процес.* Розробляється індивідуально для конкретної деталі, відноситься до виробів одного найменування, типорозміру і виготовлення незалежно від типа виробництва.
- *Типовий технологічний процес* - має єдність змісту і послідовності більшості технологічних операцій і переходів для групи виробів і загальними конструкторськими принципами.

- *Груповий технологічний процес* це виготовлення групи виробів з різними конструктивними, але загальними технологічними ознаками; це процес обробки заготовок різної конфігурації, що складається з комплексу групових технологічних операцій, що виконуються на спеціалізованих робочих місцях в послідовності технологічного маршруту виготовлення певної групи виробів. Групові технологічні процеси розробляють для всіх типів виробництв лише на рівні підприємства.

Типові і групові технологічні процеси є уніфікованими технологічними процесами, вони широко застосовуються в малосерійному, серійному і рідше у великосерійному виробництвах.

Кожен з розглянутих технологічних процесів може бути перспективним або робочим.

- *Перспективним* називають технологічний процес, відповідний сучасним досягненням науки і техніки, методи і засоби якого повністю або частково належить освоїти на підприємстві. передбачає випередження (або відповідність) прогресивному світовому рівню розвитку технології виробництва.
- *Робочий технологічний процес* - це технологічний процес, що виконується за робочою технологічною і (або) конструкторською документацією.
- *Робочий технологічний процес* - це технологічний процес, що виконується за робочою технологічною і (або) конструкторською документацією.

За деталізацією змісту технологічний процес класифікується на — маршрутний, операційний, маршрутно-операційний:

- *Маршрутний технологічний процес* оформляється маршрутною картою, де встановлюється перелік і послідовність технологічних операцій, тип устаткування, на якому ці операції виконуватимуться; вживане оснащення; укрупнена норма часу без вказівки переходів і режимів обробки.

- *Операційний* технологічний процес деталізує технологію обробки і збірки до переходів і режимів обробки. Тут оформляються операційні карти технологічних процесів.
- *Маршрутно- операційний* технологічний процес виконується по документації, в якій зміст окремих операцій викладається без вказівки переходів і режимів обробки.

Будь який технологічний процес складається з технологічних операцій.

**Операції технологічних процесів.** Операції розділяють на технологічні (робочі або основні) і допоміжні .

*Технологічна операція.* Елементарним технологічним процесом або технологічною операцією називається найменша частина технологічного процесу, що володіє всіма його властивостями. Тобто це такий технологічний процес, подальша декомпозиція якого приводить до втрати ознак, характерних для методу, покладеного в основу даної технології. Як правило, кожна технологічна операція виконується на одному робочому місці не більш, ніж одним співробітником безперервно без переходу до обробки іншого виробу. Технологічна операція є основною одиницею виробничого планування і обліку. На основі операцій визначається трудомісткість виготовлення виробів і встановлюються норми часу і розцінки, задається необхідна кількість робітників, устаткування, пристосувань і інструментів, визначається собівартість обробки, виробляється календарне планування виробництва і здійснюється контроль якості і термінів виконання робіт.

В умовах автоматизованого виробництва під операцією розуміється закінчена частина технологічного процесу, що виконується безперервно на автоматичній лінії, яка складається з декількох верстатів, зв'язаних транспортно-завантажувальними пристроями, що автоматично діють.

Залежно від того, на якому рівні виконується технологічна операція, її можна віднести до одного з видів:

- проста операція
- комплексна операція

*Проста операція (базова)* - це завжди одна дія у вигляді окремого процесу (установка електрода, включення джерела живлення зварювальної дуги)

*Комплексна операція* складається з декількох базових операцій. Так, комплексна операція постановка прихватки складається з базових операцій установки електрода, запалення дуги і безпосередньо плавлення електрода.

*Допоміжні операції* До допоміжних операцій відносяться – транспортні, контрольно-вимірювальні і так далі, тобто операції що не змінюють розмірів, форми, зовнішнього вигляду або властивостей виробу, але необхідні для здійснення технологічних операцій. Основними елементами технологічних операцій є:

*Установлення* — частина технологічної операції, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваних заготовок;

*Технологічний перехід* є закінченою частиною технологічної операції, що виконується над однією або декількома поверхнями заготовки, одним або декількома одночасно працюючими інструментами без зміни або при автоматичній зміні режимів роботи верстата.

*Елементарний перехід* — частина технологічного переходу, що виконується одним інструментом над однією ділянкою поверхні оброблюваної заготовки за один робочий хід без зміни режиму роботи верстата.

*Допоміжний перехід* — закінчена частина технологічної операції, що складається з дій людини і устаткування, які не супроводжуються зміною форми, розмірів і шорсткості поверхонь предметів праці, але необхідні для виконання технологічного переходу (установка заготовки, зміна інструменту і так далі).

*Робочий хід* — це закінчена частина технологічного переходу, що складається з однократного переміщення інструменту відносно заготовки, що супроводжується зміною форми, розмірів, якості поверхні і властивостей заготовки

*Допоміжний хід* — закінчена частина технологічного переходу, що складається з однократного переміщення інструменту відносно заготовки, не



супроводжуються зміною форми, якості поверхні або властивостей заготовки, але необхідна для підготовки робочого ходу.

У промисловості опис технологічного процесу виконується в документах, що іменуються операційна карта технологічного процесу (при детальному описі) або маршрутна карта (при короткому описі).

*Маршрутна карта* — опис маршрутів руху по цеху деталі, що виготовляється.

*Операційна карта* — перелік переходів, установок і вживаних інструментів. Технологічна карта — документ, в якому описаний: процес обробки деталей, матеріалів, конструкторська документація, технологічне оснащення.

**Структурні складові технологічного процесу.** Структурно технологічні процеси виготовлення виробу складаються з декілька основних складових, що представленні на рис.6.2. Для зварювального виробництва такими складовими технологічними процесами є: підготовки матеріалу; отримання заготовок із матеріалів; одержання деталей із заготовок; складання та зварювання вузлів і виробів із деталей(вузлів); завершального оброблення; допоміжні. *Підготовка матеріалу* включають такі операції як прання та очищення. *Технологічні процеси отримання заготовок та деталей* включають такі операції: підготовки поверхонь, розмічання, різання, згинання, штампування, механічне оброблення тощо.

*Технологічні процеси складання та зварювання* об'єднують операції зі складання до зварювання, безпосередньо зварювання окремих деталей, вузлів в цілому.

*Операції завершального оброблення* – це технологічні операції оброблення поверхні зварних швів, правка, термооброблення зварних з'єднань тощо.

Основні технологічні процеси виробництва зварних конструкцій супроводжуються допоміжними технологічними операціями:

*операції безпосередньо пов'язані з основним виробництвом* (транспортні, налагоджувальні, контрольні, виготовлення технологічної оснащення);

операції обслуговування (ремонтні, прибирання тощо).

**Засоби технологічного спорядження.** Структурним елементом для реалізації технологічного процесу є засоби технологічного спорядження.

*Технологічне спорядження* - це сукупність технологічного устаткування, технологічної оснащення та засобів механізації і автоматизації виробничих процесів.

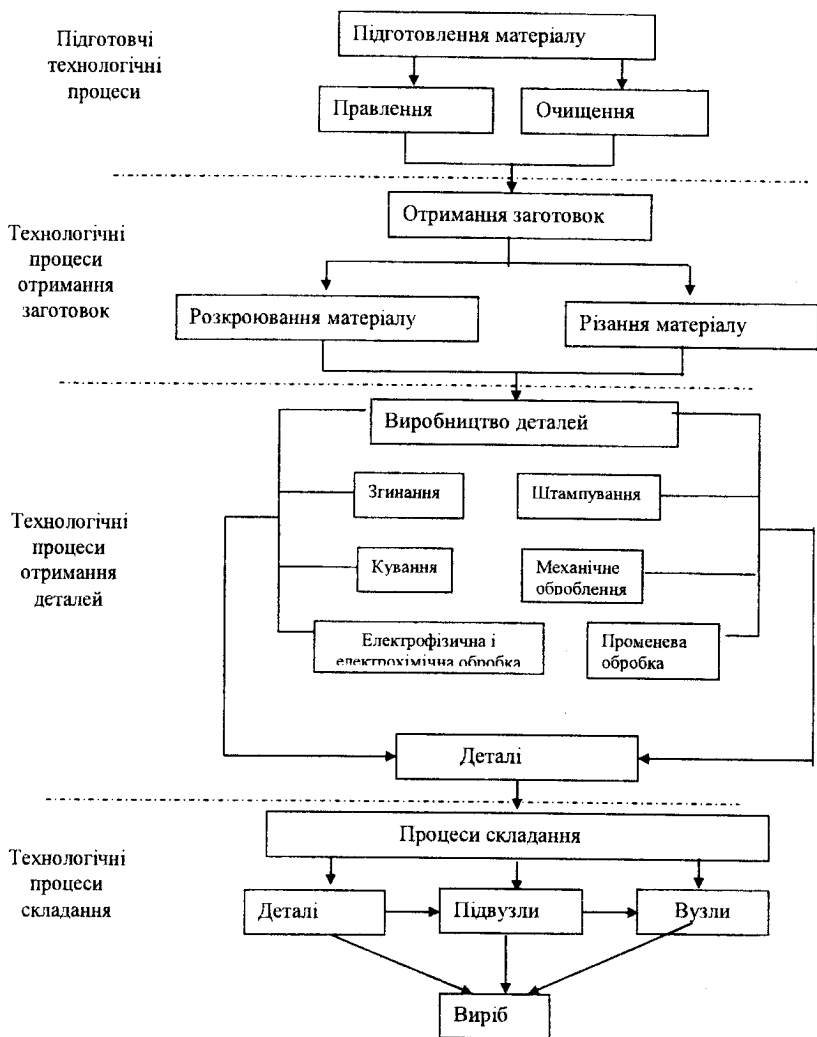


Рис.6.2. Структурні складові технологічного процесу

*Технологічне устаткування* — це засіб технологічного оснащення, в якому для виконання певної частини технологічного процесу розміщують матеріали або заготовки, засоби дії на них, а також технологічне оснащення. До них відносять, наприклад, зварювальні установки.

*Технологічне оснащення* — це засіб, доповнюючий технологічне устаткування для виконання певної частини технологічного процесу, а саме сукупність пристосувань для установки і закріплення заготовок і інструментів, виконання складальних операцій, транспортування заготовок, деталей або виробів. Стосовно зварювального виробництва технологічне оснащення називають складально-зварювальною оснащенням. Складовою технологічного оснащення є пристрій.

*Пристрій* — додаткове обладнання до технологічного оснащення або устаткування, які застосовуються для установлення або спрямування предмету праці чи інструменту, полегшення умов праці, підвищення її продуктивності.

*Механічне обладнання* - сукупність інструменту, пристроїв, механізмів, машин та приладів, які виконують допоміжні операції при виготовленні зварних конструкцій (наприклад, переміщення виробу або зварювальних апаратів)

*Інструмент* - виконавчий механізм, за допомогою якого суттєво змінюють стан предмету праці.

*Механізм* — кінематичний пристрій, який призначений для здійснення певних рухів.

*Машина* — комплекс механізмів, призначений для виконання певної роботи, пов'язаний з процесом виробництва, транспортування або з процесом перетворення енергії

**Організація технологічного процесу в часі.** Основою організації технологічного процесу в часі є виробничий цикл.

Виробничий цикл - інтервал часу від початку до закінчення виготовлення продукції. Це час, протягом якого предмети праці, що запускаються у

виробництво, перетворюються на готову продукцію. Основою виробничого циклу є технологічний час, який разом з перервами складає операційний цикл.

Тривалість операційного циклу залежить від кількості предметів праці в оброблюваній партії, часу обробки кожного, кількості робочих місць, на яких виконується дана операція і від того, яким чином предмети праці партії передаються з операції на операцію. Рух предмета праці зветься технологічним маршрутом.

*Маршрут (технологічний)* – послідовність проходження предмета праці виробничих підрозділів підприємства під час здійснення певного технологічного процесу. Існує три види руху виробів по операціях технологічного процесу: послідовне; паралельне; паралельно-послідовне.

*Послідовний рух* предметів праці характеризується тим, що партія предметів праці передається з операції на операцію повністю. Кожна подальша операція починається лише після закінчення обробки всієї партії на попередній операції. Недоліком послідовного руху є велика тривалість операційного циклу. Перевагою – простота організації.

*Паралельний рух* характеризується тим, що предмети праці передаються на подальшу операцію і обробляються негайно після виконання попередньої операції незалежно від готовності всієї партії. При цьому значно скорочується тривалість операційного циклу, але важко досягти синхронності виконання операцій, унаслідок чого виникають перерви в роботі устаткування.

*Паралельно-послідовний (змішане) рух* характеризується тим, що обробка предметів праці на подальшій операції починається до закінчення обробки всієї партії на попередній операції, тобто є деяка паралельність виконання операцій. При цьому ставиться умова, аби партія безперервно оброблялася на кожному робочому місці.

## **6.2. Підготовчі процеси зварювального виробництва**

Під час виготовлення, транспортування та складування у металевих напівфабрикатів може сформуватися відхилення їх геометричної форми (хвилястість, кривизна, тощо) і забруднення поверхонь у вигляді окислів, іржі тощо.

З метою усунення цих дефектів застосовують так звані підготовчі операції, а саме: правку і очищення.

### 6.2.1. Правка металевих напівфабрикатів

Для випрямлення сортового і профільного прокату застосовують правку. Правка – різновид технології обробки тиском. Правка листів малої і середньої товщини виробляється в холодному стані. Для правки листів товщиною понад 40 мм застосовують гарячу правку. Профільний прокат і труби правлять як в холодному, так і в гарячому стані.

*Правка листового матеріалу* (рис.6.3.). Для холодної правки листового матеріалу застосовують листопрямильні вальці. У цій машині правка відбувається за допомогою роликів.

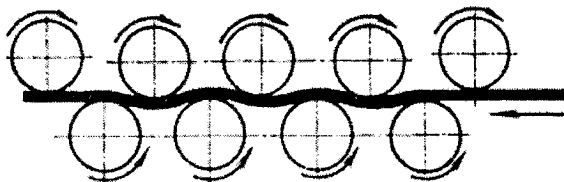


Рис.6.3. Схема правки листового матеріалу на листопрямильних вальцях

Лист рухається за рахунок тертя, що виникає між поверхнею роликів і матеріалом. Лист прямує між рядами роликів, при цьому зазор між ними робиться таким, аби під час просування лист кілька разів піддавався знаковмінному вигину. Правка відбувається за два-три переходи. Величину прогину можна регулювати, переміщаючи верхній ряд роликів по вертикалі. Число роликів на листопрямильних вальцях від 5 до 11. Для правки тонких листів необхідне більша кількість роликів. Правка дуже тонких листів відбувається на правильно-розтяжних машинах.

*Правка сортового матеріалу.* Правка сортового матеріалу різних профілів (швелер, кутник і ін.) відбувається на сортопрямильних вальцях, які працюють за тим же принципом, що і листопрямильні машини. Машини такого типа мають від 5 до 9 консольних роликів. Конфігурація роликів в розрізі відповідає профілю сортового металу. Швидкість правки 0,01-0,05 м/сек.

Правку сортового матеріалу можна виконувати і на згинально- правильних пресах. На таких пресах ділянка металу, що підлягає правці, поміщається між двома опорами і , при цьому опукла частина профілю встановлюється проти давильника (рис. 6.4). Випрямлення профілю відбувається за рахунок зусиль рухливого інструменту. Опори робляться рухливими в напрямі, перпендикулярному до руху інструменту, що дозволяє міняти відстань між опорами залежно від характеру викривлення профілю.

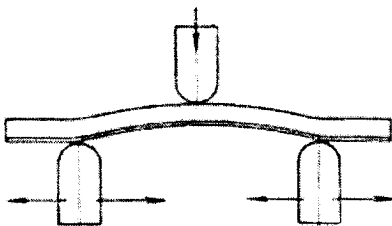


Рис. 6.4. Схема правки прокату на пресах

Для правки профілю виготовляють преса із зусиллям до 500 т, за допомогою яких можна випрямляти сортовий прокат, що має найбільший розмір по перетину до 450 мм і довжина до 10 м.

Правку прутків і труб невеликого діаметру виробляють на ролико-правильних верстатах. Труби великих діаметрів виправляють на правильних пресах.

### 6.2.2. Очищення металевих напівфабрикатів

Через технологію виробництва на поверхні сталі утворюється окалина. За час транспортування і знаходження на складі на поверхні сталі може утворитися іржа і з'явитися забруднення. Іржа – продукт корозії заліза, що утворюється під дією кисню у присутності води, і є основним виглядом забруднення металеві поверхні. Бура рихла маса іржі складається головним чином з водного окислу заліза, не пов'язаного з металом, тому не захищає його від подальшого руйнування. Її склад приблизно відповідає формулі  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ . Іншим різновидом неметалічних з'єднань з числа спостережуваних на

поверхні сталі є окалина, яка утворюється в процесі виговлення металу. Окалина є закисом – окислом заліза  $Fe_3O_4$ .

При автоматичному зварюванні під шаром флюсом металу, покритого окалиною, в шві може з'явитися пористість. При значній кількості окалини слід чекати серйозних змін хімічного складу і фізичних властивостей шлаку, що утворюється при зварюванні. Забруднення поверхні металу з'єднаннями типу  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  (пісок, глинозем і ін.) може в тій або іншій мірі змінити хімічний склад і фізичні властивості шлаків, що утворюються при зварюванні. Іржу, окалину і забруднення на поверхні металу можна видаляти різними способами:

- хімічним (травлення розбавленими кислотами);
- термічним (методами газополум'яної обробки металу);
- механічним (на металоріжучих верстатах, абразивними інструментами, сталевими щітками і ін.).

*Очищення травленням* – різновид мокрого хімічного очищення. Для цієї мети застосовують слабкі розчини кислот, в які занурюють або якими змочують оброблювані поверхні або вироби. Після травлення метал нейтралізують промивкою спеціальними розчинами або водою і сушать.

*При термічному методі* очищення прокату від окалини і іржі застосовують багатополум'яний газовий пальник. При очищенні поверхня нагрівається до температури  $150-200^{\circ}C$ . Якщо поверхня очищається за два проходи пальника, то останній прохід здійснюється після повного охолодження металу. Відділення окалини пояснюється відмінністю коефіцієнтів лінійного розширення заліза і його оксидів. Іржа  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$  зневоднюється при нагріві. У пальники подається суміш різних горючих газів з киснем: природний газ, пропан, бутан, ацетилен і ін. Пальник за один прохід нагріває поверхню шириною до  $150-200$  мм. Швидкість переміщення її  $0,5-10$  м/мин. Газополум'яне очищення обов'язково супроводиться механічним чищенням.

*Механічне очищення* металу можна виконувати на металоріжучих верстатах одночасно з обробкою кромки зварних швів. Поверхню металу очищають також шліфувальними кругами і щітками з електроприводом. Проте,

основними способами очищення поверхні металевих заготовок є дробеметальний спосіб, а також піскоструминне і дробеструминне очищення.

*Пневматичне піскоструминне і дробеструминне очищення.* Дія струменя піску або дробу на поверхню аналогічно дії абразивних матеріалів. Застосовують піскоструминні і дробеструминні камери періодичної дії. У камеру поміщають партію заготовок, які після очищення прибирають. Досконалішими є камери безперервної дії. Через них заготовки проходять безперервно на транспорті і піддаються дії струменя від сопел, закріплених усередині камери в різних місцях з метою максимального обхвату оброблюваної поверхні за одну установку або один прохід. Швидкість подачі металу (швидкість транспортера) 0,9-1,0 м/мін; витрата піску близько 3200 кг/ч.

### **6.3. Процеси отримання заготовок**

Отримання заготовок відноситься до заготівельних операцій з обробки металевих напівфабрикатів з метою їх поділення на ділові частини – заготовки. У зварювальному виробництві це в основному операції пов'язані з розкроюванням та розділювальним різанням.

#### **6.3.1. Розкроювання матеріалу**

Розкроювання – операція, що передує розділювальному різанню і має дві складові: розмічання та побудову карти розкрою.

*Розмічанням* називається операція, що полягає в перенесенні на поверхню заготовки з креслення або зразка розмірних точок або ліній з врахуванням припусків, необхідних для подальшої обробки. Розрізняють припуски трьох видів: припуски на обробку, припуски на деформацію і конструктивні припуски. Припуски на обробку враховують особливості методів обробки, наприклад, при обробці різанням величину шару матеріалу, який необхідно зняти, аби отримати рівну і гладку поверхню деталі згідно класу чистоти, передбаченому кресленням. Припуски на деформацію повинні враховувати закони зміни форми заготовок через термомеханічні процеси, притаманні технологічному методу обробки, наприклад, усадкові процеси від зварювання. Конструктивні припуски необхідні при виконанні складально-зварювальних операцій.



Розрізняють два методи розмічання: за шаблоном і плазовий. Метод за шаблоном полягає в перенесенні розмірів на матеріал по задалегідь розроблених ескізах розгортках. Ескізи містять розміри, обчислені за даними робочих креслень деталей. Плазовий метод розмічання полягає в тому, що розгортка виконується у натуральну величину на спеціально підготовленій площині, званій плазом, або безпосередньо на метали. В більшості випадків доводиться мати справу з розмічанням листового матеріалу. Заготівка, отримана з листового матеріалу, носить назву розгортки. При викреслюванні розгортки на аркуш мають бути нанесені всі розміри, необхідні для визначення лінії обрізання, обробки кромки, просвердлення або просічення отворів, а також лінії, по яких плоска розгортка згортається в просторову фігуру. При розмічанні застосовуються різні вимірювальні і спеціальні розмічальні інструменти. Для поліпшення видимості розмічальних ліній слід вибивати на них за допомогою кернера на невеликій відстані один від одного ряд неглибоких точок. Розмічання найчастіше виконують на спеціальних чавунних розмічальних плитах.

При серійному виготовленні деталей значно вигідніше застосовувати замість індивідуальної розмітки копіювання. Копіювання (позначка) – нанесення форми і розмірів заготовки за шаблоном або готовою деталлю. Операція копіювання полягає в наступному:

- на аркуш матеріалу накладається шаблон або готова деталь;
- шаблон скріплюється з аркушем за допомогою затисків;
- обкреслюються зовнішні контури шаблону;
- для поліпшення видимості ліній виконують кернування.

Шаблони виготовляють по ескізах з врахуванням всіх видів припусків. Матеріалом для шаблонів можуть служити тонколистова сталь, жерсть, картон.

*Розкроювання.* Під час розмічання заготовок (деталей) їх необхідно розташовувати на листах металу в такий спосіб, щоб відходи матеріалу були мінімальними. Розташування заготовок деталей на матеріалі називається розкромом. Існують три основні способи розкрою листів:

1. І н д і в і д у в а л ь н и й розкрой, при якому матеріал розрізають на смуги для виготовлення однойменних деталей.
2. Г р у п о в и й розкрой. При цьому вигляді розкрою спочатку з аркуша вирізуються крупні заготовки, з відходів розкроюються деталі середньої величини, а обрізання використовуються для дрібних деталей. Цей розкрій є найбільш прогресивним для одиничного виробництва.
3. З м і ш а н н и й розкрой, при якому на аркуші розмічають комплект деталей. Змішаний розкрой дозволяє зберегти метал, але при цьому збільшується трудомісткість, оскільки зростає кількість операцій і переналадок устаткування.

Для розкрою розробляють карти розкроїв, які представляють ескізи розміщення деталей на металі, викреслені в масштабі на аркуші паперу. Карти розкроїв складають з таким розрахунком, аби розмістити на листах весь необхідний для виготовлення вузлів комплект деталей і забезпечити найбільш раціональне і зручне різання заготовок.

### 6.3.2. Розділювальне різання

Технологічний процес розділювального різання полягає в примусовому відділенні одна від одної частин заготовок деталей за результатами попереднього розкрою (розмітки) . На сьогодні основні способи розділювального різання поділяють на: механічні, термічні і гідравлічні.

*Механічне різання.* Механічне різання (без утворення стружки) ґрунтується на процесі примусового під дією зовнішніх сил  $P$  зміщення однієї частини заготовки відносно іншої в напрямку перпендикулярному площині заготовки, що призводить до утворення по товщині металу в зоні різку дотичних напружень  $\tau$ , які перебільшують критичне для цього металу значення.(рис. 6.5.)

До механічного різання відносяться такі основні операції: розрізання (поділ матеріалу на частини за незамкнутим контуром), відрізання (повне відділення матеріалу за незамкнутим контуром), вирубання (поділ матеріалу за замкнутим контуром), пробивання (створення отворів).

*Розрізання.* Цю операцію виконують за допомогою ножиць. Існують декілька видів відрізних ножиць: гільотинного типу, дискові, комбіновані та

вібраційні. Ножиці гільйотинного (рис.6.6.) типу складаються з двох прямолінійних лез – верхнього рухомого 3 і нижнього нерухомого 2, розташованих під деяким кутом. Гільйотинні ножиці дозволяють виконувати прямолінійний різ листового металу товщиною до 40мм і довжиною до 8м.

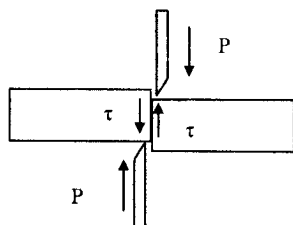


Рис.6.5. Принципова схема механічного різання

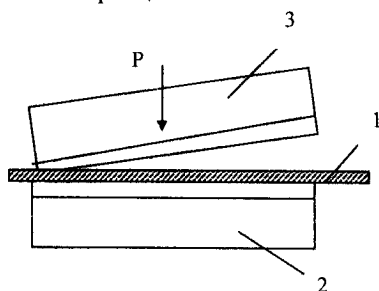


Рис.6.6 Схема гільйотинних ножиць

Дискові (круглі) ножиці (рис.6.7) використовують для різання листового металу з необмеженою довжиною різку, а також для криволінійного різання.

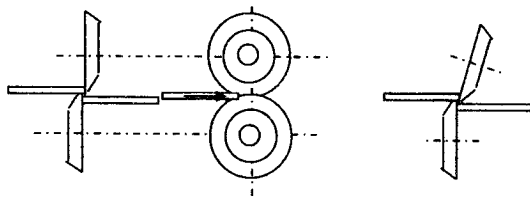


Рис.6.7. Дискові ножиці

Ріжучим інструментом є ножі-диски, розташовані один над іншим і що обертаються при роботі в різні боки. Для різання прямолінійних фігур осі ножів паралельні, а для криволінійних фігур (отвори) ножі і їх осі розташовуються під кутом. Подавати аркуш в диски не потрібно. Диски, обертаючись, самі затягують лист.

Камбіновані ножиці (пресс-ножиці) призначенні в основному для різання сортового та профільного прокату.

Вібраційні ножиці використовують для прямолінійного та фігурного різання листового прокату товщиною до 5мм.

*Відрізання.* Операція, яка виконується на спеціалізованому обладнанні, призначеному для різання фасонного і профільного прокату в тому числі і під кутом. В зварювальному виробництві широко використовують відрізні верстати з дисковими і стрічковими пилами, з абразивними відрізними кругами та трубовідрізні верстати.

Круглопилкові відрізні верстати в якості ріжучого інструменту оснащені зубчастим дисковими пилами із швидкорізальної сталі діаметром до 600мм. Для обробки прокатних профілів великого перерізу часто використовують стрічкові пили (рис.6.8.) Стрічкова пила представляє собою бескінечно замкнуту стрічку, яка обертається зі швидкістю 60...120м/хв.

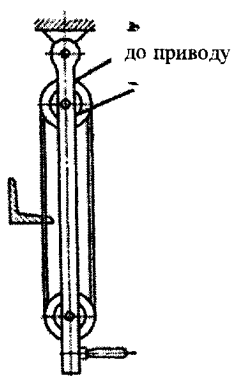


Рис. 6.8. Стрічкова пила

Відрізання із застосування стрічкових (фрікційних) пил засновано на використанні сил тертя, що виникають при русі стрічки. Листи металу завтовшки до 3 мм можна різати сталевією стрічкою. При різанні металів більшої товщини рекомендується використовувати стрічку оздоблену зубцями, із спеціального матеріалу які служать для видалення з розрізу розплавленого металу. Абразивно-відрізні верстати дозволяють отримувати розріз під кутом  $0...45^\circ$ .

*Вирубвання, пробивання, проколювання.* Ці операції відносяться до різання штампуванням на пресах шляхом відділення частини металу від заготовки по замкнутому контуру. Характерною особливістю штампування є вживання двох деформуючих інструментів – пуансона і матриці. Пуансон і зазвичай виготовляють у вигляді суцільного сердечника, в матриці 2 є отвір для проходу пуансона. Поперечний розмір пуансона у всіх випадках має бути менше внутрішнього розміру отвору матриці (рис. 6.9). Вирубна матриця і пуансон мають гострі ріжучі кромки, а зазор між ними значно менше товщини матеріалу і складає зазвичай 10 % товщина металу.

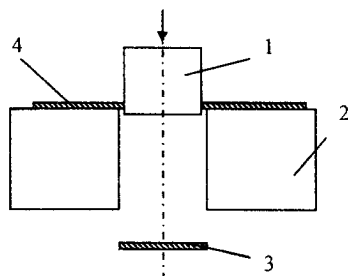


Рис. 6.9. Схема вирубни заготовки

1- пуансон; 2 – матриця; 3- заготовка; 4 – лист.

*Трубовідрізні* верстати призначаються для мірного відрізання труб та підготовки крайок ( фаски) торця труби до подальшого зварювання.

*Термічне різання.* Це технологічний процес розділення металу на частини шляхом його окислення або плавлення з одночасним видаленням оксидів і розплавів з зони різання. Основними способами термічного різання є кисневе, газоелектричне і лазерне.

Кисневе різання здійснюється за рахунок спалювання металу в струмені кисню, який одночасно служить для видалення продуктів згорання.

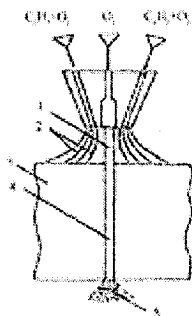


Рис. 6.10. Схема кисневого різання

Метал 3, що підлягає різанню, заздалегідь нагрівається підігрівачим полум'ям різача 2, яке утворюється в результаті згорання горючого газу в суміші з киснем ( $C_2H_2+O_2$ ). Досягши температури займання металу в кисні, на різачу відкривається вентиль чистого кисню(99-99,8%) і починається процес різання. Чистий кисень 1 з центрального каналу мундштука, призначений для окислення металу, що розрізається, і видалення оксидів, називають різальним на відміну від кисню підігрівачогого полум'я, що поступає в суміші з горючим газом з бічних каналів мундштука. Струмінь різального кисню витісняє в розріз 4 розплавлені оксиди 5, які, у свою чергу, нагрівають наступний шар металу, сприяючи його інтенсивному окисленню по усій товщині, а розплавлені оксиди видаляються із зони різання під дією струменя

Цей спосіб різання застосовують в дрібносерійному виробництві для оброблення низько- і середньовуглецевих сталей, а також низьколегованих сталей і титанових сплавів при товщині заготовок до 2000 мм. Кисневе різання виконують уручну різними різачами з комплектами змінних мундшуків для полум'я різної потужності, а також на переносних і стаціонарних машинах з програмним управлінням. Для оброблення високолегованих тугоплавких сталей, мідних і алюмінієвих сплавів з великою теплопровідністю в зону різання додатково подають флюс — залізний порошок, при згоранні якого в цій зоні підвищується температура. Шлаки, що утворюються при цьому,

розріджуються і легко віддаляються кисневим струменем. Недоліком кисневого різання разом із значними втратами металу, що згорає, є те, що в заготовках (особливо з високовуглецевих і легованих сталей) залишається зона термічного впливу глибиною 0,5 ... 3 мм. У цій зоні утворюється гарт і істотно підвищується твердість металу, що утрудняє його подальшу обробку. Для запобігання даному явищу необхідно застосовувати підігрівання металу перед різанням і уповільнене охолодження після неї. До недоліків цього способу різання слід також віднести велику витрату кисню і загазованість робочих приміщень.

*Анодно-механічне* різання (рис.6.11.) засноване на термічному і електрохімічному руйнуванні металу при проходженні електричного струму між заготовкою 3 (анодом) і інструментом 1 (катодом) у вигляді металевого диску. Сила струму складає 80 ... 450 А в залежності від товщини металу. Процес різання ведуть в середовищі електроліту 2, який подається в зону різання.

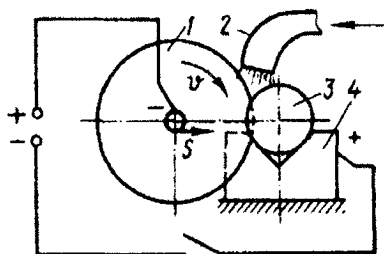


Рис.6.11. Схема анодно-механічного різання

Електролітом служить водний розчин рідкого скла (силікату натрію  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). При проходженні через електроліт постійного електричного струму на поверхні анода (заготовки) відбуваються хімічні реакції. Хімічні сполуки, що утворюються в результаті, у вигляді відходів переходять в розчин (це явище називається анодним розчиненням при електролізі) і віддаляються механічним способом. Окрім процесу анодного розчинення при даному способі різання в зоні контакту заготовки з інструментом відбувається також процес електроерозії — руйнування електродів із струмопровідних матеріалів при пропусканні між ними електричного струму. Крім того, при пропусканні електричного струму

метал заготовки в місці контакту з інструментом нагрівається унаслідок виникнення імпульсних дугових розрядів, розм'якшується або навіть розплавляється і віддаляється із зони різання механічним шляхом за рахунок відносного руху заготовки і інструменту. Окрім дисків для анодно-механічного різання застосовують також проволоку або нескінчену стрічку, кінці якої сполучають паянням. Товщина стрічки складає 0,5... 1 мм, ширина — 15 ... 40 мм, швидкість різання стрічкою — 20 м/с. Анодно-механічним різанням можна обробляти будь-які струмопровідні метали; її доцільно застосовувати у тих випадках, коли механічне різання неможливе або викликає затруднення.

*Електроіскрове* різання здійснюється дисковим або стрічковим інструментом у ванні з рідким діелектриком (гас, вода і ін.). Заготовка (анод) і інструмент (катод) підключені до конденсаторної батареї. У міру заряду конденсатора напруга на електродах (диску і заготовці) збільшується і, коли воно досягає пробійного значення, між інструментом і заготовкою відбувається іскровий розряд. Частота розрядів, складає декілька сотень в секунду. У момент розряду розвивається висока (до 10 000 °С) температура, що викликає вибухоподібне плавлення, згорання і випар металу. Диск обертаючись проникає в заготовку. Безперервність процесу забезпечується підтримкою певного зазору між інструментом і заготовкою, що виконується автоматично, оскільки електроіскрові верстати мають слідкуючу систему і механізми автоматичної подачі інструменту або заготовки.

Диски, що виготовляються з латуні або мідно-графітової маси, володіють невисокою стійкістю. Електроіскрове різання доцільно застосовувати для оброблення важкооброблюваних високоміцних і твердих сплавів, а також таких металів, як тантал, вольфрам, молібден і ін.

*Плазмове різання.* Розрізняють два способи плазмового різання : плазмове-дугове і різання плазмовим струменем (рис.6.12.).

При плазмено-дуговому різанні дуга горить між неплавким електродом і металом (дуга прямої дії), що розрізається. Стовп дуги поєднаний з високошвидкісним плазмовим струменем, який утворюється з газу (азоту, аргону, водню або їх сумішей) , що поступає, за рахунок його нагріву і іонізації



під дією дуги виходить у вигляді струменя плазми — сильно іонізованого газу з температурою 10 000. . 30 000 ° С.

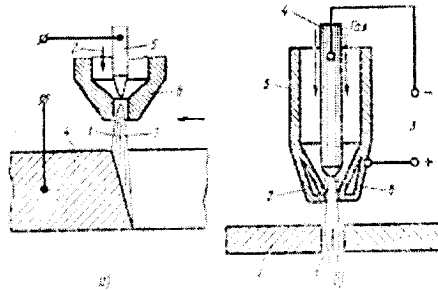


Рис.6.12. Схеми плазмового різання

а- плазмено-дугове різання ( 1-дуга; 2 - газ; 3 – плазма; 4 – метал; 5 – електрод; 6 – плазматрон ).

б- різання плазмовим струменем (1 – плазма; 2 –охолодження; 3 – джерело живлення; 4 – електрод; 5 – плазматрон; 6 – дуга; 7 – метал).

При різанні плазмовим струменем дуга горить між електродом і формувальним наконечником плазматрона, а оброблюваний об'єкт не включений в електричний ланцюг (дуга побічної дії). Частина плазми стовпа дуги виноситься з плазматрона у вигляді високошвидкісного плазмового струменя, енергія якого і використовується для розрізання.

Плазмено-дугове різання ефективніше і широко застосовується для обробки металів. Різання плазмовим струменем використовується рідше і переважно для обробки неметалічних матеріалів, оскільки вони не обов'язково мають бути електропровідними.

Механізм переміщення плазматрону в процесі різання управляється системою ЧПУ. Плазмове різання економічніше, ніж різання на пилах. Глибина зони термічного впливу не перевищує 0,8 мм. Цей спосіб можна застосовувати для оброблення будь-яких металів товщиною до 300 мм. Він особливо ефективний при різанні тугоплавких високоміцних сталей і сплавів, а також мідних і алюмінієвих сплавів з великою теплопровідністю.

*Лазерне різання.* Лазерне різання (рис.6.13.) відтворюється шляхом локального розігрівання металу сфокусованим на його поверхню лазерним

випромінюванням. Невелика доля падаючого випромінювання поглинається поверхневим шаром і наводить до його нагрівання.

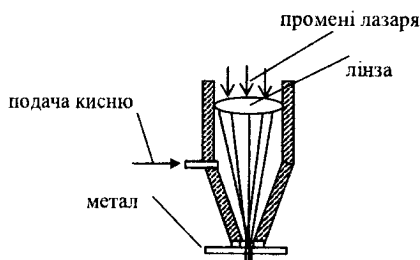


Рис. 6.13. Схема лазерного різання

Плівка оксидів, що утворюється, збільшує долю енергії, що поглинається, і температура металів зростає до точки плавлення. Одночасно з цим подається активний газ (зазвичай кисень), який:

- підтримує горіння металу, істотно збільшуючи цим швидкість різку і товщину металу, що розрізає;

- видуває продукти горіння і очищає різ, що дає можливість отримати якісні кромки;

- інтенсивно охолоджує прилеглі до зони різку ділянки металу.

Рідкий метал і оксиди видуваються струменем кисню із зони різання, полегшуючи тим самим окислення розташованих нижче шарів. Це продовжується до тих пір, поки метал не прорізатиме на повну глибину. Висока концентрація енергії і незначна зона термічного впливу дозволяють отримати паралельні кромки при малій ширині різку (близько 0,2 мм).

Технологія різання і розкрою матеріалів використовує лазер високої потужності і зазвичай використовується на промислових виробничих лініях. Сфокусований лазерний промінь, зазвичай керований комп'ютером, забезпечує високу концентрацію енергії і дозволяє розрізати практично будь-які матеріали незалежно від їх теплофізичних властивостей. Лазерне різання відрізняється відсутністю механічної дії на оброблюваний матеріал, виникають мінімальні деформації, як тимчасові в процесі різання, так і залишкові після повного

охолодження. Внаслідок цього лазерне різання, навіть нежорстких заготовок і деталей можна здійснювати з високою мірою точність. Завдяки великій потужності лазерного випромінювання забезпечується висока продуктивність процесу у поєднанні з високою якістю поверхонь різу. Легке і порівняльне просте управління лазерним випромінюванням дозволяє здійснювати лазерне різання по складному контуру плоских і об'ємних деталей і заготовок з високою мірою автоматизації процесу.

*Гідрообразивне різання.* Суть методу полягає в розрізанні металів потоком рідини під великим тиском з використанням або без використання абразивів (отже як правило замість терміну «гідрорізка» вживають «водорізання» або «акварізання»).

Як абразив часто застосовуються порошки твердих сплавів, карбідів, оксидів. Гідрообразивне різання металу дозволяє виробляти точний розріз, шириною 0,6-2,0 мм, з мінімальними відходами матеріалів. дозволяє виконувати роботи по різанню чорного металу, неіржавіючої сталі, латуні, алюмінію і його сплавів, а також міді, титану і конструкційної сталі.

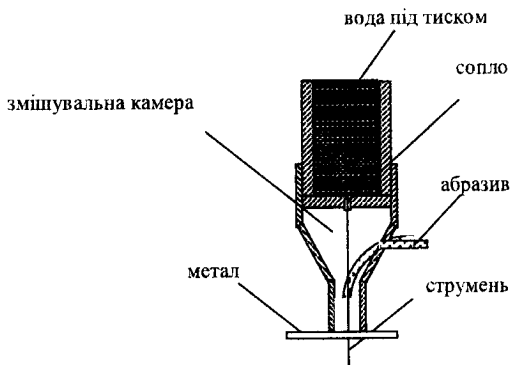


Рис. 6.14. Схема гідрообразивного різання

Процес різання металу водою відрізняється низьким рівнем шуму, і не є вибухонебезпечним, оскільки немає накопичення тепла. Він також безпечний для довкілля, оскільки не утворює шлаків, радіоактивних викидів і пилу.

## 6.4. Процеси оброблення заготовок і деталей

В процесі оброблення заготовок або деталей виникає необхідність змінювати їх розміри та форму. Ці зміни досягаються різними способами обробки: різанням, вирубкою, згинанням, вальцюванням, обкаткою, витягом, формуванням, механічною і тепловою обробкою. Різанням, вирубкою і механічною обробкою змінюють розміри заготовки. Згинання, вальцювання, обкатка, витяг, формування дозволяють змінювати форму заготовки, не зменшуючи її об'єму. Вибір способу обробки залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, вимог до якості поверхонь, а також від наявності на підприємстві устаткування.

### 6.4.1. Операції згинання

Згинанням називається процес зміни форми заготовки під дією зусиль, прикладених в одній або декількох площинах, розташованих під заданим кутом один до одного. Зона деформації в процесі згинання і займає порівняно невелику долю об'єму заготовки. Як видно рис. 6.15. внутрішні шари матеріалу стиснуті, зовнішні – розтягнуті. Лінія, по якій матеріал не стискується і не розтягується, називається нейтральною.

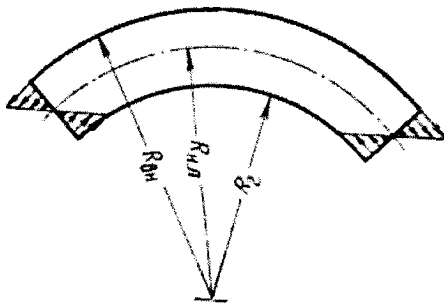


Рис.6.15. Розподіл напружень в матеріалі під час згинання:

$R_{вн}$  – зовнішній радіус деталі;  $R_{нл}$  – радіус нейтральної лінії;  $R_г$  – радіус згинання

Згинання виконують як в холодному, так і в гарячому стані. Коли  $R_{нл} > (20-25)\delta$ , застосовують згинання в холодному стані. Коли  $R_{нл} < (20-25)\delta$ ,

застосовують згинання в гарячому стані, де  $R_{нл}$  – радіус нейтральної лінії;  $\delta$  – товщина заготівки.

Унаслідок того, що в процесі згинання, зовнішні волокна матеріалу, що згинається, розтягуються, на зовнішній поверхні при надмірному подовженні волокон можуть виникнути тріщини. Із зменшенням радіусу згинання можливість виникнення тріщин збільшується. Величина мінімального радіусу, при якому ще не з'являються тріщини, визначається за табличними даними залежно від товщини матеріалу. У загальному випадку мінімальний радіус згинання  $R_3$  визначається з умов, при яких найбільша деформація розтягнутого волокна викликає напруження, що не перевищує 80 % межі міцності при розтягуванні  $\sigma_v$ .

Оскільки при згинанні в холодному стані в матеріалі виникають як пластичні, так і пружні деформації, то після проведення операції радіус згинання деталі завжди виявляється більше радіусу інструменту. Різниця між величиною кута між площинами деталі після згинання і кута інструменту називається кутом пружнення (рис.6.16.).

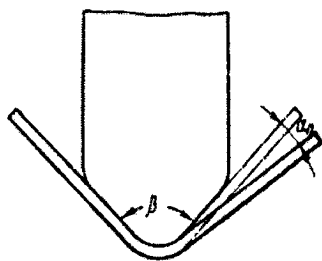


Рис. 6.16. Схема згинання:

$\beta$  - кут між згинаючими площинами;  $\alpha_n$  - кут пружнення

Величина кута пружнення залежить від властивостей матеріалу, від відношення величини внутрішнього радіусу вигину до товщини матеріалу  $R_3/\delta$ , від величини кута згинання, а також від умов проведення згинання. Для компенсації пружнення використовуються спеціальні методи.

**Згинання листових заготовок.** У зварювальному виробництві згинання листових заготовок найбільш широко застосовують для отримання деталей оболонкового типу різноманітними за формую та кривизни (вальцювання), а також спеціальних листових профілів(профілювання). Метал згинається в холодному або в гарячому стані

*Вальцювання* – вид згинання, при якій деформується весь об'єм заготівки. Вальцюванням виготовляють обичайки, конуса, кільця, бандажі і інші деталі, що мають постійний радіус по всій довжині вигину. Вальцювання здійснюється на горизонтальних тривалкових і чотиривалкових згинальних машинах - вальцях Простими вальцювальними машинами є тривалкові вальці (рис.6. 17.).

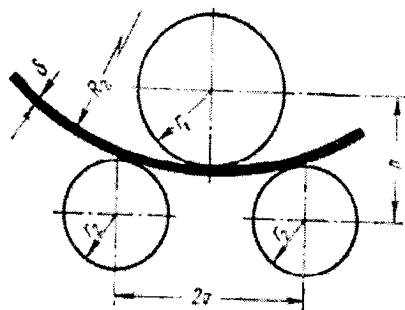


Рис.6.17. Взаємне розташування валків при згинанні на тривалкових вальцях.

У цих машинах рух задається двом нижнім валкам, які за рахунок тертя створюють поступальну ходу кромки листа. Верхній валок, що вільно обертається, має можливість переміщатися у вертикальному напрямі, створюючи різний радіус згинання. Для здобуття кіничної поверхні верхній валок ставлять в похиле по відношенню до нижніх валків положення. Головний недолік при згинанні на тривалкових вальцях - в деталях залишається плоскою крайова ділянка.

При роботі на чотиривалкових вальцях вказаний недолік майже не має місця, оскільки величина плоскої ділянки не перевищує одній-двох товщини матеріалу.

У чотиривалкових вальцях рух передається середнім валкам (рис.6.18.). Нижній валок може рухатися у вертикальному положенні. Два бічні валки

переміщуються по радіусу загину листа. Валки можуть змінювати своє положення одночасно або кожен окремо. Необхідний радіус кривизни деталі в машинах обох типів досягається при багатократному пропуску заготовок через вальці в протилежних напрямках, при цьому кожного разу посилюється притиск згинаючих валків.

Вальцювання є основною операцією при виготовленні обичайок. Заготовки обичайок отримують з листового матеріалу після проведення операцій правки, розмітки, різання і обробки кромки.

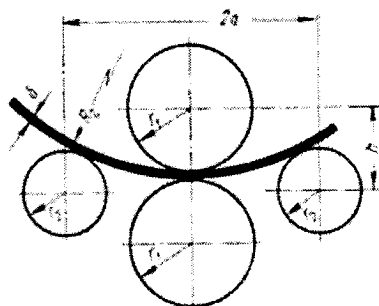


Рис. 6.18. Взаємне розташування валків при згинанні на чотиривалкових вальцях

Перед вальцюванням роблять підгинання крайових ділянок заготовки уручну, на гідравлічних кромкозгинальних пресах або шляхом втискування в загинальну матрицю на вальцях (рис. 6.19.).

При ручному підгинанні кінець листа встановлюють між валками так, щоб край листа був розташований паралельно осям валків. Лист притискують верхнім валком до нижніх валків і підгинають край кувалдою. Потім лист пересувається і аналогічні операції проводять для протилежного кінця. Після підгинання заготовку заводять у вальці і вальцюють в два-три проходи до здобуття необхідного радіусу згину. Правильність згинання перевіряється металевим шаблоном.

при проведенні вальцювання обичайок слід попереджати утворення наступних ефектів: перекіс кромки, перегин на радіус менше заданого, конусність, рчкоподібність, овальність (рис.6.20.).

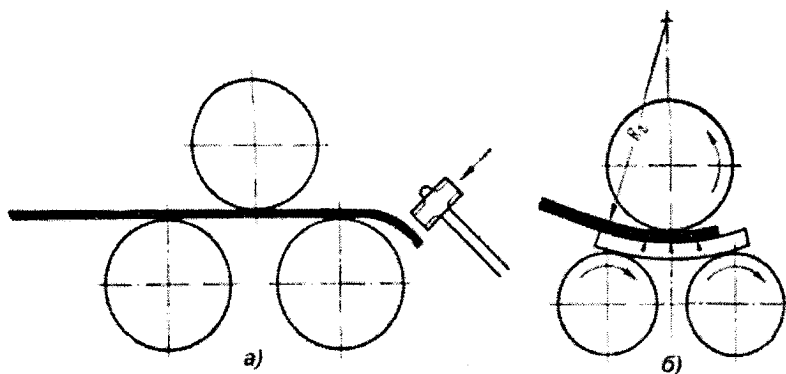


Рис .6.19. Підгинання крайових ділянок обечаек:

а – ручне підгинання; б – підгинання в загинальній матриці

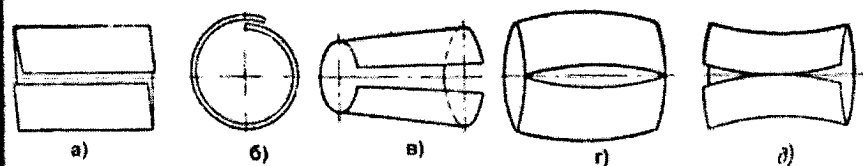


Рис.6.20. Дефекти згинання обичайки

а). Перекіс кромки виходить у тому випадку, коли не дотримується паралельність торцевої кромки листа з осями валків під час установки листа у вальцях.

б). Перегин на радіус меншого розміру відбувається унаслідок надмірного підтискання валків. Щоб уникнути перегину слід робити вальцювання в можливо більше число проходів, кожного разу перед початком вальцювання листа, підтискаючи валки на невелику величину. Після кожного проходу слід перевіряти радіус вальцювання за шаблоном.



в). Конусність є дефектом верстата і виникає унаслідок непаралельності розташування осей валків.

г). Овальність виникає унаслідок нерівномірності притиснення листа по всій довжині під час останнього проходу.

д). Бочкоподібність виникає при надмірному тиску на валки, що викликає викривлення останніх.

З листового металу шляхом вальцювання також виготовляють елементи оболонки подвійної кривизни, наприклад, пелюсток сферичних резервуарів. В цьому випадку листозгинальні вальці оздоблюються спеціальними валками: верхні у формі бочки, а нижні у формі ліжка подвійної кривизни.

Технологічний процес згинання листів в нагрітому стані полягає в наступному. Після розмітки і обрізання заготовка закладається в піч для нагріву. Температура нагріву і режим нагріву залежать від марки сталі, товщина стінки і вказуються в технологічних процесах термообробки. При проведенні гарячого згинання валки листозгинальної машини мають бути виконані із спеціальної термоміцної сталі. Перед гарячим згинанням рекомендується підігрівати валки за допомогою газового полум'я або електронагріву. Інакше перепад температур викличе високі напруження, які приведуть до швидкої поломки валка.

*Профілюванням* називається здобуття з листових заготовок спеціальних нестандартних жорстких і легких профілів, що мають різну форму перетину. Профілювання виконують в штампах (листозгинальні преси) або в спеціальних роликівих машинах (вальці).

Перший спосіб використовується для отримання відкритих, напівзакритих і закритих профілів, а також різних деталей, які мають гнуті ділянки. Згинання відбувається в штампах, пуансон і матриця яких мають профіль, відповідний профілю майбутньої деталі.

Профілювання на вальцях полягає в тому, що заготовка послідовно пропускається через декілька пар фасонних роликів, що мають різну форму. Перетин роликів відповідає профілю заготовки. Глибина виточок і висота виступів змінюється від мінімальних на вході заготовки до максимальних на

виході Кількість переходів і кількість пар роликів залежать від складності форми виробу, що виготовляється. Утворення профілю відбувається за один прохід через верстат в один бік. Виступи і канавки роликів, розташованих один за одним в одній площині і що обертаються з однаковою швидкістю в протилежних напрямках, видавлюють на поверхні деталі зіги (рис.6.21.). Якщо вигин формується в поперечній площині, то процес профілювання називається гофруванням. Гофрування здійснюється як впоперек заготовки, так і під деяким кутом.

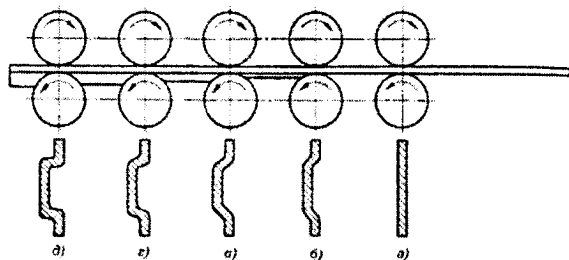


Рис.6.21. Схема процесу гофрування.

**Згинання сортового прокату.** Для згинання сортового прокату застосовують універсальні згинальні вальці. Валки (ролики) на таких верстатах змінні, з прорізами відповідно до профілю і розмірів поперечного перерізу заготовки. На згинальних вальцях можна загинати прокат різних профілів і розмірів: кутову сталь полицею назовні і полицею всередину, таврові балки, швелери, смуговий прокат при згинанні на ребро і ін. Згинання сортового прокату проводять як в холодному, так і в гарячому стані ( при згинанні профілів великого розміру, або у разі малого радіусу згину).

У разі згинання трубного прокату існують певні особливості, пов'язані з тим, що у процесі згинання на внутрішній стороні труби під впливом стискування можуть виникнути складки, а зовнішня сторона, навпаки, розтягується, що призводить до стоншування стінки. Крім того, деформації унаслідок згинання приводить до овальності перетину (рис.6.22.). Величина деформацій від згинання різко зростає із зменшенням товщини стінки, тому

найбільшу трудність представляє згинання тонкостінних труб. Згинання труб проводиться як в холодному, так і в гарячому стані.

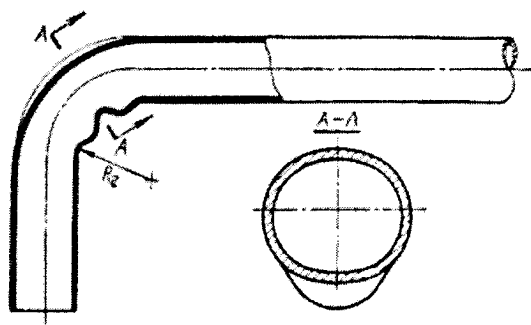


Рис.6.22. Дефекти, що утворюються при згинанні тонкостінних труб

Для запобігання утворенню дефектів застосовують різні способи, що дозволяють підтримувати стінки труби з внутрішньої сторони в час згинання. Найбільш поширеним способом є наповнення внутрішньої порожнини труб сипким або легкоплавким матеріалом: сухим чистим річковим піском, каніфоллю, свинцем і ін. При заповненні труб піском рекомендується його ущільнювати стислим повітрям або вібратором. З торцевих сторін труби мають бути міцно закриті дерев'яними або металевими пробками.

При згинанні труб на згинальних верстатах застосовуються спеціальні калібрувальні пробки – дорни (рис.6.23.). Вони виготовляються із м'яких матеріалів (мідь, алюміній).



Рис.6.23. Стандартний дисковий дорн.

Дорн перед згинанням вводиться всередину труби і підтримує стінки при вигині. Найбільш широкого поширення набули дорни, що мають ложкоподібну або кульову форму. За холодного згинання сталевих труб найменший радіус згинання по осі труби приймається не менше  $3D$  де  $D$  – діаметр труби., або має

бути не менше 20 товщини стінки. Мінімальний радіус згинання може бути значно зменшений при нагріві заготовок. Нагрівання проводиться відкритим полум'ям або індукційним струмом.

#### 6.4.2. Операції штампування

Штампування — процес пластичної деформації металу із примусовою зміною форми і розмірів заготовки згідно формуютьоворуючих пристроїв. Технологічним інструментом є штамп. Штамп - це раз'ємний пристрій з верхньою і нижньою складовою, внутрішній простір якого за формуку відповідає конфігурації майбутньої деталі. Існують два основні види штампування — листове і об'ємне. Листове штампування має на увазі використання як заготовку металевого листа (товщиною до 12 мм). При використанні не листової заготовки, штампування називається об'ємним. Для процесу штампування використовуються преси — пристрої, що дозволяють деформувати матеріали за допомогою механічної дії.

**Листове штампування.** Сутність способу полягає в процесі, де як заготовку використовують лист. Листовим штампуванням виготовляють найрізноманітніші плоскі і просторові деталі масою від доль грама і розмірами, обчислюваними долями міліметра (наприклад, секундна стрілка ручного годинника), і деталі масою в десятки кілограмів і розмірами, складовими декілька метрів (облицювання автомобіля, літака, ракети). Для деталей, що отримуються листовим штампуванням, характерне те, що товщина їх стінок трохи відрізняється від товщини вихідної заготовки. При виготовленні листовим штампуванням просторових деталей заготовка зазвичай супроводжується значними пластичними деформаціями. Ця обставина вимушує пред'являти до матеріалу заготівки досить високі вимоги до пластичності. Основні процеси листового штампування є: витягування, відбортуння, обтискування, калібрування:

- *витагування* – процес одержання порожнистої деталі замкнутого контуру;
- *відбортуння* – утворення борту з отвором за зовнішнім чи внутрішнім контуром;

- *обтискування* – зменшення поперечного перерізу порожнистої заготовки;
- *калібрування* – одержання точних розмірів і малої шорсткості поверхонь заготовок.

**Об'ємне штампування.** Об'ємне штампування — це вид обробки металів, при якому формоутворення деталі здійснюють із застосуванням в якості заготовок прокату круглого, квадратного, прямокутного профілів, а також періодичний. Об'ємне штампування розділяється на холодне і гаряче (з підігріванням). Використання об'ємного штампування виправдане при серійному і масовому виробництві. Штампуванням можна отримувати дуже складні за формою вироби. За допомогою об'ємного штампування виконують такі операції: обсадження, висаджування, видавлювання.

*обсадження* – процес зменшення вихідної заготовки з одночасним збільшенням її поперечних розмірів;

- *висаджування* – операція часткового осаджування заготовки;

- *видавлювання* – процес утворення порожнистих фасонних деталей з виступами, відростками.

### 6.4.3. Процеси кування

Якщо порівнювати процес кування з найбільш близьким процесом - об'ємним штампуванням, то виявляється, що гаряче об'ємне штампування в порівнянні з куванням дозволяє виготовити поковку, по конфігурації дуже близьку до готової деталі з більшою точністю і вищою продуктивністю.

Але при об'ємному штампуванні пластична деформація металу обмежена порожниною спеціального інструменту - штампу, який служить для здобуття поковки лише даної конфігурації, а при куванні можна отримувати заготовки різної конфігурації, використовуючи стандартний інструмент. Крім того, виготовлення штампу - досить дорога операція, тому штампування застосовується в серійному і великосерійному виробництві, а в одиничному і дрібносерійному виробництві економічно більш обґрунтовано використання кування.

**Кування** - спосіб обробки тиском, при якому деформація нагрітого (рідше холодного) металу здійснюється або багатократними ударами молота або однократним тиском преса. Формоутворення при куванні відбувається через вільне пластичне деформування металу в напрямках, перпендикулярних до руху деформуючого інструменту. Технологічний процес кування включає операції: різання вихідної заготовки в необхідний розмір, нагрів матеріалу до необхідної температури, формотворну операцію, очищення заготовок від окалини, контроль поковки. Куванням отримують всілякі поковки масою до 300 т. Первинною заготовкою для поковок є: злитки, для виготовлення масивних великогабаритних поковок; прокат сортовий гарячекатаний простого профілю (круг, квадрат). Кування може здійснюватися в гарячому і холодному стані. У сучасних умовах холодне кування зустрічається рідко. Матеріалом для гарячого кування є маловуглецеві сталі, вуглецеві інструментальні і деякі леговані сталі. Кожна марка сталі має певний інтервал температур початку і кінця кування, залежний від складу і структури оброблюваного металу. Основними операціями кування є:

**Рубання** - застосовується для відділення від основної заготовки непридатних частин або для розділення заготовки на частини. Вирубання виконують в холодному і гарячому стані. У холодному стані рубають тонкі і вузькі смуги і прутки перетином 15...20 мм. Товщі заготовки нагрівають. Схема рубання заснована на дії деформуючої сили на малу площу зіткнення інструменту із заготовкою, а реакція цієї сили з боку нижньої частини розподілена по великій поверхні заготовки, і пластичної деформації тут не виникає.

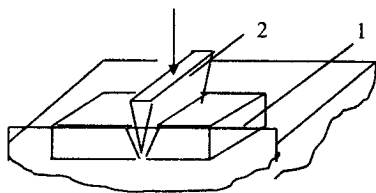


Рис.6.24. Схема рубання

1- заготовка; 2 – інструмент.

Залежно від габаритів і форми заготовок використовують способи вирубання: з одного боку - для тонких заготовок, з двох сторін, спочатку здійснюється попереднє надрубання заготовки на 0,5 - 0,75 товщини, після кантівки на  $180^\circ$  проводиться остаточне вирубання; з трьох сторін - для круглих і крупних заготовок, здійснюються два надрубання на глибину 0,4 діаметру заготовки з кантівкою на  $120^\circ$ , після другої кантівки на  $120^\circ$  проводять остаточне вирубання; з чотирьох сторін - для крупних заготовок, після надрубання з чотирьох сторін в центрі залишається перемичка прямокутного перетину, по місцю якої виробляють розділення заготовки на частини.

*Осаджування* - операція обробки тиском, в результаті якої зменшується висота, і одночасно збільшуються поперечні розміри заготовок (рис.6.25.). При виконанні осаджування потрібно, аби інструмент перекривав заготовку. Унаслідок тертя бічна поверхня осаджуваної заготовки набуває бочкоподібної форми, це характеризує нерівномірність деформації. Повторюючи осаджування кілька разів з різних сторін, можна привести заготовку до первинної форми або близькою до неї, отримавши при цьому вищу якість металу і однакові його властивості по всіх напрямках.

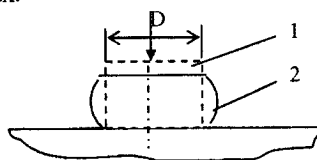


Рис. 6.25. Схема осаджування

1 - заготовка; 2 - деталь.

Осаджувannya піддають заготовки, для яких висота не перевищує 2,5 - 3 діаметри.

*Висаджування* - ковальська операція, що полягає в деформації частини заготовки (кінцевої частини або середини). Для проведення операції використовують місцевий нагрів, наприклад, в середині заготовки.

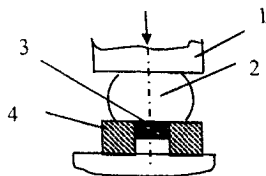


Рис.6.26. Схема висаджування

1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – деталь; 4 – матриця.

*Протягування* <sup>3</sup> (тяг) - ковальська операція, в результаті якої відбувається збільшення довжини заготовки за рахунок зменшення площі її поперечного перетину (рис. 6.27.) Протягування не лише змінює форму заготовок, але і покращує якість металу. Операція полягає в завданні послідовних ударів і переміщенні заготовки при цьому між бойками під час удару знаходиться лише частина заготовки.

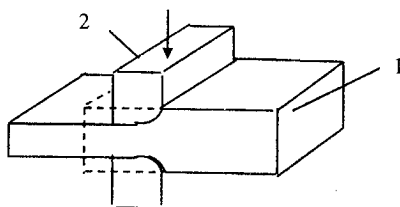


Рис.6.27. Схема протягування 1 – заготовка; 2 – пуансон; 3 – деталь.

*Розкочування на облямовуванні* - операція одночасного збільшення зовнішнього і внутрішнього діаметрів кільцевої заготовки за рахунок зменшення товщини її стінок (рис.6.28.).

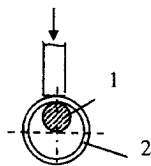


Рис. 6.28. Схема розкочування: 1 – циліндрична оправка; 2 – деталь.

*Прошивка* - операція здобуття в заготовці наскрізних або глухих отворів за рахунок витіснення металу (рис.6.29.).



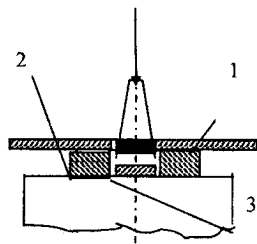


Рис.6.29. Схеми прошивки

1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – деталь.

*Розгін* (розплющування) - операція збільшення ширини частини заготовки за рахунок зменшення її товщини. Операція виконується за рахунок переміщення інструменту в напрямі, перпендикулярному осі заготовки.

*Згинання* - операція додання заготівці або її частині зігнутої форми по заданому контуру.

*Скручування* - операція, що полягає в повороті однієї частини поковки довкола загальної осі по відношенню до іншої її частини під певним кутом.

#### 6.4.4. Процеси механічного оброблення

В більшості випадків виробу, отримані литвом, куванням, штампуванням, зварюванням і іншими методами вимагають додаткову обробку з метою створення по заданих формах і розмірах, а також необхідних показниках якості виробу для подальших технологічних операцій

Механічна обробка — обробка заготовки з різних матеріалів за допомогою механічної дії різної природи. Механічна дія, що здійснюється на металоріжучих верстатах шляхом впровадження інструменту в тіло заготовки з подальшим виділенням стружки і утворенням нової поверхні називається різанням. Та частина металу, яка знімається при обробці, називається припуском. Або, кажучи інакше, припуск — це надлишковий (понад креслярський розмір) шар заготовки, що залишається для зняття ріжучим інструментом при операціях обробки різанням. Після зняття припуску на металоріжучих верстатах оброблювана деталь набуває форми і розміри, відповідних робочому кресленню деталі. Обробка металів різанням виконується на металоріжучих верстатах відповідної групи. Верстати

розрізняють токарної групи, стругальної і довбальної, свердлувальної і розточувальної, фрезерної, шліфувальної і ін. При обробки металів різанням використовують різний ріжучий інструмент: різці, свердла, зенкера, розгортки, фрези, які мають спеціально заточену ріжучу частину. Ріжучий інструмент виготовляють з матеріалу підвищеної твердості, міцності, термо- і зносостійкості, різних форм і розмірів.

Залежно від форми оброблюваної поверхні розрізняють наступні основні види різання:

- зовнішні циліндрові поверхні — точіння, шліфування, нарізування різьб;
- внутрішні циліндрові поверхні — свердлування, зенкерування, розточування, розгортання, протягування, шліфування, долблення; нарізування різьб;
- плоскі поверхні — стругання, фрезерування, шліфування.

**Точіння** — операція обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь тіл обертання (циліндричних, конічних), гвинтових і спіральних поверхонь, різьб за допомогою різців на верстатах токарної групи. (рис.6.30,1) При точінні заготовці надається обертальний рух (головний рух), а ріжучому інструменту (різцю) — повільне переміщення в подовжньому або поперечному напрямі (рух подачі).

**Фрезерування** — високопродуктивний і поширений процес обробки матеріалів різанням, виконуване на фрезерних станках. (рис.6.30,2) Головний (обертальне) рух отримує ріжучий інструмент фреза, а рух подачі в подовжньому напрямі — заготовка. Фрезерування застосовують при обробці горизонтальних, вертикальних і похилих поверхонь, фасонних поверхонь, пазів і канавок різного профілю, при виготовленні зубчастих коліс. Особливість процесу фрезерування полягає в уривчастості різання кожним зубом фрези. Зуб фрези вступає в контакт із заготовкою і виконує роботу лише на деякій частині свого звороту. Потім зуб фрези, продовжуючи рух, не стосується заготовки до наступного урізування; у цей момент він охолоджується, що продовжує термін служби фрези. Кожен зуб фрези має такі ж елементи і кути, що і токарний різець. Тому фрезу можна розглядати як набір токарних різців.

**Свердління** — операція обробки матеріалу різанням для отримання наскрізних і глухих циліндричних отворів. Ріжучим інструментом служить свердло, що здійснює обертальний рух (головний рух) різання і осьове переміщення подачі. Свердління виконується на свердлувальних верстатах. (рис.6.30,3)

У залежності від вимог до якості поверхонь і розмірної точності отворів після свердлування застосовують обробку отворів шляхом зенкерування, розгортання, зенкерування, які по суті є процесами свердління.

*Зенкерування* — операція для збільшення діаметру отвору, заздалегідь отриманого литвом, штампуванням або свердлінням, і додання йому правильнішої геометричної форми, досягнення найменшої шорсткості поверхні, чим при свердлінні або розсвердлюванні.

*Розгортання* забезпечує здобуття отворів з високою точністю розмірів і високою якістю поверхні; його застосовують в основному для остаточної обробки отворів.

*Зенкування* — здобуття отворів під потайні і напівпотайні голівки болтів і заклепок.

**Стругання** — спосіб обробки різанням поверхонь. Головний рух (прямолінійне зворотно-поступальне) здійснює зігнутий стругальний різець, а рух подачі (прямолінійне, перпендикулярне головному руху, переривисте) — заготовка. Стругання виконується на стругальних верстатах (рис.6.30,4.).

**Долблення** — спосіб обробки різцем площин або фасонних поверхонь. Головний рух (прямолінійне зворотно-поступове) здійснює різець, а рух подачі (прямолінійне, перпендикулярне головному руху, переривисте) — заготовка. Долблення виконують на довбальних верстатах (рис.6.30,5.)

**Шліфування.** Процес шліфування (рис.6.30,6.7.) застосовують як остаточну обробку заготовки за допомогою зняття з їх поверхні тонкого шару металу із здобуттям розмірів деталей з точністю по 6—7-у квалітетам і шорсткості поверхні  $R = 0,08—0,32$  мкм. Використовують шліфування і як обдирну операцію при очищенні литва, поковок і так далі. Шліфування — це обробка поверхонь виробу шліфувальними абразивними кругами. Для обдирної

обробки застосовують грубозернисті абразиви, а для чистового шліфування — дрібнозернисті. Використовують абразиви природні — найбільше вживання отримали мінерал корунд і алмаз, і штучні — електрокорунд з різними добавками, карбід кремнію, нітрид бору і ін. Головний рух обертальний, яке здійснюється шліфувальним кругом. При циліндричному шліфуванні обертається одночасно і заготовка. При плоскому шліфуванні подовжню подачу має зазвичай заготовка, а поперечну подачу — шліфувальний круг або заготовка.

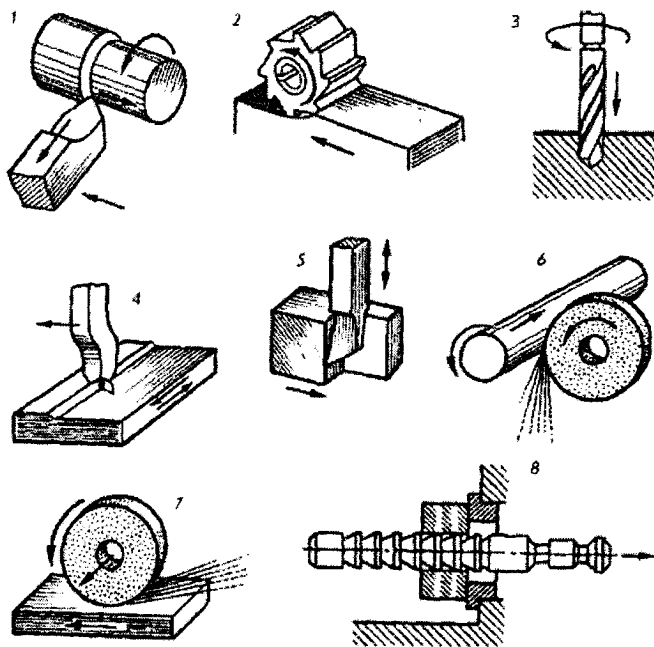


Рис. 6.30. Основні механічні способи обробки різанням.

**Протягування** — процес, продуктивність при якому в декілька разів більше, ніж при струганні і навіть фрезеруванні. Головний рух прямолінійний і рідше обертальний. (рис.6.30,8.)

**Нарізування різьб.** Основні методи створення різьб наступні: 1 — нарізування різьбовими різцями; 2 — нарізування плашками і мітчиками; 3 — накочення за допомогою плоских або круглих накатних плашок; 4 — фрезерування за допомогою спеціальних різьбових фрез; 5 — шліфування абразивними кругами.

*Нарізування різьб різцями.* За допомогою різьбових різців на токарно-гвинторізних верстатах нарізують різьби як зовнішні, так і внутрішні (починаючи з діаметру 12 мм і вище). Схематично спосіб полягає в наступному (рис. 6.31). При одночасному обертальному руху деталі, на якій нарізується різьба і поступальному ході різця (на токарному верстаті) останній знімає (вирізує) частину поверхні деталі у вигляді гвинтової лінії.

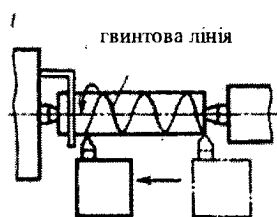


Рис .6.31. Схема нарізування різьб р

*Нарізування різьб плашками і мітчиками.* Плашки (круглі) – це інструмент для нарізування різьб на зовнішній циліндричній поверхні діаметром до 52мм за один прохід (рис.6.3,2.). Для крупнішого різьблення застосовують плашки особливої конструкції, які фактично служать лише для зачистки різьб після попередньої нарізки її іншими інструментами. Під час нарізування різьби плашка обертається за допомогою спеціального пристрою – воротка (рис.6.3,3.). Внутрішнє різьблення в переважній більшості випадків нарізують мітчиками.

Мітчик (рис.6.32,1) є стержнем, розділений прямими або гвинтовими канавками зі спеціального високоміцного сплаву, що утворюють ріжучі кромки. Ці ж канавки служать для виходу стружки.

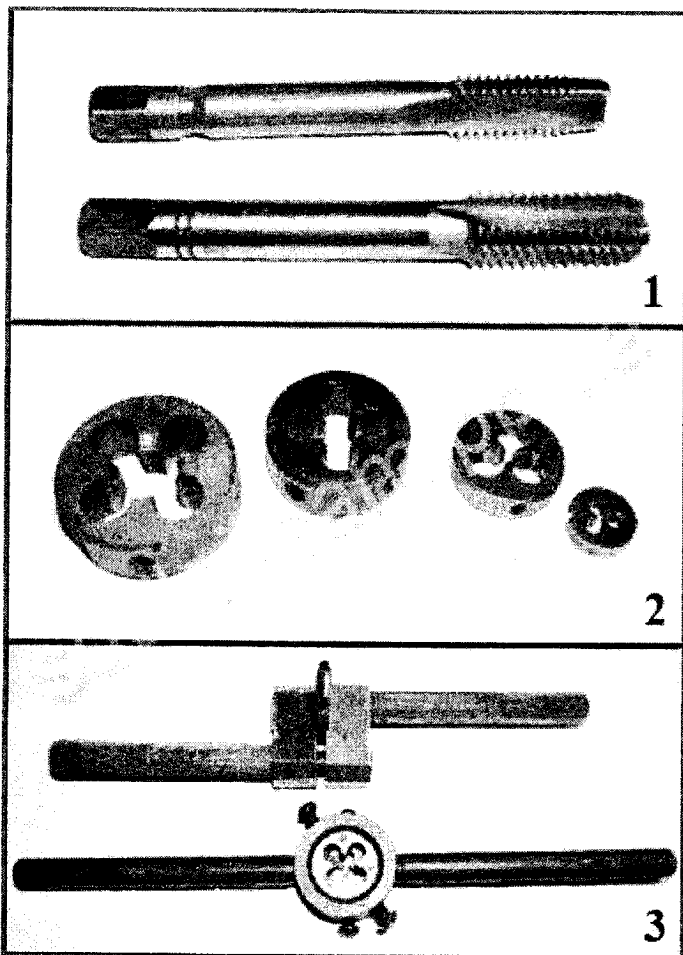


Рис. 6.32. Інструменти для нарізування різьб.

*Накочування різьб.* Основний метод виготовлення різьбв даний час у промисловості — накочування на спеціальних різьбонакатних верстатах. Процес накочування різьб полягає в створенні різьб на поверхні деталі без зняття стружки за рахунок пластичної деформації поверхні оброблюваної деталі. Схематично це виглядає так. Деталь прокатують між двома плоскими плашками (рис.6.33,1) або циліндричними роликami (рис.6.33,2,3.), що мають різьбовий профіль, і на стержні витискається різьба такого ж профілю.

Найбільший діаметр накочуваного різьблення 25 мм, найменший 1 мм; довжина накочуваного різьблення 60...80 мм

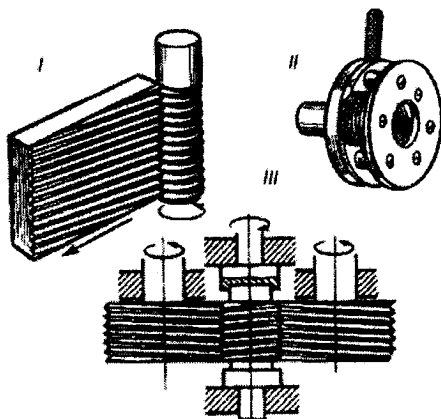


Рис. 6.33. Схеми накочування різьб.

*Фрезерування різьб.* Фрезерування зовнішнього і внутрішнього різьблення виконується на спеціальних різьбофрезерних верстатах. Гребінчаста фреза, що в цьому випадку обертається, при радіальній подачі врізається в тіло деталі і фрезерує різьблення на її поверхні.

*Шліфування точного різьблення.* Шліфування як спосіб створення різьби застосовується головним чином для здобуття точного різьблення на порівняно коротких різьбових деталях, наприклад різьбових пробках — калібрах, різьбових роликах і так далі. Сутність процесу полягає в тому, що шліфувальний круг, розташований відносно деталі під кутом під'єму різьби, при швидкому обертанні і при одночасному повільному обертанні деталі з подачею уздовж осі на величину кроку різьби за один зворот вирізує (вишліфовує) частину поверхні деталі.

#### 6.4.5. Електрофізичні і електрохімічні методи обробки

Електрофізичні і електрохімічні методи в порівнянні з механічною обробкою мають ряд переваг. Вони дозволяють обробляти заготовки з матеріалів з високими механічними властивостями (тверді сплави, алмаз, кварц і ін.), які важко або практично неможливо обробляти іншими методами. Обробка здійснюється без великих механічних зусиль і із застосуванням

інструментів, твердість яких значно менше твердості оброблюваного матеріалу. Крім того, ці методи дозволяють проводити локальну обробку матеріалів без зміни властивостей матеріалу деталі, а в деяких випадках і покращувати фізико-механічні властивості. Вказані методи дають можливість отримувати найскладніші поверхні, наприклад отвори з криволінійною віссю, глухі отвори фасонного профілю і так далі. До таких методів відносять електрофізичну, електрохімічну і анодно-механічну обробку металів.

**Електрофізична обробка.** Розширене використання важкооброблюваних матеріалів для виготовлення деталей машин, ускладнення конструкцій цих деталей у поєднанні із зростаючими вимогами до зниження собівартості і збільшення продуктивності послужило причиною розробки і освоєння методів електрофізичної обробки. Електрофізичні методи обробки металів засновані на використанні специфічних явищ, що виникають під дією електричного струму, для видалення матеріалу або зміни форми заготовки. Електрофізичні методи обробки металів охоплює практично всі операції механічної обробки і не поступається більшості з них по шорсткості, що досягається, і точності обробки. До них відносяться електроерозійна і електроімпульсна обробка.

*Електроерозійна (електроіскрова) обробка.* У основі цього методу обробки (рис.6.34.) матеріалів лежить процес електроерозії електродів з провідних матеріалів при пропусканні між ними імпульсів електричного струму. Сутність процесу електроерозії полягає в руйнуванні поверхні електродів при електричному пробі міжелектродного проміжку як в газовому середовищі, так і при заповненні проміжку непровідними рідинами (гасом, трансформаторним маслом і так далі), причому в останньому випадку процес електричної ерозії протікає інтенсивніше. Електроерозійна обробка виконується на спеціальних (електроіскрових, електроімпульсних) верстатах.



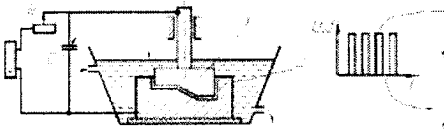


Рис.6.34. Схема електроіскрової обробки. 1- електрод; 2- заготовка

Інструментом для обробки служить електрод, виготовлений з міді, латуні, бронзи, алюмінію або деяких інших матеріалів. Він має форму, відповідну формі необхідної поверхні оброблюваної деталі. Заготовку поміщають у ванну з рідиною, не провідною до електричного струму. Інструмент і заготовку підключають до джерела електричного струму. При зближенні інструменту (катода) і заготовки (анода), коли іскровий проміжок стає дуже малим, між ними відбувається електричний розряд. В результаті температура на оброблюваній поверхні заготовки миттєво досягає  $8000\text{—}10\ 000^{\circ}\text{C}$ , що призводить до місцевого розплавлення, часткового випару і вибухово-подібному викиду мікрочасток з поверхні заготовок. Викинуті частки металу в рідкому середовищі тверднуть і осідають на дно вани. При подачі електроду-інструменту іскрові розряди багато разів повторюються і, утворюють в заготовці поверхню, що відображує форму інструменту.

Електроерозійну обробку широко застосовують для здобуття різних отворів, пазів, поглиблень при виготовленні штампів, прес-форм, кокілів і так далі.

Для обробки деталей електроіскровим методом випускають різні верстати, які можуть виконувати наступні види обробки:

- прошивку отворів різної форми і некрізних порожнин;
- вирізку виробів складного контура з листових матеріалів;
- гравірування знаків і рельєфу на поверхні деталей;
- різання матеріалів стандартного сортаменту на заготовки;
- виготовлення дрібнопористих прецизійних сіток.

*Електроімпульсна обробка.* У основі цього методу обробки лежить неоднакова ерозія електродів при різній тривалості імпульсів (рис.6.35.). Електроімпульсні режими характеризуються використанням імпульсів великої тривалості (0,5...10с), відповідних дуговому розряду між електродами і інтенсивнішому руйнуванню катода. У зв'язку з цим при електроімпульсних режимах катод з'єднується із заготовкою, що забезпечує вищу продуктивність ерозії (у 8-10 разів) і меншою, ніж при електроіскрових режимах, знос інструменту.

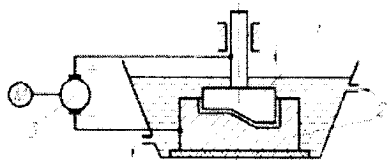


Рис. 6.35. Схема електроімпульсної обробки: 1- інструмент-анод;  
2 – заготовка-катод; 3- генератор.

Цей метод застосовується для обробки фасонних отворів в деталях з неіржавіючих і жароміцних сплавів, що насилу піддаються механічній обробці.

**Електрохімічна обробка.** До електрохімічної обробки відноситься група методів, заснованих на явищі анодного розчинення. При пропусканні струму через електроліт між електродами відбувається розчинення металу анода. Продукт розчинення, що утворюється, у вигляді солей або гідроокисів металів віддаляється з поверхні або гідравлічним потоком електроліту, або механічним шляхом. Катодом служить інструмент різної форми, виготовлений із сталі, міді, латуні. Як електроліти зазвичай використовуються водні розчини хлорних, сірчаноокислих і азотнокислих солей ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Електрохімічна обробка застосовується для прошивки отворів і порожнин, різання заготовок і ін. операцій. Схема для здобуття отворів показана на рис. 6.36.

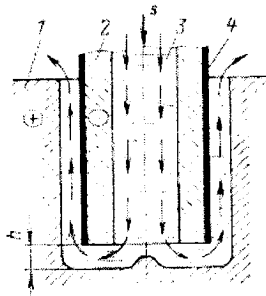


Рис.6.36. Схема електрохімічної розмірної обробки.

1 – оброблювана деталь; 2 – профільний інструмент-електрод (катод); 3 – електроліт; 4 – ізолятор

**Анодно-механічна обробка.** Анодно-механічна обробка металів побудована на поєднанні електроерозійного і електрохімічного процесів. Її сутність полягає в наступному. Через оброблювану заготовку (анод) і інструмент (катод), що обертається, пропускається постійний електричний струм. Анод і катод знаходяться в середовищі електроліту. Електричний струм, проходячи через електроліт, розкладає його і розчиняє поверхню заготовки (анода). На поверхні заготовки постійно утворюється не провідна струм плівка. Інструмент (катод), що обертається, механічно зриває цю плівку. При точковому зриві плівки з мікронерівностей в місцях контакту інструменту проходить струм великої щільності, під дією якого мікронерівності оплаваються. Оплавлені частки металу видаляють інструментом, що обертається. Анодно-механічний спосіб обробки металів застосовують для заточування пластинок з твердих сплавів і для різання дуже твердих і в'язких металів.

#### 6.4.6. Променеві методи обробки

Променева обробка заснована на перетворенні кінетичної енергії направленої пучку електронів на теплову. Різновидами променевої обробки в машинобудуванні є електронно-променева і світлолучева (лазерна) обробка. **Електронно-променева обробка металів** заснована на тепловій дії потоку рухомих електронів на оброблюваний матеріал, який в місці обробки плавиться

і випаровується.(рис. 6.37.) Настільки інтенсивний нагрів викликається тим, що кінетична енергія рухомих електронів при зіткненні з поверхнею оброблюваної заготовки майже повністю переходить в теплову, яка будучи сконцентрована на площині малих розміром (не більше 10 мкм), викликає її розігрівання до 6000°С. Обробка ведеться у вакуумі порядку  $10^2 - 10^4$  Па.

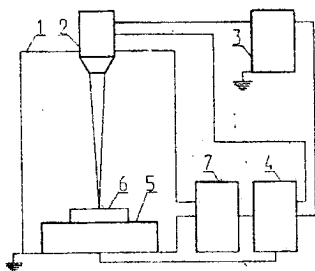


Рис. 6.37. Функціональна схема технологічної електронно-лучевої установки. 1 - вакуумна камера; 2 - електронна пушка; 3 - високовольтний випрямляч; 4,7 - пульт керування; 5 - механізм переміщення заготовки; 6 - заготовка;

Електронно-променевий метод застосовують для обробки тугоплавких і легко окислюваних на повітрі металів і сплавів: вольфраму, молібдену, титану, міді, а також неметалічних матеріалів: рубіна, кераміки, кварцу, феритів, напівпровідникових матеріалів. Розмірну обробку використовують для прошивки отворів діаметром 0,01 – 1 мм, прорізання пазів, вирізування деталей з тонколистових заготовок по контуру, здобуття сіток з фольги і др

**Світлолучева (лазерна)** обробка заснована на тепловій дії світлового променя високої енергії на поверхню оброблюваної заготовки. Джерелом світлового випромінювання служить лазер — оптичний квантовий генератор. Структурна схема лазерної технологічної установки представлена на рис.6.38.

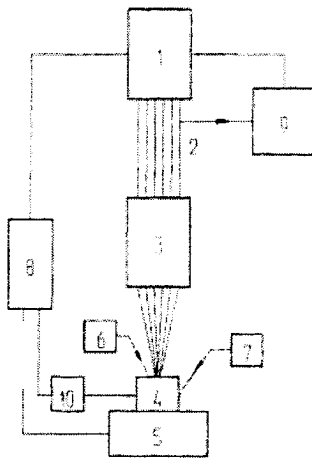


Рис. 6.38. Структурна схема лазерної технологічної установки

1 - оптичний квантовий генератор (лазер); 2 - лазерне випромінювання; 3 - оптична система; 4 - заготовка.

Сфокусований промінь лазера дасть величезну щільність енергії, що забезпечує нагрів до температури 6000 – 8000°С. Наприклад, промінь лазера з вихідною потужністю 20 Вт, сфокусований в діаметр 0,01 мм, дасть щільність енергії до 108 Вт/см<sup>2</sup>. Через таку високу температуру шар металу миттєво розплавляється і випаровується. Лазерну обробку застосовують для прошивки крізних і глухих отворів, вирізування деталей з листових матеріалів по суцільному складному контуру, прорізання пазів. Цим методом можна обробляти заготовки з будь-яких матеріалів, включаючи найтвердіші і міцніші.

#### 6.4.7. Хімічне фрезерування

Хімічними називаються методи обробки матеріалів, в яких зняття шару матеріалу відбувається за рахунок хімічних реакцій в зоні обробки. Переваги хімічних методів обробки наступні: а) висока продуктивність, що забезпечується відносно високими швидкостями протікання реакцій, перш за все відсутністю залежності продуктивності від величини площі оброблюваної поверхні і її форми; б) можливість обробки особливо твердих або в'язких матеріалів; в) у край мала механічна і теплова дія в процесі обробки, що робить можливою обробку деталей малої жорсткості з досить високою точністю і

якістю поверхні. Хімічне фрезерування є найбільш поширеним методом хімічної обробки. Цим методом доцільно користуватися для обробки поверхонь складних в плані форм на тонкостінних деталях, здобуття трубчастих деталей або листів з плавною зміною товщини по довжині, а також при обробці значного числа дрібних деталей або круглих заготовок з великою кількістю оброблюваних місць (перфорація циліндрових поверхонь труб). Технологічний процес хімічного фрезерування складається з наступних операцій:

1. Підготовка деталей до хімічного фрезерування для забезпечення подальшого щільного і надійного зчеплення захисного покриття з поверхнею деталі.

2. Нанесення захисних покриттів на місця оброблюваної деталі, що не підлягають фрезеруванню. Його виробляють шляхом установки спеціальних накладок, хімічно стійких шаблонів, нанесенням лакофарбних покриттів, які зазвичай використовують лаки і емалі, поліамідні лаки і матеріали на основі каучуків.

3. Хімічне розчинення виробляють у ваннах з дотриманням температурного режиму у розчинах сильних мінеральних кислот.

4. Очищення після травлення деталей виробляється промиванням в проточній воді при температурі  $+50...70^{\circ}\text{C}$ , відмочуванням захисного покриття в проточній воді при температурі  $+70...90^{\circ}\text{C}$  і подальшим зняттям захисного покриття.

Точність хімічного фрезерування  $\pm 0,05$  мм по глибині і не менше  $+0,08$  мм по контуру; радіус закруглення стінки вирізу виходить рівним глибині. Хімічне фрезерування зазвичай виробляють на глибину 4—6 мм і рідше до 12 мм; при більшій глибині фрезерування різко погіршується якість поверхні і точність обробки. Мінімальна остаточна товщина листа після травлення може складати 0,05 мм, тому хімічним фрезеруванням можна обробляти деталі з дуже тонкими перемичками без викривлення, проводити обробку на конус шляхом поступового занурення деталі в розчин.

Продуктивність хімічного фрезерування визначається швидкістю видалення матеріалу по глибині. Швидкість травлення зростає з підвищенням

температури розчину приблизно на 50—60% на кожні 10°C, а також залежить від складу розчину, його концентрації і чистоти.

### 6.5.Складальні процеси

Виготовлення зварних конструкцій на завершальній стадії поєднує два процеси : процес складання та процес з'єднання складових елементів конструкції за допомогою зварювання. З технологічної точки зору будь яка зварна конструкція може бути представлена як комплекс окремих деталей і складальних одиниць (підвузлів, вузлів). Невід'ємною складовою складального процесу є наявність засобів технологічного спорядження виготовлення зварних конструкцій, які призначаються для:

- міжопераційного переміщення деталей і зварних вузлів до місця виконання складальних операцій;

- складання (установлення, позиціювання, фіксація) деталей і зварних вузлів на місці складання в складальному пристрої в певному положенні;

- з'єднання деталей і зварних вузлів зварюванням.

Конструкція виробу та тип виробництва зумовлює технологію складання і застосування відповідного технологічного спорядження для складання.

#### 6.5.1.Технологічні процеси складання

Складальний процес - з'єднання в певній послідовності і закріплення деталей, підвузлів і вузлів для здобуття виробу, що задовольняє її призначенню. Вузлом називають роз'ємне або нероз'ємне з'єднання складових частин виробу. Характерною ознакою вузла є можливість його складання відособлено від інших елементів виробу. З'єднання двох і більш деталей, що входить у вузол, називають підвузлом. Розрізняють підвузли 1-го, 2-го і ін. вищих порядків. Підвузол найвищого порядку розчленовується лише на деталі. Базовим називають основний елемент (деталь або вузол), з якого починається складання.

*Організаційні форми процесів складання.* У машинобудуванні складання розчленовується на загальне і вузлове. Вузлове складання дозволяє здійснювати паралельне складання вузлів виробу, значно скорочує тривалість циклу загального складання виробу.

Технологічні процеси складання можуть бути типові, групові і індивідуальні. Типові процеси створюються для різних груп з'єднань і вузлів на базі узагальнення досвіду прогресивних методів складання в масштабі галуз. Особливістю групових процесів є їх застосовність для складання декількох виробів (вузлів) з конструктивно-технологічними ознаками, що характеризуються однорідністю. Індивідуальні процеси розробляються для складання одного конкретного виробу.

При побудові маршруту і операцій складання виявляються її організаційні форми. Складання може бути потоковим і непотоковим.

Потокове складання може бути нерухомим (стаціонарне) і рухомим. У разі рухомого складання переміщення об'єкту від одного робочого місця до іншого здійснюється уручну (по верстаку, рольгангу, на візках), вантажопідйомними машинами (кранами, тельферами і ін.), а також періодично рухомим або безперервно рухомим конвеєром.

Нерухоме потокове складання здійснюється при нерухомому об'єкті на розташованих в лінію нерухомих стендах. Кожен складальник (бригада складальників) виконує свою операцію, переходячи послідовно від одного стенду до іншого. Таке складання доцільно застосовувати в серійному виробництві при значному темпі, особливо для складання важких машин, переміщення яких скрутно. При поточковому складанні має бути забезпечене безперебійне постачання складальної лінії взаємозамінними деталями і вузлами, що зв'язано з темпом складання. Якщо потрібна висока точність, то деталі, що сполучаються, підбирають один до одного (селективне складання) або здійснюють їх індивідуальну підгонку. Деталі, що в цьому випадку сполучаються, поступають на складання спареними. Потокове складання скорочує цикл виробництва і міжопераційні заділи деталей, підвищує спеціалізацію складальників, збільшує можливості механізації і автоматизації виробництва і зменшує трудомісткість виробів. У одиночному і малосерійному виробництвах основна частина складальних операцій організується за принципом непотокового складання. При проектуванні технологічного процесу складання визначають темп (ритм, такт) загального і вузлового складання,



ділячи річний фонд робочого часу в хвиликах на річну програму випуску виробів (вузлів) в штуках. Якщо темп значно перевершує середню тривалість характерних складальних операцій, то складання ведуть по принципах серійного виробництва (потокове складання). В цьому випадку на одному робочому місці періодично (партіями, серіями) збираються різні вироби або вузли. Якщо темп близький до середньої тривалості характерних складальних операцій або менше її, то складання ведуть за принципами масового виробництва (потокове рухоме складання), закріплюючи за кожним робочим місцем певну складальну операцію. При малому темпі складання диференціюють, розділяючи операції. Якщо це через технологічні міркування скрутно або неможливо, то операції виконують паралельно, дублюючи робочі місця. Зміст операцій складання має бути таким, аби на кожному робочому місці виконувалася по можливості однорідна і технологічно закінчена робота. Це сприяє кращій спеціалізації складальників і підвищенню продуктивності, їх праці. Документально технологічний процес складання оформлюється у вигляді технологічної схеми складання (рис. 6.39.). Технологічні схеми складання відображають структуру і послідовність (маршрут) складання виробу і його вузлів. При їх складанні встановлюють також необхідні контрольні і допоміжні операції.

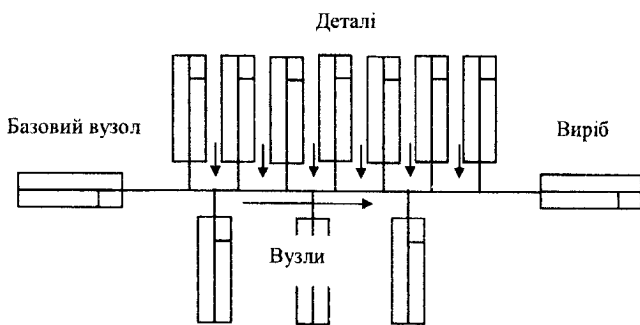


Рис. 6.39. Маршрутна технологічна схема складання

Перевірці піддаються: взаємне положення елементів виробу, якість виконаних з'єднань (сила і момент затягування різьбових з'єднань, якість пригону стикуємих поверхонь і ін.), правильність постановки і наявність деталей в з'єднаннях, маса вузлів і виробу в цілому, врівноваженість частин

виробу і т. п, що обертаються. Контроль ділять на проміжний і приймальний. Проміжний контроль виробляють після виконання складних операцій складання і тих, де найбільш вірогідний брак. При приймальному контролі перевірки піддаються всі зібрані вироби і найбільш відповідальні вузли.

*Послідовність складання.* При виконанні складання повинна дотримуватися така послідовність установки, при якій змонтовані в першу чергу деталі і складальні одиниці (базові) не повинні заважати установці подальших деталей і складальних одиниць. Потім розробляють послідовність установки на базову деталь всіх складальних одиниць і деталей.

Розробляючи послідовність складання виробу, дуже зручно представляти її графічно у вигляді схеми складання. Остання не лише допомагає в розробці послідовності складання виробу, але і є основним оперативним документом, по якому персонал складального цеху знайомиться з послідовністю складання нового виробу, організує виконання складального процесу, виробляє комплектування виробу, подачу складальних одиниць і деталей в належній послідовності до місць складання, веде облік, розставляє робітників, планує виробництво і дозволяє вносити удосконалення до конструкції, технологічного процесу і організації виробництва виробу.

Схема складання виробу має бути наочна і показувати послідовність процесу, тому схему загального складання виробу найзручніше будувати, вводячи зони деталей і складальних одиниць і зону виробу в цілому. Кожному з складових елементів виробу дається умовне позначення (наприклад, деталь позначається невеликим прямокутником, в якому вказуються найменування і номер деталі по кресленню). Прямокутниками великих розмірів або іншими геометричними фігурами позначаються і всі наступні елементи. На схему загального складання виробу наносяться лише умовні позначення деталей і складальних одиниць, що безпосередньо поступають на загальне складання.

При побудові схеми складання окрім вказаних позначень слід вказувати і маршрути складання, з допомогою яких здійснюється з'єднання деталей.

Послідовність складання виробу може бути розроблена в декількох варіантах. Вибір найбільш раціонального варіанту послідовності складання

здійснюється на основі проведення розрахунків економічної ефективності. Найбільш доцільним буде той варіант, який забезпечує мінімальну технологічну собівартість складання виробу

### 6.5.2. Міжопераційне переміщення деталей і зварних вузлів

Міжопераційне переміщення грає велику роль у виробничих процесах складання, тому транспортним операціям надається велике значення. Міжопераційне переміщення здійснюється за допомогою внутрішньоцехового транспорту. За допомогою внутрішньоцехового транспорту до робочих місць подають матеріали і заготовки, а до складальних стендів — готові деталі і вузли. Ними користуються при переміщенні готових виробів, устаткування і так далі. На заводах одиничного і дрібносерійного виробництва застосовують головним чином універсальні транспортні засоби періодичної дії: електрокари, тельфери, крани, ін. У разі богатосерійного і масового виробництва окрім вказаних засобів широко застосовують різного віду конвеєри.

*Електрокар* - автомобільний безрельсовий колісний візок з електричним приводом від акумуляторної батареї. Електрокари випускаються в декількох виконань: з нерухомою вантажною платформою, з низьким підйомом платформи, з високим підйомом платформи і підймальним краном для самопогрузки. Вантажопідйомність їх складає 0,75—5 Т.

*Крани*. Як засоби внутрішньоцехового переміщення в основному використовують мостові, велосипедні, консольно-поворотні крани.

*Мостовий кран*. Механізми мостового крану забезпечують три рухи: підйом вантажу, пересування візка і пересування моста. Міст може переміщатися по довжині прольоту цеху на спеціальних виступах стінів або колон. По рейках, прокладених на мосту, може переміщатися візок, на якому є механізм її переміщення від електродвигуна і механізм підйому вантажного крока. Конструктивно мостові крани бувають двобалкові і однобалкові

*Двобалкові мостові крани*. Такий кран (рис.6.40,а) є конструкцією, що складається з балочного мосту у вигляді двох головних балок, як правило коробчастого перерізу, що спирається на поперечні кінцеві балки, в яких закріплені ходові колеса, що приводиться в обертання механізмом пересуван

крану. Міст переміщається по підкранових рейках (уздовж цеху), укладеними на підкранові балки, що спираються на колони будівлі. По мосту пересувається візок з механізмом під'єму вантажу.

Вантажопідйомність мостових двобалкових кранів загального призначення –  $Q=5.500\text{т}$ .

*Однобалкові мостові крани* Однобалковий мостовий кран (рис.6.40,б) складається з моста, виконаного у вигляді однієї двотаврової балки, що спирається на дві кінцеві балки. Залежно від типу приводу розрізняють однобалкові мостові крани з ручним і електричним приводом. У мостових кранах з ручним механізмом підйому застосовують підвісні ланцюгові талі, вони оснащені ручним механізмом пересування, що приводиться в рух ланцюгом, і візка з ланцюговим приводом. Вантажопідйомність цих кранів – 5т, проліт – 11.4 м. Однобалкові мостові крани з електричним приводом вантажопідйомністю до 5 т обладнуються електроталями ( тельфер), керованими з підлоги. На кранах більшої вантажопідйомності встановлюються звичайні механізми підйому мостових кранів, що управляються з нерухомої або рухливої кабіни. Швидкість пересування кранів, керованих з підлоги, не перевищує 0,53 м/с, швидкість пересування кранів, керованих з кабіни, досягає 1м/с.

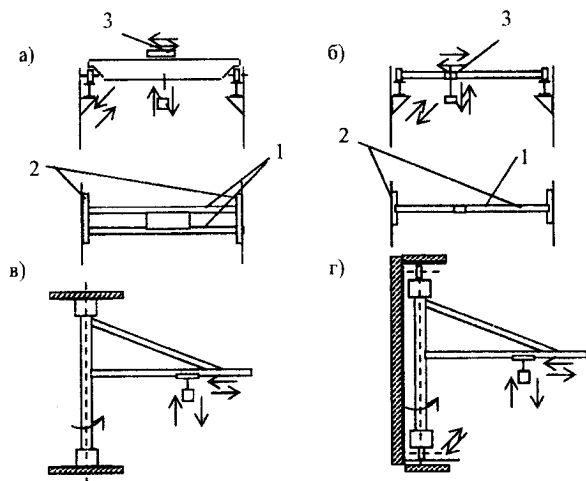


Рис. 6.40. Структура кранів для міжопераційного переміщення мостові крани: а – двобалковий; б – однобалковий; в – консольно-поворотний; г – велосипедний. 1 – головні балки; 2 – кінцеві балки; 3 – вантажопід'ємний візок.

*Консольно-поворотні* (радіальні крани) обертаються відносно однієї з своїх опор, має довжину прольоту, рівну радіусу  $R$  кільцевого робочого майданчика, який він обслуговує. Вісь обертання моста закріплена на опорі, змонтованого в центральній частині робочого майданчика і прикріпленою до стелі будівлі. Підкранові рейки відсутні. (рис. 6.40,в),

*Велосипедні крани.* На відміну від консольно-поворотного крану велосипедні крани мають додаткову можливість переміщуватись у вздовж підкранових рейок. (рис.6.40,г).

*Конвеєри* - механічні безперервні транспортні засоби для переміщення різних вантажів на невеликі відстані. Конвеєри різних типів застосовуються у всіх галузях промисловості для вантаження-вивантаження і транспортування матеріалів в процесі виробництва. Нижче вказуються основні типи конвеєрів, що використовуються у зварювальному виробництві як міжопераційний транспорт.

*Роликовий конвеєр* (рольганги, рис.6.41). Конвеєр є рядом роликів, закріплених на злегка нахиленому каркасі і застосовується в основному для транспортування предметів праці між робочими місцями. Ці конвеєри можуть бути приводними і неприводними ( для транспортування використовується сила тяжіння ).

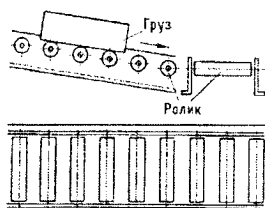


Рис.6.41. Схема рольгангу

*Пластинчастий конвеєр*. Пластинчастий конвеєр (рис.6.42.) має дві паралельні гілки з металевих ланцюгів з роликами в з'єднаннях. Ланцюги сполучені між собою пластинами - дерев'яними або металевими залежно від вигляду вантажів, що транспортуються.

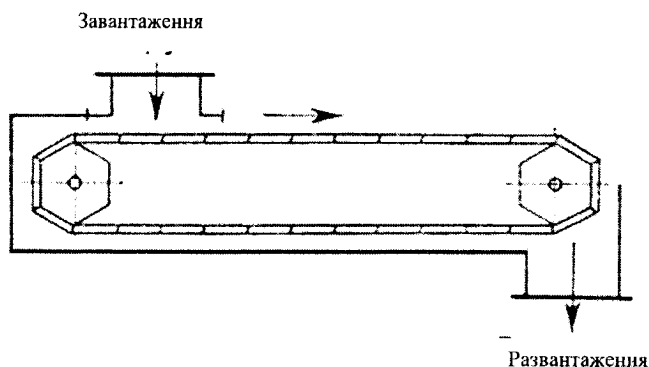


Рис.6.42. Схема пластинчастого конвеєра

### 6.5.3 .Засоби технологічного спорядження процесів складання зварних конструкцій

Технологічне спорядження для складання - це сукупність пристосувань для установки і закріплення заготовок і інструментів, виконання складальних

операцій, транспортування заготовок, деталей або виробів. Засоби технологічного спорядження повинні відповідати наступним вимогам: бути зручним в експлуатації, забезпечувати проектні розміри виробу, забезпечувати швидку установку елементів і з'їм зібраного або звареного виробу, мати невисоку вартість і задовольняти вимогам техніки безпеки при виконанні складальних і зварювальних робіт.

У разі складання конструкцій широко використовують всілякі складальні і складально-зварювальні пристосування. Тип пристосування визначається серійністю виробництва і мірою складності конструкції. За міркою спеціалізації пристосування діляться: на універсальні — для обробки різноманітних за формою і розмірам деталей, не вимагаючих переробок, універсально-налагоджувальних — для обробки різних за формою і розмірам деталей, з переналадкою на кожен типорозмір шляхом заміни деяких елементів, регулювання їх положення і додаткової обробки (підгонки), спеціалізовані, призначені для обробки певної деталі (або групи однотипних деталей) та спеціальні для складання декількох конкретних зварних конструкцій.

За компоновкою розрізняють агрегатовані пристосування, які komponуються з самостійних вузлів і підвузлів, що нормалізовані і є універсальними, і неагрегатовані, такі, що складаються з вузлів і деталей спеціального призначення. До агрегатованих пристосувань відносяться і універсально-складальні пристосування які можна збирати із заздалегідь виготовлених деталей і вузлів, що знаходяться на складі, і розбирати після використання.

При індивідуальному виробництві застосовують переважно універсальні пристосування. У серійному виробництві разом з універсальними пристосуваннями застосовують спеціальні складальні установки з швидкодіючими притискачами. У масовому виробництві застосовують спеціалізовані установки і пристосування.

Складальна операція при виготовленні зварних конструкцій має на меті забезпечення правильного взаємного розташування (установлення, позиціонування) і закріплення деталей виробу (фіксація). Складання можна

проводити на плиті, стелажі, стенді або в спеціальному пристосуванні. В умовах індивідуального виробництва розташування деталей у вузлі задається розміткою. Для їх фіксації використовують струбцини, планки, скоби з клинами і інші прості універсальні пристосування. (рис.6.43.) Використання спеціальних складальних пристосувань дозволяє підвищити продуктивність праці і поліпшити якість складання. Основою складального пристосування є жорсткий каркас з упорами, фіксаторами і притискачами. (рис.6.44.). Застосування вакуумних притискачів значно скорочує допоміжний час, особливо, якщо потрібно затистути в декількох місцях.

Широке вживання отримали пневматичні притискачі (рис.6.45.), що приводяться в дію стислим повітрям малого тиску (в середньому 0,4 МПа).

Проте при такому тиску розміри циліндрів, необхідні для забезпечення заданого зусилля затиску, можуть виявитися значними. Тому часто використовують додаткові системи важеля або клинового притискання. Інколи раціональним виявляється використання гідравлічних або пневмогідравлічних пристроїв. Фіксація зібраних деталей найчастіше здійснюється на прихватках. У такому вигляді зібраний вузол повинен володіти такою жорсткістю і міцністю, яка необхідна при витяганні його із складального пристосування і транспортуванні до місця зварювання. При використанні складально-зварювальних пристосувань зварювання виконують після складання, не виймаючи виріб з пристосування, тому у ряді випадків можна обходитися без прихваток.

Для виготовлення виробів при великосерійному і масовому їх виробництві розробляють спеціальні пристосування, призначені для використання на окремих операціях.

Окрім універсальних і спеціальних пристосувань в дрібносерійному і одиничному виробництві використовують також універсально-складальні пристосування (УСП). Оснащення такого типу є набором різних елементів: універсальних плит з подовжніми і поперечними пазами, типових змінних упорів, фіксаторів, штирів, планок, кріпильних деталей і тому подібне (рис.6.46.).



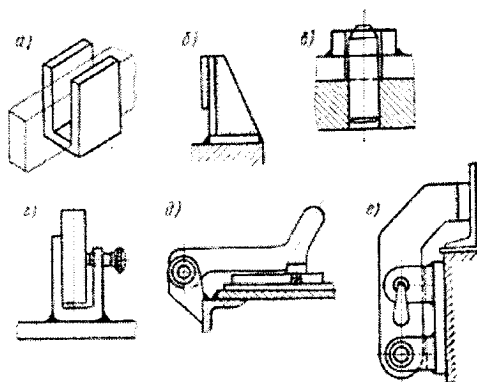


Рис. 6.43. Елементи складальних пристроїв  
 а – карман; б – упор; в – палець; г – притискач; д – палець відкидний;  
 е – упор відкидний.

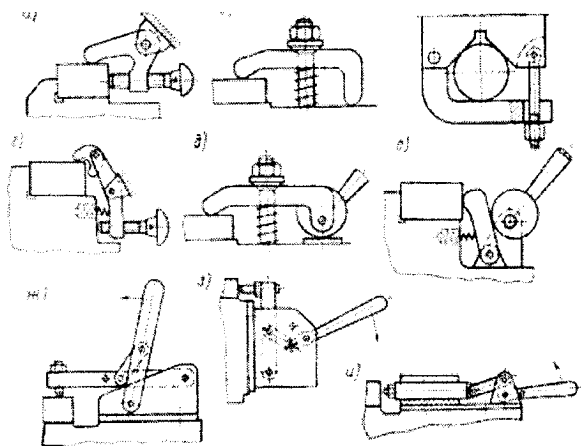


Рис. 6.44. Схеми механічних притискачів.  
 а-г – гвинтові; д, е – ексцентрикові; ж-і – важельні.

Універсальні складальні пристосування загального призначення (УСП), використовуються для складання і зварювання виробів широкої номенклатури в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва. Такі пристосування виготовляються централізовано і можуть бути придбані в готовому вигляді.

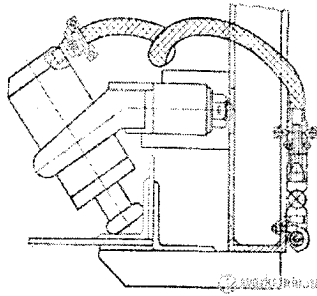


Рис. 6.45. Пневматичний притискач

Для кожної конструкції, підлеглою складанню, розробляється своя схема налаштування пристосування. Складальник відбирає необхідні елементи оснащення і за схемою встановлює і закріплює їх на плиті. Після закінчення складання необхідного числа виробів пристосування розбирають, а його елементи відправляють на склад. Універсальні пристосування використовують при складанні на стелажах, складальних плитах, роликкових стендах.

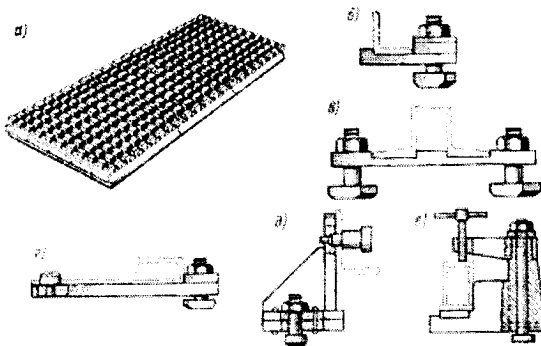


Рис. 6.46. Елементи УСП.

а – універсальна плита; б – упор; в – карман; г – упор з фіксатором; д – поворотний затискач.

Послідовність виконання складальних і зварювальних операцій може бути різною:

1) зварювання виконують після повного завершення складання;

2) складання і зварювання виконують поперемінно, наприклад при виготовленні конструкції шляхом нарощування окремих елементів;

3) загальному складанню і зварюванню конструкції передують складання і зварювання підвузлів і вузлів. Послідовність операцій встановлюють залежно від характеру виробництва, типа конструкції, її габаритів і необхідної точності розмірів і форми.

## **6.6. Процеси зварювання**

Технологічні процеси зварювання призначаються для виготовлення зварних конструкцій з деталей і вузлів, попередньо складених до зварювання з використанням засобів технологічного спорядження. До засобів технологічного спорядження безпосередньо для отримання зварних швів відносяться основне (зварювальне) і допоміжне (механічне) зварювальне устаткування. Склад основного зварювального устаткування залежить від процесу (способу) зварювання (зварювальні апарати, головки, трактори, механізовані апарати, автомати, джерела живлення – трансформатори, випрямлячі, генератори, перетворювачі), а склад допоміжного (механічного) устаткування від компоновки зварювального поста: для установаження та переміщення зварювальних апаратів (колони, візки, портали, і др.) та для установаження та переміщення зварюваних конструкцій (маніпулятори, обертачі, кантувачі та інш.) Усі існуючі процеси зварювання, можна поділити на дві основні групи: *зварювання тиском* (контактне, газопрессове, тертям та ультразвукове) і *зварювання плавленням* (газове, електродугове, електрошлакове, електронно-лучове, лазерне). Для виготовлення сталевих зварних конструкцій в основному застосовуються електричні процеси зварювання плавленням.

### **6.6.1. Класифікація процесів і способів електричного зварювання**

#### **плавленням**

Класифікація процесів і способів електричного зварювання плавленням заснована залежно від характеру джерел нагріву і розплавлення зварюваних кромки, рівня механізації процесу зварювання, роду струму і полярності, типа дуги, властивостей електроду, способу захисту зони зварювання від

атмосферного повітря і ін. Процеси і способи зварювання можна розділити на наступні основні види зварювання.

*За характером джерел нагріву* і розплавлення зварюваних кромок можна поділити на наступні основні процеси:

1. електричне дугове, де джерелом тепла є електрична дуга;
2. електрошлакове, де основним джерелом теплоти є розплавлений шлак, через який протікає електричний струм;
3. електронно-променеве, при якому нагрівання і розплавлення кромок, досягається направленим потоком електронів, що випромінюються розігрітим катодом;
4. лазерне, при якому нагрівання і розплавлення кромок деталей досягається направленим сфокусованим потужним світловим променем мікрочасток-фотонів;
5. плазмове, де джерелом тепла є плазма.

*За рівнем механізації* виконання процесу розрізняють способи ручного зварювання, механізованого і автоматичного зварювання. Віднесення процесів до того або іншого способу залежить від того, як виконуються запалення і підтримка певної довжини дуги, маніпуляція електродом для додання шву потрібної форми, переміщення електроду по лінії накладення шва і припинення процесу зварювання.

При ручному зварюванні вказані операції, необхідні для утворення шва, виконуються робітником-зварювальником уручну без вживання механізмів.

За умови механізованого зварювання плавким електродом механізуються операції по подачі електродного дроту в зварювальну зону, а останні операції процесу зварювання здійснюються уручну. При автоматичному зварюванні механізуються операції по збудженню дуги, підтримці певної довжини дуги, переміщенню дуги по лінії накладення шва.

*По роду струму* розрізняють дуги, що живляться постійним струмом прямої (мінус на електроді) або зворотної (плюс на електроді) полярності або змінним струмом.

За типом дуги розрізняють дугу прямої дії (залежну дугу) і дугу побічної дії (незалежну дугу). У першому випадку дуга горить між електродом і основним металом, який також є частиною зварювального ланцюга, і для зварювання використовується теплота, що виділяється в стовпу дуги і на електродах; у другому - дуга горить між двома електродами. Основний метал не є частиною зварювального ланцюга і розплавляється переважно за рахунок тепловіддачі від газів стовпа дуги.

За властивостями електроду розрізняють процеси зварювання плавким електродом і неплавким (вугільним, графітовим і вольфрамовим). Зварювання плавким електродом є найпоширенішим способом зварювання; при цьому дуга горить між основним металом і металевим стержнем, що подається в зону зварювання у міру плавлення.

За родом захисту зони зварювання від довоколишнього повітря розрізняють наступні процеси зварювання: без захисту (голим електродом, електродом із стабілізуючим покриттям), з шлаковим захистом (електродами, під флюсом), шлакогазовим (товстопокритими електродами), газовим захистом (у середовищі газів) з комбінованим захистом (газове середовище і покриття або флюс).

#### 6.6.2. Основні процеси і зварювальне устаткування для дугового зварювання плавленням

*Ручне дугове зварювання (ММА).* Найбільший об'єм серед інших видів зварювання займає ручне дугове зварювання плавкими штучними електродами, при якій подача електроду і переміщення дуги уздовж зварюваних кромок виконується вручну. Схема процесу показана на рис. 6.52.

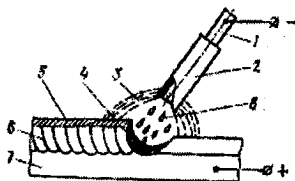


Рис.6.52. Ручне дугове зварювання металевим електродом з покриттям

Дуга горить між стержнем електроду 1 і основним металом 7. Під дією теплоти дуги електрод і основний метал плавляться, утворюючи металеву зварювальну ванну 4. Краплі рідкого металу 8 з електродного стержня, що розплавляється, переносяться у ванну через дуговий проміжок. Разом із стержнем плавиться покриття електроду 2, утворюючи газовий захист 3 довкола дуги і рідку шлакову ванну на поверхні розплавленого металу. Металева і шлакова ванни разом утворюють зварювальну ванну. У міру руху дуги метал зварювальної ванни кристалізується і утворює зварний шов 6. Рідкий шлак у міру охолодження утворює на поверхні шва тверду шлакову кірку 5, яка віддаляється після охолодження шва. Для забезпечення заданого складу і властивостей шва зварювання виконують покритими електродами, до яких пред'являють спеціальні вимоги (сталеві покриті електроди для ручної дугової зварювання і наплавлення виготовляють відповідно до ГОСТ 9467-75). Зварювальний пост для ручного дугового зварювання оснащується основним устаткуванням: джерелом живлення змінного (зварювальні трансформатори) або постійного струму (зварювальні випрямачі, зварювальні генератори-перетворювачі, інвертори) з крутопадаючою характеристикою та інструментами. Основним робочим інструментом зварювальника при ручному зварюванні служить електрододержатель, який призначений для затиску електроду і дроту зварювального струму. Застосовують електрододержатели пружинного, пластинчастого і гвинтового типів (рис. 6.53.)

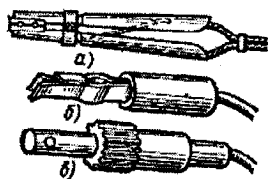


Рис. 6.53. Електрододержатели для ручного дугового зварювання.  
а -- пружинний; б – пластинчастий; в – гвинтовий.

Згідно ГОСТ 14651-78 електрододержатели випускають трьох типів залежно від сили зварювального струму: 1 типа - для струму 125А; 2-125...315А; 3 -315...500А А.Для підведення струму від джерела живлення до

електрододержателя і виробу використовують зварювальні дроти. Перетини дротів вибирають по встановлених нормативах для електротехнічних установок ( $5-7 \text{ А/мм}^2$ ).

*Дугове зварювання в захисних газах (TIG, MAG)* — один з поширених способів зварювання плавленням. Зварювання в захисних газах — загальна назва різновидів дугової зварювання, здійснюваної з вдуванням через сопло пальника в зону дуги струменя захисного газу. Як захисні застосовують: інертні (Ar, He), активні ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) гази і їх суміші ( $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$ ,  $\text{Ar}+\text{O}_2$ ,  $\text{Ar}+\text{CO}_2$  і ін.) По сукупності основних фізичних явищ процес дугового зварювання в захисних газах можна класифікувати за двома основними схемами — це зварювання неплавким вольфрамовим електродом (TIG) (рис. 6.54,а) і металевими плавкими електродами (у активному газі-MAG; у інертному газі- MIG) (рис. 6.54,б)

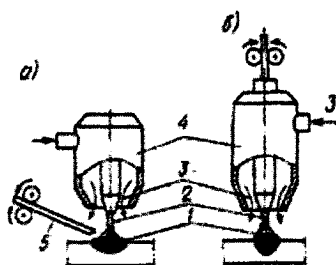


Рис. 6.54. Схеми зварювання у захисних газах

1 – шов; 2 – дуга; 3 – газ; 4 – головка.

В порівнянні з іншими способами зварювання у захисних газах має ряд переваг, з яких головні: можливість візуального, у тому числі і дистанційного, спостереження за процесом зварювання; широкий діапазон робочих параметрів режиму зварювання в будь-яких просторових положеннях; можливість механізації і автоматизації процесу, у тому числі із застосуванням робототехники; високоефективний захист розплавленого металу; можливість

зварювання металів різної товщини в межах від десятих доль до десятків міліметрів.

До складу зварювального устаткування входять джерела зварювального струму (трансформатори, випрямлячі, перетворювачі і ін.) і зварювальні апарати (механізовані зварювальні апарати, автомати).

*Автоматичне дугове зварювання під флюсом. (SAW).* При цьому способі зварювання (рис.6.55.) електрична дуга горить між кінцем електродного (зварювального) дроту і зварюваним металом під шаром гранульованого флюсу. Ролики спеціального механізму подають електродний дріт в дугу. Зварювальний струм, змінний або постійний прямий або зворотній полярності від джерела живлення підводиться ковзаючим контактом до електродного дроту і постійним контактом, — до виробу. Зварювальна дуга горить в газовому бульбашці, утвореному в результаті плавлення флюсу і металу і заповненому парами металу, флюсу і газами.

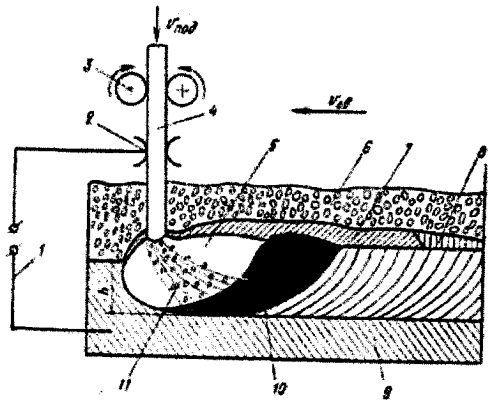


Рис. 6.55. Схема зварювання під флюсом.

- 1 – джерело живлення; 2 – токоподвід; 3 – ролики подаючі;
- 4 – електродний дріт; 5 – газовий бульбашка; 6 – флюс; 7 – флюс розплавлений; 8 – шлак; 9 – основний метал; 10 – зварювальна ванна; 11 – дуга.

Розплавлені електродний і основний метали в зварювальній ванні переміщуються і при кристалізації утворюють зварний шов.



Основне устаткування складається з джерела живлення, зварювального трактора, апаратів або машин і зварювальних головок (головка- складова зварювального автомату, яка або сама переміщається відносно зварюваних крайок, або зварювана конструкція переміщається відносно нерухої головки).

*Електрошлакове зварювання (ESW).* При електрошлаковому зварюванні тепло, необхідне для плавлення зварюваного металу, утворюється за рахунок проходження електричного струму через розплавлений шлак.

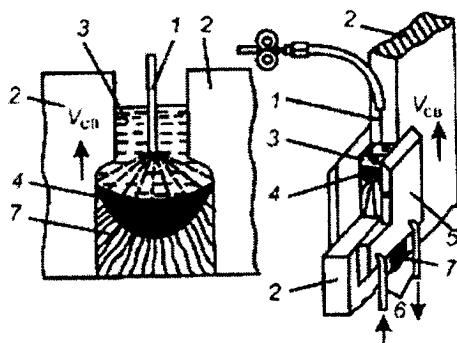


Рис. 6.56.Схема електрошлакового зварювання.  
1 – електрод; 2 – основний метал; 3 – шлак; 4 – шлакова ванна; 5 – повзун; 6 – охолодження; 7 – шов;

Розплавлений метал, шлакова і металева ванни стримуються від витікання спеціальними формуючими пристроями рухливими або нерухомими мідними повзунами 5, охолоджуваними водою 6, або пластинами, що залишаються. Верхня кромка повзуна розташовується декілька вище за дзеркало шлакової ванни, що кристалізується в нижній частині металевої ванни і утворює шов 7.

Основне зварювальне устаткування – джерела живлення і спеціальні зварювальні апарати ( як правило автомати). До складу апарату автоматичного електрошлакового зварювання входять такі основні вузли: самохідний зварювальний автомат, мідні водоохолоджувані рухомі накладки, джерела живлення і апаратура керування.

*Електронно-променеве зварювання (EBW).* Спосіб електронно-променевого зварювання заснований на використанні для нагріву і розплавлення зварюваних деталей енергії пучків швидкорухомих електронів — електронного променя. Електрони, що породжуються випромінювачем-катодом, розганяються під дією електричного поля високої напруги до великих швидкостей, порівнянних із швидкістю світла, і фокусується в тонкий промінь, направлений від випромінювача до зварюваного виробу, який є анодом. Процес електронно - променевого зварювання здійснюється у вакуумі не менш  $10^{-4}$  мм рт. ст., оскільки інакше велика частина енергії електронів витратиться на нагрів і іонізацію газів довколишньої атмосфери.

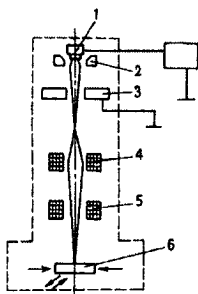


Рис.6.57. Схема установки для електронно-дугового зварювання

Зустрівшись з поверхнею анода (зварюваній деталі) електрони гальмуються і віддають свою кінетичну енергію виробу у вигляді тепла. Схема установка для електронно-променевої зварювання представлена на рис. 6.57.

Електрони, що випромінюються катодом 1 електронної гармати, формуються в пучок електродом 2, розташованим безпосередньо за катодом, прискорюються під дією різниці потенціалів між катодом і анодом 3, що становить 20...150 кВ і вище, потім фокусується у вигляді променя і прямують спеціальною магнітною системою, що відхиляє, 4- 5 на оброблюваний виріб 6. На формуючий електрод 2 подається негативний або нульовий по відношенню до катода потенціал. Фокусуванням досягається висока питома потужність променя. Струм електронного променя невеликий – від декількох міліампер до одиниць ампер. Процесу електронно-променевого зварювання властиві дві характерні особливості: зварювання протікає у вакуумі, забезпечується

здобуття дзеркально чистої поверхні і дегазація розплавленого металу; інтенсивність нагріву дуже велика, що забезпечує швидке плавлення і кристалізацію металу.

*Плазмове зварювання (PAW)*. Джерелом теплоти служить стисла дуга, що має температуру 20 000...50 000 °С. Плазму отримують, пропускаючи потік газу через стовп електричної дуги (рис. 6.58.).

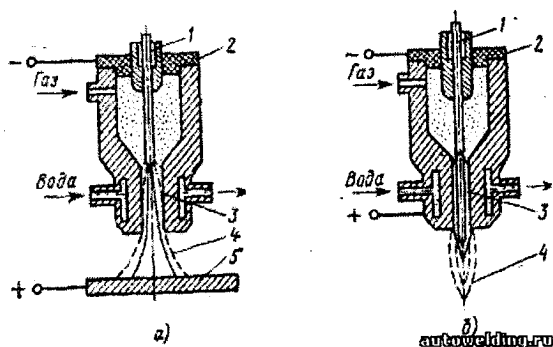


Рис.6.58. Плазмові пальники (плазматрони) прямої (а) і непрямої (б) дії: 1 — вольфрамовий електрод; 2 — ізоляційна втулка; 3 — сопло; 4 — стисла дуга; 5 — заготовка.

У вузькому каналі сопла стовп дуги стискується, що приводить до підвищення в ній щільності енергії і температури. Як плазмоутворюючий газ, використовують аргон, азот або водень.

Основне устаткування для плазмового зварювання з джерела живлення і плазматрони. Для здобуття плазмової дуги служить пристрій - плазмотрон. Плазмотрони, що підключаються для генерації дуги називають плазмотронами прямої дії, а для генерації плазмового струменя побічної дії. Частіше плазмотрони побічної дії конструктивно відрізняються від плазмотронів прямої дії системою охолодження соплового вузла плазмотрона, в перших вона ефективніша. У плазмотронів прямої дії плазмова дуга збуджується між стержневим (як правило, вольфрамовим) електродом, вмонтованим в газову камеру, і зварюваним виробом. Сопло електрично нейтрально від електродного (катодного) вузла і служить для стискування і стабілізації дуги. У плазмотронах побічної дії плазмова дуга створюється між електродом і соплом, а потік

плазми видуває плазмовий струмінь. Для плазмового зварювання металів зазвичай застосовують плазмотрони з дугою прямої дії.

*Лазерне зварювання (LBW.)* Сутність процесу зварювання лазерним променем полягає в наступному. Лазер є джерелом випромінювання, що має малу кутову розбіжність. Це дозволяє забезпечувати високу точність і ступень фокусування променя і досягати високої концентрації енергії у строго визначеній і дуже малій зоні обробки. Під дією сфокусованого імпульсного лазерного випромінювання на поверхні металу відбувається швидкий локальний нагрів. Поглинене випромінювання в матеріалі починає діяти як інтенсивне джерело тепла. Потім в зоні плавлення, що утворилася, відповідно до параметрів теплопровідності металу, швидко протікає процес кристалізації.

Основне зварювальне устаткування - лазери. Схема твердотілого лазера приведена на рис.6.59. Як активне тіло використовується стержень з рубіна або скла з домішкою неодима. Он розміщується в освітлювальній камері. Для збудження атомів активного тіла використовується лампа накачування, що створює потужні спалахи світла.

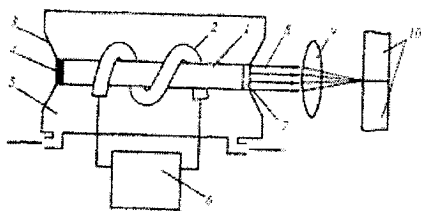


Рис. 6.59. Схема твердотілого лазера:

- 1 - рубіновий стержень; 2 - генератор накачування; 3 - відбивач; 4 - непрозоре дзеркало; 5 - середовище, що охолоджує; 6 - джерело живлення; 7 - напівпрозоре дзеркало; 8 - світловий промінь; 9 - фокусуєча лінза; 10 - оброблювані деталі.

По торцях активного тіла розміщені дзеркала – що відображає і частково прозоре. Промінь лазера виходить через частково прозоре дзеркало, задалегідь багато разів відбиваючись усередині рубінового стержня і таким чином посилюючись.

### 6.6.3. Механічне устаткування для зварювання

При виконанні тих або інших швів положення виробу в процесі зварювання доводиться змінювати. Це здійснюється за допомогою механічного устаткування: позиціонерів, обертачів, кантувачів, роликівих стендів, маніпуляторів. Устаткування можуть бути як установчі, переводячи виріб в положення, зручне для зварювання, так і зварювальні, забезпечуючи окрім установки виробу його переміщення з швидкістю, рівній швидкості зварювання, або включають елементи, що направляють рух зварювального апарату або голівки. Використання того або іншого типу механічного устаткування визначається конструкцією виробу, прийнятою технологією виготовлення і програмою випуску. При цьому для кожного виробу або групи виробів і для кожної конкретної операції необхідний індивідуальний підбір послідовності просторових положень і поєднання різних варіантів зміни цих положень. Всі зміни просторових положень можна звести до наступних переміщень:

- переміщення в горизонтальній площині;
- переміщення у вертикальній площині;
- обертання довкола горизонтальної осі;
- обертання довкола вертикальної осі або до поєднань цих переміщень.

Найбільш прийнятним в умовах виробництва слід визнати використання спеціального устаткування, призначеного для різних переміщень зварюваних конструкцій або зварювальних голівок. При виготовленні конструкцій невеликих габаритних розмірів і маси вигідніше виявляється переміщати різними способами самі деталі, якщо ж конструкції мають великі розміри, варто застосовувати пристрої для переміщення зварювальних голівок.

Сучасна промисловість оснащена різними шляхами вирішення таких завдань. Враховуючи, що не завжди є можливість або економічна доцільність вживання автоматизованих зварювальних установок, спеціалізованих на зварюванні тих або інших деталей (або груп деталей), виникає необхідність застосувати пристрої, призначені для переміщення деталей або зварювальних голівок, і що володіють достатньою універсальністю, аби використовувати їх в

умовах гнучкого виробництва. Вся гамма таких пристроїв, що випускаються серійно для загальнопромислового вживання, отримала загальну назву механічного зварювального устаткування або механічного устаткування для зварювальних робіт.

Варто відзначити, що механічне зварювальне устаткування по цілях і завданнях абсолютно відрізняється від технологічного складально-зварювального оснащення (різних кондукторів, стапелів, стендів, кріпильних пристосувань і так далі). Якщо засоби технологічного оснащення призначені для виконання основних технологічних операцій (в основному складальних) і розробляються, як правило, окремо для кожної конкретної конструкції, то основне завдання механічного зварювального устаткування полягає в забезпеченні необхідного взаємного розташування і переміщення зварювальних головок і конструкцій, що виготовляються, відносно один одного. Основна класифікація механічного зварювального устаткування заснована за функціональними ознаками розділення на групи устаткування: для закріплення і переміщення зварюваних виробів і для установалення і переміщення зварювальних апаратів (головок.)

*Механічне устаткування для переміщення зварюваних виробів.* До основних типів такого устаткування відносяться: маніпулятори, обертачі, кантувчі, позиціонери, роликові стенди.

*Маніпулятори* — механізми, за допомогою яких можна установлювати виріб на різні кути нахилу осі обертання для додання йому зручного для зварювання положення, обертати виріб для зварювання кругових швів і наплавлення поверхонь, піднімати виріб на потрібну висоту. Маніпулятор — найбільш досконалий і універсальний механізм з регульованою залежно від швидкості зварювання швидкістю обертання. На рис.6.60. наведені основні структурні схеми маніпуляторів. Маніпулятори забезпечують обертання виробу на  $360^\circ$ , кут нахилу залежно від конструкції може бути від  $90$  до  $360^\circ$ . На рис 6.61. показано маніпулятор із зубчастим сектором для забезпечення нахилу виробу на кут до  $135^\circ$ . Планшайба маніпулятора, на якій закріплюють деталь для нахилу і обертання, знаходиться над столом. Вона укріплена на

консольному двостояковому корпусі разом із зубчастим сектором механізму нахилу і механізмом обертання планшайби.

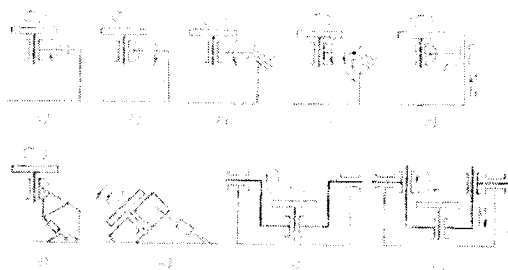


Рис. 6.60. Структурні схеми маніпуляторів.

а – консольна; б – карусельна; в, г – консольні з урівноваженням відносно осі нахилу; д – карусельна з вертикальним підйомом; е – карусельна з радіальним підйомом; є – важільно-секторна; з, і – карусельні з урівноваженням відносно осі нахилу.

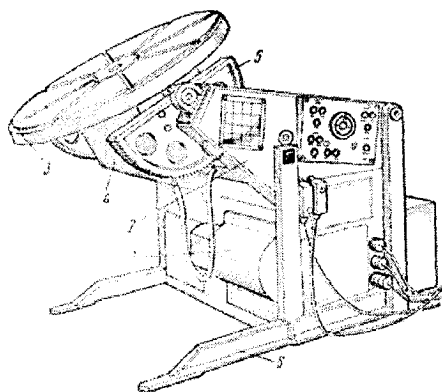


Рис. 6.61. Зварювальний універсальний маніпулятор:

1 - основна станина, 2 - рухома станина, 3 - планшайба, 4 - механізм повороту планшайби, 5 - механізм нахилу планшайби, 6 - опорні лапи.

*Позиціонер* відрізняється від маніпулятора нерегульованою швидкістю обертання планшайби. Позиціонери служать як для закріплення виробу, так і для установки в зручне для зварки положення. Всі позиціонери схожі по

конструкції. Вони мають дві або три взаємно перпендикулярні осі, довкола яких планшайба з виробом може обертатися або нахилитися (рис.6.62.)

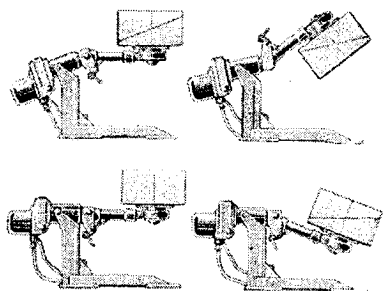


Рис. 6.62. Схеми налагоджування позиціонерів

*Обертачі* призначені для обертання виробу довкола однієї осі з настановною нерегульованою або із зварювальною регульованою швидкістю Вони менш універсальні за маніпулятори, оскільки не мають механізму нахилу виробу, але простіше і дешевше у виготовленні. На рис. 6.63. наведено типові структурні схеми обертачів.

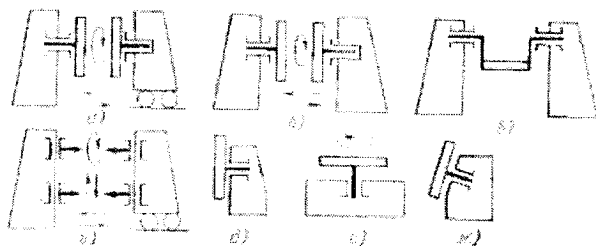


Рис. 6.63. Типові структурні схеми обертачів.

а - горизонтальний двостояковий з пересувним стояком і висувним шпинделем; б - горизонтальний двостояковий з висувним шпинделем; в - горизонтальний двостояковий з поворотною платформою; г - ризонтальний двостояковий з підйомними центрами; д - горизонтальний одно стояковий; е - вертикальний одно стояковий; є - похилий одно стояковий.



Конструктивно обертачі можуть бути двостояковими і одностояковими. На рис. 6.64.. представлена конструктивна схема двостоякового обертача із горизонтальною віссю обертання.

У універсальних обертачах цього типа конструкція планшайби і шпindelів передньої і задньої бабок передбачають можливість установки різних фіксаторів і затисків. Крім того, задня бабка може забезпечуватися висувним шпindelем 5. Для зварювання виробів різної довжини задня бабка виконана пересувною і забезпечена фіксатором 7. Обертачі з горизонтальною віссю і з настановною швидкістю обертання ( механізм налаштування швидкості зварювання відсутній ) називаються кантувачами, а з вертикальною віссю — поворотними столами.

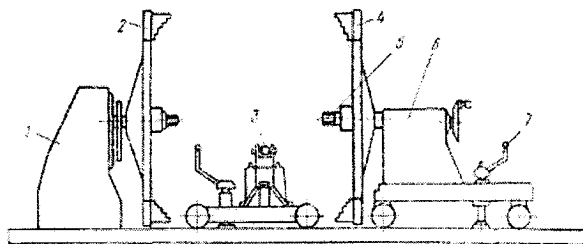


Рис.6.64.. Схема двостоякового обертача:

1 - передня бабка, 2, 4 - планшайби, 3 - ролюкоопори, 5 – висувний шпindel, 6 - задня бабка, 7 - фіксатор

*Кантувачі* служать для повороту і установки виробу в зручне положення для зварювання Вони мають один рух — обертання з настановною швидкістю або нахил. Складніші конструкції кантувачів володіють другим рухом — підйомом або лінійним переміщенням виробу.

Застосовують двостоякові і одностоякові кантувачі різних призначень із змінною відстанню між стійками і із змінною висотою центрів. Поворот виробу може виконуватися механічним або ручним приводом. Залежно від типа

поворотного пристрою розрізняють кантувачі роликові, щелепні, центрові, ланцюгові і важельні (рис.6.65.)

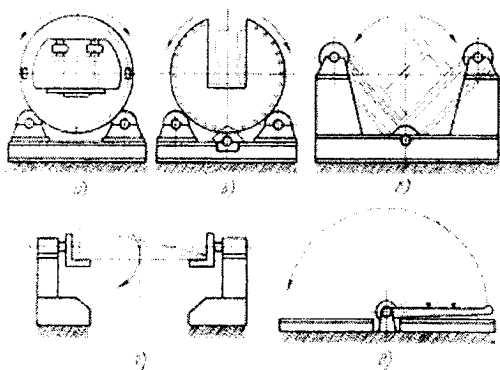


Рис 6.65. Схеми кантувачів

а) роликові, б)щелепні, в)ланцюгові ; г) центрові; д) важильні

*Роликові* кантувачі (рис.6.65,а) призначені для зварювання громіздких конструкцій великої довжини (балки, колони, судини і ін.). Конструкції, що виготовляються, закріплюють в складальних кільцях, число яких визначається довжиною виробу. Кільце складається з двох половин. Після установки виробу, монтажу верхнього півкільця і його закріплення виріб фіксується за допомогою притисків. Складальні кільця покочуються на роликових опорах, що дозволяє повертати виріб довкола осі кілець на  $360^\circ$ . Роликові опори можуть бути не приводними або приводними. Залежно від габаритів, маси виробів і характеру виробництва гнізда складальних кілець можуть відповідати певним виробам або бути універсальними, із змінними або такими, що оснащуються фіксаторами або притисками.

Оскільки зв'язок між роликовою опорою і складальним кільцем здійснюється за рахунок тертя, на роликових кантувачах зварюються в основному вироби, центр тяжіння перетину яких збігається з центром обертання.

*Щелепні* кантувачі (рис.6.65,б) характеризуються тим, що зв'язок між провідним роликом і складальним кільцем здійснюється за рахунок цевок, які кріпляться до обода кільця пристосування. Жорсткий зв'язок між цевками

складального кільця і ведучої зірочкою роликів опори дозволяє кантувати вироби, центр тяжіння перетину яких значно віддалений від осі обертання.

*Ланцюгові кантувачі* (рис.6.65,в) застосовують для зварювання громіздких виробів великої довжини. Вони складаються з декількох опорних стійок, в кожній з яких є провисаючий безконечний ланцюг. Переміщення ланцюга здійснюється приводною зірочкою. При цьому виріб обертається по ланцюгу на будь-який кут. Інколи ланцюги замінюють ремнями або іншими гнучкими елементами.

*Центрові кантувачі* (рис.6.65,г.) застосовують, головним чином, для кантівки на  $360^\circ$  порівняно коротких і жорстких виробів різної конфігурації. Їх забезпечують спеціалізованими столами, кондукторами і пристроями для фіксації деталей в різних положеннях.

*Важельні кантувачі* (рис.6.65,д.) призначені для повороту плоских і рамних конструкцій на кут до  $180^\circ$ . Важельні кантувачі з телескопічними домкратами дозволяють повертати стіл із закріпленим на нім виробом довкола горизонтальної осі на кут до  $90^\circ$ . На рис.6.66. показаний такий кантувач з двома робочими столами 1 і 3, кожен з яких під дією гідродомкратів 4 може обертатися на кут до  $90^\circ$ . Робочі столи розташовані на загальній самохідній платформі 2, яка переміщається по рейковій дорозі.

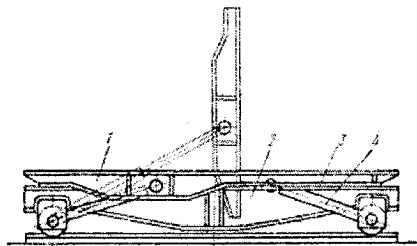


Рис. 6.66. Схема важельного кантувача

1, 3 - робочі столи, 2 - платформа, 4 - гідродомкрат

*Роликові стени* служать для обертання циліндричних і конічних виробів з регульованою(швидкістю зварювання) або нерегульованою( маршовою )швидкістю. Вони використовуються для переміщення виробів під час зварювання.

Роликові стенди широко використовуються для зварювання циліндричних і конічних конструкцій (резервуарів, трубних секцій, криволінійних елементів труб, зварних труб великого діаметру). На стендах, крім того, можуть виконуватися операції по обробці, контролю якості і випробуванню цих конструкцій. На рис.6.67. приведена типова конструктивна схема роликового стенду. Роликові стенди або, інакше, роликові обертачі призначені для повороту і установки виробу в зручне для зварювання положення і для обертання виробу з робочою швидкістю. Обертання виробу здійснюються приводними, зазвичай обгумованими роликами, зчепленими з виробом. Істотна перевага роликових стендів в тому, що швидкість обертання виробу, незалежно від його діаметру, дорівнює окружній швидкості обертання роликів. Звичайний роликовий стенд складається з системи не привідних і привідних роликів, змонтованих на загальній фундаментній плиті.

На першій схемі (рис. 6.67.) стенд має два ряди роликів, з яких один ведучий (привідний), а інший – не привідний. Привідні ролики мають гумові бандажі для кращого зчеплення з виробом і рівномірного розподілу маси виробу на всі ролики. На другій схемі представлений роликовий стенд для обертання виробу з ексцентрично розташованими масами.

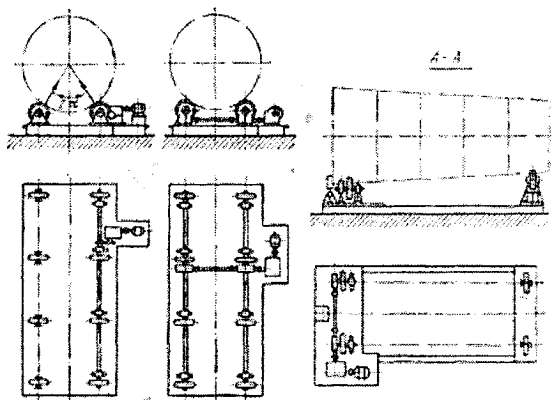


Рис. 6.67. Типові схеми роликових стендів

Всі ролики цього стенду привідні і мають гумові бандажі. Сила зчеплення в цьому стенді удвічі більше, чим в стенді, приведеному на першій схемі. На

третьої схемі представлений роликівий стенд, що використовується для обертання конічних або ступінчастих виробів порівняно невеликої довжини. Він має лише два привідних ролики, розташованих в одній поперечній площині, останні ролики – не привідні.

Здатність роликівих стендів, тобто найбільша вага виробу, що обертається, визначається допустимим навантаженням на кожен ролик, числом роликів, що несуть, і потужністю приводу обертання. Типаж механічного зварювального устаткування передбачає випуск одинарних роликівих опор з найбільшим допустимим радіальним навантаженням, рівним 500, 1000, 2000, 4000 і 8000 кг і перекидних роликівих опор з навантаженням 500 - 4000 кг.

*Механічне устаткування для установлення і переміщення зварювальних апаратів( головок).* Установлення і переміщення зварювальних апаратів і головок реалізується за допомогою зварювальних колон, візків і порталів.

Колони для зварювальних апаратів виконуються оборотними (рис. 6.68.) і необоротними (рис.6.69) з під'ємною або стаціонарною консоллю. Залежно від призначення (для самохідного або несамохідного апарату) колона може мати висувну або не висувну консоль. Висувна консоль може мати привід, що забезпечує швидкість зварювання. Вони можуть виконуватися з поворотними і похилими консолями.

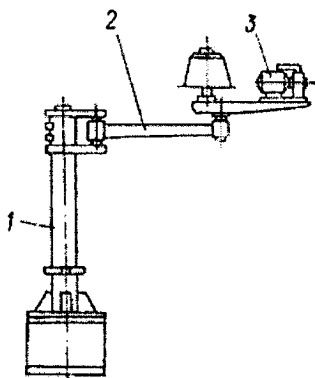


Рис. 6.68.. Колона оборотна зі зварювальним напівавтоматом  
1- стійка; 2 – поворотна консоль; 3 - зварювальний напівавтомат.

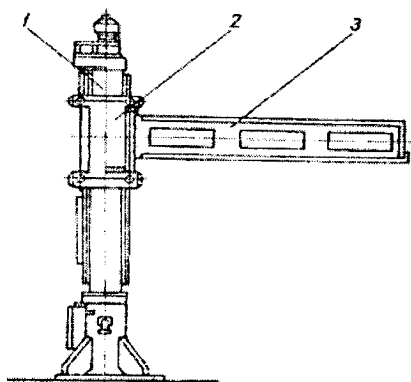


Рис.6.69. Колона необоротна.

1 – стаяк; 2 – механізм під'єму; 3 - консоль

Поворотна консоль колони (рис. 6.68.) складається з двох шарнірно зв'язаних частин, що дозволяє забезпечувати зварювання практично в будь-якій точці площі, описаної радіусом, рівним робочій довжині консолі. Крім того, колона має механізм вертикального переміщення консолі. Колони для самохідних зварювальних апаратів мають на консолі напрямні.

Зварювальні візки в порівнянні з колонами мають ще одну ступень свободи - переміщення по монорейці. Конструктивно візки скомпановано аналогічно колонам але додатково забезпечені механізмами переміщення і платформою на колесах.

По конструктивному оформленню механізму пересування існують зварювальні візки глягольні, велосипедні і порталні.

Глягольні зварювальні візки мають платформу, що переміщається по двокільному рейковому шляху, колону, консоль, по якій переміщується (або на яку навішується) зварювальний автомат.

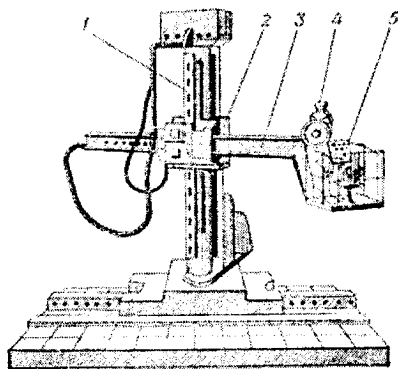


Рис.6.70. Глагольний зварювальний візок

1 - стійка; 2 - каретка; 3 - штанга;

4 - зварювальний автомат; 5 - місце зварювальника

У велосипедного візка платформа одноколійна; у верхній частині є підтримуючий ролик, що переміщається по напрямній. Велосипедний зварювальний візок показаний на рис. 6.71.

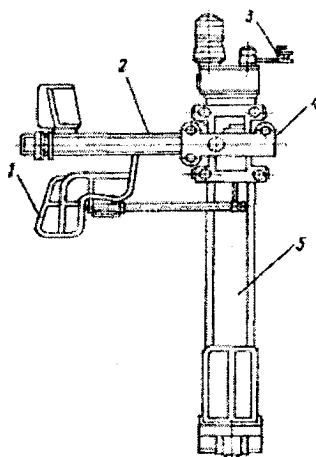


Рис. 6. 71. Велосипедний зварювальний візок:

1 - місце зварювальника; 2 - штанга; 3 - ролик, що підтримує;

4 - каретка; 5 - стійка

Портальні зварювальні візки мають дві колони, що сполучені між собою жорсткою балкою у вигляді порталу, спираються кожна на одноколійну платформу. Візки, що вертикально переміщуються, мають траверсу, по якій пересувається (або на яку навішується) зварювальний апарат. Портальний візок переміщається по рейковій дорозі широкої колії.

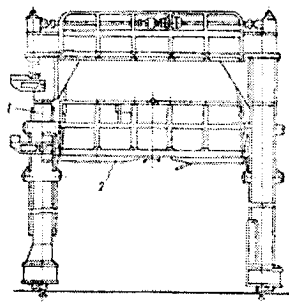


Рис. 6.72. Візок портальний:

1 - портал; 2 - траверса з балконом

Між рейками розташовується зварюваний виріб. Зварювальні візки можуть пересуватися уздовж зварюваного виробу із зварювальною і маршовою швидкістю для зварювання прямолінійних подовжніх швів; для зварювання прямолінійних поперечних швів візки мають напрмні, по яких переміщається зварювальний апарат, або висувну консоль, яка переміщається із зварювальною швидкістю. Крім того, візки мають механізм вертикального переміщення консолі (траверси), що дозволяє вести зварювання на заданій висоті.

Зварювальні колони і візки для здійснення руху зі швидкістю зварювання оснащуються двигуном постійного струму, що забезпечує безступінчате регулювання швидкості зварювання, або двигуном змінного струму з регулюванням швидкості зварювання за рахунок змінних зубчастих передач. Ці приводи аналогічні приводам маніпуляторів і мають механізми, що перетворюють обертальний рух в прямолінійний. У ланцюзі підйому, повороту, нахилу і висунення консолі можуть застосовуватися гідравличні, пневматичні і ручні приводи.



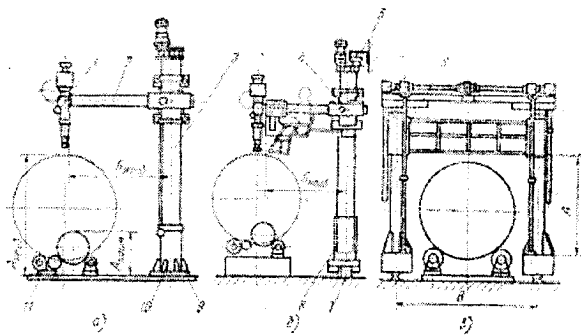


Рис. 6.73. Варіанти використання колон: а,б – консольні, в – портална.

1 - зварювальний головка, 2 - висувна консоль, а - вертикальна стійка, 4 - гільза з супортом, 5 - верхня рейка, 6 - портал, 7 - нижня рейка, 8 - візок, 9 - поворотна підставка колони, 10 - плита, I - перекидна роликоопора.

Зварювальні колони і візки, як правило, мають крісло або балкон для зварювальника, а також вентиляційну систему для відсмоктування шкідливих газів і аерозолів із зони зварювання. На рис.6.73. показані варіанти використання колон.

#### 6.6.4. Рекомендації до призначення способу зварювання

Під терміном «спосіб зварювання» мається на увазі об'єднання двох понять : процесу зварювання і способу виконання зварного шва з використанням цього процесу, тобто у разі призначення способу зварювання вирішується комплекс питань, а саме: призначається процес зварювання ( у середовище захисних газів, під флюсом), спосіб виконання зварного шва ( ручне, механізоване, автоматизоване) та тип підготовки (розкриття) крайок відповідно обраного способу виконання зварного шва.

Кожний спосіб зварювання має свої особливості: одні універсальні й можуть застосовуватися при зварюванні більшості металів, інші мають обмежене застосування. При виборі способу зварювання для виготовлення конкретної конструкції керуються положенням, що він повинен забезпечити високу якість зварних з'єднань при мінімальних витратах. Ця головна мета в більшості випадків може бути досягнута декількома шляхами.

Якість зварного з'єднання залежить від багатьох факторів. За інших рівних умов якість залежить від професійних навичок зварника, витрати на навчання якого визначаються складністю способу.

При виборі способу необхідно враховувати наявність устаткування і його вартість. Обсяг робіт може не відповідати витратам на придбання високопродуктивного устаткування, і частина робіт може виконуватися малопродуктивним способом, а якщо обсяги робіт невеликі то високопродуктивне устаткування більшу частину часу буде простоювати.

Визначити витрати на виконання зварного шва на перший погляд просто: вони складаються з вартості зварювальних матеріалів і оплати часу зварника. Але вартість одного метра шва не дає повну інформацію про реальні витрати. Необхідно враховувати також витрати на обробку деталей до зварювання (підготовка крайок, складність складання, підігрів) і зварного вузла після зварювання (механічна обробка швів, усунення деформацій, термічна обробка й ін.).

При зварюванні вузлів, які піддаються наступній механічній обробці, способи зварювання, при яких утвориться мінімальна кількість бризгів і диму, дозволяють розташувати зварювальне устаткування разом з устаткуванням для механічної обробки, що скорочує витрати на транспортування. Це також варто враховувати при виборі способу зварювання.

**Призначення способу зварювання** базується на основі конструкторсько – технологічного аналізу зварного виробу, під час якого з'ясовують такі основні фактори, що впливають на призначення способу зварювання:

- характеристика основного металу;
- характеристика зварних з'єднань;
- витрати на виготовлення.

**Характеристика основного металу.** При виборі способу зварювання конкретної марки металу або сплаву необхідно враховувати: 1) температуру плавлення металу й максимальні температури джерел нагрівання при зварюванні. Для легкоплавких металів мало придатні дугові способи

зварювання. Для зварювання відповідальних конструкцій з низьколегованих сталей температура полум'я на основі газової суміші недостатня і цей газ не рекомендується для використання; 2) наявність тугоплавких оксидних плівок на поверхнях, що підлягають зварюванню, і можливість їхнього руйнування в процесі зварювання. При зварюванні алюмінієвих сплавів в інертних газах постійним струмом прямої полярності оксидна плівка не руйнується, що утрудняє утворення якісного з'єднання; 3) активність розплавленого металу й вимоги до ефективності захисних властивостей атмосфери, у якій протікає процес. Зварювання активних металів (цирконій, титан) вручну покритими електродами не виконують, через поглинання розплавленим металом газів, що приводить до різкого погіршення властивостей шва. Для захисту дуги при зварюванні активних металів придатні лише дуже чисті інертні гази, причому найбільш високі результати можуть бути отримані при зварюванні в камерах з контрольованою атмосферою; 4) теплопровідність металу, що зварюється, і потужність джерел нагрівання при зварюванні. Для зварювання мідних і алюмінієвих сплавів великої товщини варто застосовувати як захисний газ гелій, тому що при цьому дуга володіє більшою проплавленняю здатністю; 5) схильність металу до утворення тріщин і наявність в атмосфері дуги речовин, що сприяють їхньому утворенню. Низьколеговані сталі підвищеної міцності схильні до утворення тріщин, викликаних воднем. Для зварювання цих сталей варто використовувати зварювання в захисному газі, при якому забезпечується більше низький зміст дифузійного водню у шві; 6) корозійну стійкість основного металу й наявність залишкових речовин, що викликають корозію. При газовому зварюванні алюмінію залишки флюсу можуть викликати корозію виробу й потрібна додаткова операція для ретельного очищення й промивання місця зварювання; 7) властивості металу й здатність зварювальних матеріалів забезпечити необхідні властивості металу звареного з'єднання; 8) ступінь зміни властивостей основного металу в зоні термічного впливу й вплив способу зварювання на ширину зони термічного впливу, а також глибину й необоротність процесів, що протікають у ній. При зварюванні

термічнозміцненого прокату режими зварювання й способи з більшими тепловложениями приведуть до різкого зниження механічних властивостей і несучої здатності конструкції; 9) стабільність властивостей зварних з'єднань і простоту керування процесом для забезпечення стабільності властивостей. У таблиці 6.1. надані рекомендації стосовно використання зварювання плавленням для різних груп металів.

Таблиця 6.1. Перелік металів, які зварюють типовими способами дугового зварювання плавленням.

№	Група матеріалу	Типові способи зварювання плавленням									
		Плавким електродом					Неплавким електродом				
		Е	АП	ІП	Ф	Ш	АН	ІН	П	ЕП	Л
1	Низьковуглецеві і низьколеговані сталі	Р	ПР	ОР	ПР	Р	Р	ОР	ОР	ОР	ОР
2	Низьколеговані високоміцні гартівні сталі	Р	Р	Р	Р	ОР	ОР	Р	Р	Р	Р
3	Низьколеговані теплостійкі сталі	Р	Р	ПР	Р	ОР	ПР	ПР	Р	Р	Р
4	Високолеговані сталі	Р	Р	ПР	Р	ОР	ПР	ПР	Р	Р	Р

У таблиці: ПР-переважно рекомендується; Р-рекомендується; ОР- обмежено рекомендуються; Е – ручне дугове; АП – у активних газах плавким електродом; ІП – інертних газах плавким електродом; Ф – під флюсом; Ш – електрошлакове; ІН - інертних газах неплавким електродом; П – плазмове; ЕП – електронне; Л – лазерне.

*Характеристика зварних з'єднань.* Основні параметри зварного з'єднання, що впливають на вибір способу зварювання є:

- взаємне розташування деталей – тип з'єднання (стикове, кутове, таврове, напусткове);
- товщина елементів, що підлягають зварюванню;
- довжина (коротке < 0.2 м, середнє 0.2...0.5 м, довге > 0.5 м);
- форма зварного шва (відповідний обрис, прямолінійні, кільцеві, кругові, тощо) та просторові положення його отримання.

*Тип з'єднання* обумовлен конструкторською документацією, що не передбачає будь якого його зміни на стадії розробки технологічного процесу виготовлення.

*Товщина елементів, що підлягають зварюванню.* Кожен спосіб зварювання в залежності від енергетичних властивостей має свою проплавляючу здатність, яка обумовлює можливість отримання зварного з'єднання певної товщини.

Діапазон товщини металу, яку зварюють основними типовими способами плавленням за один прохід наступний:

- ручне дугове 1- 6мм
- в активних газах плавким електродом 1-8мм
- в інертних газах плавким електродом 1-6мм
- під флюсом 2 – 12мм
- шлакове  $\geq 16$  мм
- в інертних газах неплавким електродом 0,5 -4мм
- плазмове 0,2 – 12мм
- електропроменеве  $\geq 0,01$ мм
- лазерне 0,001 – 60мм

*Довжина шва.* Довжина шва впливає на вибір способу зварювання с точки зору підвищення рівня механізації або автоматизації зварювального виробництва. Рекомендації щодо вибору рівня механізації і автоматизації типового способу зварювання в залежності від довжини шва і типу виробництва наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2. Рівні механізації і автоматизації способів зварювання

Довжина шва	Тип виробництва		
	Одиничний	Серійний	Масовий
Короткий $\leq 0,2$ м	Р	Р, М	М, Ар
Середній $0,2 - 0,5$ м	Р, М	М	Аз, Ар
Довгий $> 0,5$ м	М	Аз	Аз

Умовні позначення: Р – ручне зварювання; М – механізоване ;

Аз – автоматизоване; Ар – автоматичне роботами.

*Форма зварного шва та просторові положення його отримання.* Великий вплив на вибір способу зварювання робить положення шва в просторі. При зварюванні в нижньому положенні стикових з'єднань й кутових з'єднань «у човник» можна застосовувати високопродуктивні способи. Для зварювання в стельовому положенні придатні ручне зварювання й зварювання в захисному газі на обмежених режимах.

В окремих випадках взаємне розташування деталей може бути таким, що габаритні розміри пальників для механізованого зварювання не дозволяють виконати зварювання такого з'єднання й у цьому випадку можливе лише ручне зварювання покритими електродами.

Кореневий шар однобічних швів з повним проплавленням без підкладки найбільше успішно може бути виконаний зварюванням електродом, що не плавиться, в аргоні з присадкою.

При зварюванні шарів, що заповнюють, у нижньому положенні економічно вигідно застосовувати зварювання під флюсом або в захисному газі на режимах, при яких спостерігається струминевий переніс.

При зварюванні складних вузлів, для складання яких застосовуються спеціальні складальні пристосування, не завжди можливо застосувати автоматичні установки через наявність затискачів, інших фіксуючих і настановних вузлів пристрою. Зварювання в нижньому положенні більше економічне, дозволяє використовувати більше продуктивні способи. Для

розташування вузлів у нижнім положенні варто широко використовувати маніпулятори, обертачі, особливо в серійному виробництві.

У монтажних умовах застосування ряду способів обмежено. Так зварювання в захисному газі можливі за умови захисту зони зварювання від вітру.

Вибір способу зварювання визначається й експлуатаційними вимогами. Якщо зварна конструкція повинна працювати при динамічних навантаженнях, зварні шви повинні мати плавний перехід до основного металу, а кутові шви - плоску або ввігнуту форму. Таку форму легше одержати при зварюванні під флюсом і в захисному газі у положенні «у човник», ніж при ручному зварюванні електродами з покриттям основного типу.

Основні переваги й недоліки процесів зварювання наведені вище. Вибір найбільш підходящого способу може бути зроблений при ретельному аналізі всіх аспектів і розрахунку вартості виконання зварного з'єднання.

*Витрати на виготовлення* зварних вузлів складаються з наступних видаткових статей: оплати праці зварника, оплати підготовчо-заклучних і допоміжних робіт, накладних витрат, витрат на зварювальні матеріали й електроенергію, амортизаційних витрат, витрат на експлуатацію й ремонт устаткування.

Відомо, що лише частина часу (час горіння дуги) зварник витрачає безпосередньо на зварювання. Цей час оцінюється коефіцієнтом використання устаткування (поста), тобто відношенням часу горіння дуги до загального часу роботи зварника. Коефіцієнт використання поста становить : для ручного зварювання - 30-50 %, для механізованої - 10-60 %, для автоматичної - 40- 90 %, для зварювання з використанням робота 100 %.

Витрати на зварювальні матеріали підрахувати найбільше просто. Знаючи геометрію шва й коефіцієнт переходу присадкового або електродного металу в шов, легко підрахувати їхні загальні витрата у вартість. Витрати на зварювальні матеріали можуть бути знижені низькою організаційних заходів, пов'язаних з удосконалюванням методів підготовки окрайків під зварювання й

вибором найбільш економічного оброблення крайків, поліпшенням якості складання, зменшенням розмірів зварних швів. Якщо врахувати, що згідно ДСТУ на основні типи й конструктивні розміри зварних з'єднань при зварюванні плавленням допуск на кут оброблення крайок становить  $\pm(2...3^\circ)$ , а висота випуклості досягає 4 мм, то зменшення кута оброблення на  $1^\circ$  або висоти випуклості на 1 мм дає 5—10 % економії зварювальних матеріалів.

Для цього необхідно більш широко застосовувати способи зварювання, що забезпечують одержання швів з мінімальною випуклістю, та мінімальним допуском на катет шва.

Зниження маси наплавленого металу при виготовленні зварних конструкцій може бути досягнуте при використанні зварювальних матеріалів, що забезпечують одержання швів підвищеної міцності, або застосуванні механізованих способів зварювання. Ці заходи дозволяють зменшити катет кутового шва без зниження міцності з'єднання.

Всі заходи, спрямовані на зниження витрат на втрату зварювальних матеріалів, забезпечують і зниження витрат на електроенергію. Амортизаційні витрати визначаються вартістю зварювального устаткування.

Вибір раціонального способу зварювання завдання складне і однозначної відповіді не існує. Звичайно оптимальне рішення може бути отримане при використанні декількох способів зварювання з урахуванням конструкцій вузлів і умов конкретного виробництва.

**Призначення типу розкриття крайок.** Розкриття крайків застосовують в основному для забезпечення повного провару по товщині металу. Оскільки кожен спосіб зварювання має свою проплавляючу здатність, тому й для однакової товщини металу, що зварюється, рекомендується різне розкриття крайок. Отже, тип розкриття крайок призначають по стандарту на відповідний спосіб зварювання. Стандарт на спосіб зварювання передбачає для однієї товщини різні типи розкриття крайок. Тому для остаточного призначення типу розкриття крайок необхідно брати до уваги додаткові фактори: зменшення частки основного металу в металі шва при зварюванні сталей з підвищеним змістом вуглецю або легованих сталей, створення сприятливого термічного



циклу, зниження ймовірності утворення дефектів, зменшення деформацій. Очевидно, що зварювання з обробленням крайок менш доцільна, тому що штучно віддаляється частина основного металу, а порожнина, що утворилася, заповнюється більше дорогим електродним або присадковим металом.

Вибір форми оброблення крайок залежить від конструкції вузла, що зварюється, застосовуваного способу зварювання й наявності відповідного устаткування. Мінімальні перетин шва й витрата електродного металу забезпечуються, коли крайки мають криволінійний скіс із двох сторін. Застосування двостороннього симетричного оброблення дозволяє значно зменшити перетин шва. Завдяки симетричності перетину шва при двостороннім обробленні кутова деформація конструкції значно менше, ніж при зварюванні однобічного багаточарового шва.

Кут розкриття крайок варто вибирати так, щоб були забезпечені провар вершини кута притуплення й оптимальний коефіцієнт проплавлення. При малому куті розкриття можливий непровар кореня шва й виникнення кристалізаційних тріщин.

### **6.7. Процеси технічного контролю і випробування**

Технічний контроль в зварювальному виробництві розділяють на вхідний, операційний і приймальний.

До вхідного контролю відносять контроль основних і зварювальних матеріалів і напівфабрикатів, призначених для використання при виготовленні виробів, а також попередній контроль зварювального устаткування і кваліфікації зварювальників. Вхідний контроль основних і зварювальних матеріалів має на меті не допустити використання неякісної продукції постачальника, що поступила до виробника зварних виробів.

Метою попереднього контролю є оцінка працездатності зварювального устаткування і допуск виробничого персоналу до виконання зварювальних робіт.

Система операційного контролю передбачає контроль технологічного процесу і продукції під час виконання або після завершення технологічної операції. Контроль технологічного процесу зварювання включає контроль

підготовки зварюваних деталей, їх складання до зварювання, безпосередньо процесу зварювання і отриманих зварних з'єднань.

Приймальний контроль зварних виробів включає зовнішній огляд виробу і визначення його розмірів, а також випробування (неруйнівні для всіх виробів і руйнівні для певного об'єму вибірки). При приймальному контролі перевіряється відповідність виготовленої продукції вимогам нормативно-технологічної документації і приймається рішення про її придатність до використання.

Таким чином, враховуючи особливі вимоги до виготовлення зварних виробів, організація технічного контролю в зварювальному виробництві має бути направлена не лише на приймальний контроль продукції, але і на контроль всіх стадій виробничого процесу її виготовлення, а також всіх чинників, що впливають на якість продукції.

За об'ємом контрольованої продукції розрізняють суцільний і вибірковий контроль. Суцільний контроль виконують для відповідальних зварних конструкцій. Вибірковий – при контролі виробів великосерійного і масового виробництва.

По можливості виявлення дефектів і засобам контролю проконтрольованої продукції застосовують руйнівний і неруйнівний контроль.

Руйнівний контроль застосовують для здобуття контрольованих кількісних показників продукції. В деяких випадках контроль проводять з частковим порушенням цілісності матеріалу виробу, тобто шляхом випробувань без руйнування виробу. Неруйнівний контроль не впливає на цілісність продукції і побічно характеризує її якість.

Принципово розглядають візуальний і інструментальний контроль. Візуальному контролю піддають 100% виробів. Інструментальний контроль є досконалішим, оскільки здійснюється за допомогою всіляких технічних засобів контролю. Іноді, як контрольний захід, використовують розрахункові (аналітичні) методи оцінки відповідності виробу експлуатаційним вимогам (наприклад, міцності).

**Контрольні заходи конкретно до виробу строго регламентуються відповідною нормативною технічною документацією.**

### **6.7.1. Вхідний контроль**

*Контроль основних матеріалів.* На початку основний матеріал перевіряють на наявність сертифікату, заводської маркіровки і товарного знаку виробника.

У сертифікаті вказується марка і хімічний склад, номер плавки, маса і номер партії, результати всіх випробувань, відповідних стандарту на матеріал, номер стандарту, типа профілю і розміри. Після контролю сертифікату метал піддають зовнішньому огляду з метою виявлення поверхневих дефектів, спотворення форми і ін.

У разі відсутності дефектів метал сортують за типорозмірами і маркують. Під типорозміром металу розуміють метал конкретного типу (форми) і з певними значеннями контрольованих параметрів, наприклад, лист певної товщини. Маркіровку металу виконують ударним способом (клеймом), електрогравіюванням і нанесенням фарбою марки металу, наприклад, уздовж подовжньої кромки листа. Матеріал зберігається в закритих приміщеннях в стійких штабелях або на стелажах.

Основний матеріал приймають партіями і, якщо він не відповідає вимогам технічної документації, то складається акт-рекламація (претензія) підприємству - виробнику матеріалу. Перевірений метал піддають пробному зварюванню, після якого проводять механічні або технологічні випробування, аналіз хімічного складу і металографічний аналіз зварного шва.

*Контроль зварювальних матеріалів.* Контроль зварювальних матеріалів так само, як і основного матеріалу включає: 1) перевірку наявності сертифікату; 2) перевірку збереження упаковки і наявності на ній етикеток; 3) зовнішній огляд; 4) пробне зварювання з випробуванням отриманих зварних з'єднань (перевірка технологічних властивостей зварювальних матеріалів). До зварювальних матеріалів відносять електроди, присадковий дріт, флюс і захисні гази. Електроди приймають партіями. Вони упаковані в пакчи

які мають етикетку з вказівкою марки, стандарту, заводу-виробника. Контроль зовнішнього вигляду здійснюють вибірково шляхом огляду певної кількості електродів з пачки. При цьому контролюють наявність на поверхні рисок, тріщин, сколів покриття, пор. На кожен з дефектів встановлюються норми бракування. Потім перевіряють міцність покриття шляхом вигину електроду і падіння його на сталеву плиту з висоти (0,5-1м).

Перевіряють покриття на вологостійкість після перебування у воді протягом доби. Контролюють рівномірність покриття по довжині електроду.

При проведенні пробного зварювання оцінюють: легкість запалення дуги; стабільність горіння дуги; міру розбрикування металу; рівномірність плавлення покриття; віддільність шлаку і так далі. Після зварювання з'єднання руйнують і оглядають злами, проводять механічні випробування, хімічні і металографічні дослідження.

Після перевірки електроди зберігаються в герметичних контейнерах в сухих приміщеннях. При тривалому зберіганні електроди перед зварюванням просушують.

Зварювальний дріт поставляють в бухтах, катушках або касетах. Дріт забезпечений металевими бирками, в яких вказаний стандарт, марка і завод-виробник. Кожна партія має сертифікат. В деяких випадках проводять хімічний аналіз дроту і потім здійснюють пробне зварювання з аналізом хімічного складу і механічних властивостей наплавленого металу. При зварюванні звертають увагу на властивості дуги, шлаку, характер плавлення.

Порошковий дріт при тривалому зберіганні обов'язково слід прожарювати і перевіряти механічні і технологічні властивості при зварюванні зразків.

Зварювальний флюс упаковують в герметичні мішки, які перевіряють на наявність етикеток. У етикетках вказані марка, стандарт і завод-виробник.

Зварювальний флюс контролюють на розмір зерна шляхом просіювання через сито з вічками, відповідними верхній і нижній межах розмірів зерен. Потім флюс перевіряє на вміст вологи. Вологість не повинна перевищувати 0,1 %. Пробу масою 100 грам просушують при температурі 300 °С і зважують через певні інтервали часу. Просушування припиняють, коли результати зважування

стають однаковими. Кількість вологи визначається по різниці між першим і останнім зважуванням. Флюс використовують одночасно з дротом при пробному зварюванні. При виконанні зварювання оцінюють стійкість горіння дуги, а після зварювання віддільність шлакової корки при невеликому простукуванні шва гумовим молотком. У необхідних випадках контролюють механічні властивості і хімічний склад наплавленого металу.

Флюс чутливіший до вологи, чим електрод. Тому флюс повинен зберігатися в герметичних ємкостях і перед зварюванням обов'язково піддаватися просушуванню.

Захисний газ поставляють в балонах, забезпечених етикетками, в яких вказані марка, хімічний склад, завод-виробник. Газ по етикетках перевіряють на наявність домішок. Газ контролюють на наявність вологи шляхом подачі струменя на фільтрувальний папір. За наявності вологи газ пропускають через осушувач, заповнюваний силікогелем (кристалічна речовина). Для осушення аргону використовуються осушувачі з титановою стружкою, яка нагрівається до температури 400 – 450 °С.

На прийнятті зварювальні матеріали працівниками ОТК складається приймальний акт. На неякісні матеріали складається рекламацийний акт, що направляється виробнику.

*Контроль кваліфікації зварювальників.* Контроль кваліфікації зварювальників здійснюють зварювальною лабораторією відділу головного зварювальника. При цьому на кожного зварювальника заводиться формуляр, де окрім звичайних відомостей про робітника наводяться дані про його кваліфікацію (зварювані матеріали, способи зварювання, просторові положення, розряд). Періодично формуляр доповнюється відомостями з атестації зварювальників. Атестація проводиться галузевими організаціями, що виконують нагляд за проведенням зварювальних робіт, на підприємствах галузі. На підставі загальних правил на підприємствах складаються відомчі інструкції по атестації зварювальників.

Атестація проводиться при використанні нових матеріалів, типів виробів і видів зварювання, до яких допускається зварювальник. Атестація проводиться

шляхом перевірки теоретичних знань і практичних навичок зварювальника по програмах, розроблених стосовно специфіки зварювальних робіт на підприємстві. Атестація підрозділяється на: 1) первинну; 2) додаткову; 3) періодичну; 4) позачергову.

Первинну атестацію проходять зварювальники, що не мали раніше допуску до зварювальних робіт. Посвідчення зварювальника дається на один рік.

Додаткову атестацію проходять зварювальники, які пройшли первинну атестацію, перед їх допуском до виконання зварювальних робіт, не вказаних в їх атестаційних посвідченнях, а також після перерви понад 6 місяців у виконанні зварювальних робіт.

Періодична атестація (переатестація) проводиться не рідше одного разу в 1 – 2 роки в цілях продовження зазначеного терміну дії атестаційних посвідчень.

Позачергову атестацію проходять зварювальники після їх тимчасового усунення від роботи за порушення технології зварювання або незадовільної якості зварних з'єднань, що повторюється.

*Контроль зварювального устаткування.* Метою контролю є перевірка працездатності устаткування. При оглядах, наприклад, зварювальних апаратів, перевіряють стан токопідводів, електричних контактів, справність регулюючих механізмів, знос подаючих елементів, зазори в кінематичних системах, міру забризкування захисних пристроїв і так далі.

*Контроль механічного устаткування.* При використанні складально-зварювального устаткування, наприклад, для дугового зварювання, контролюють поверхні притискних елементів, стан і форму зварювальних підкладок, справність тепловідвідних пристроїв, працездатність приводів і так далі.

Устаткування, що знов вводиться, і оснащення перевіряють на відповідність технічних параметрів, вказаних в паспорті. Після капітального ремонту проводиться атестація устаткування, що включає внесення змін до паспорта. На допуск устаткування до експлуатації оформляється свідоцтво, що

знаходиться у зварювальника або налагоджувача. За справний стан і безаварійну роботу устаткування між ремонтами відповідають зварювальник і налагоджувач. Для зварювального устаткування встановлюються певні норми обслуговування. Результати профілактичних оглядів, малих і середніх ремонтів відбиваються в журналах, передбачених системою планово – попереджувальних робіт.

Будь-яку контроль-вимірювальну апаратуру перевіряють порівнянням її показань з показаннями еталонних засобів виміру. Така операція проводиться метрологічною службою підприємства і називається метрологічною перевіркою.

### **6.7.2. Операційний контроль технологічного процесу виготовлення зварних конструкцій**

Система операційного контролю в зварювальному виробництві включає наступні операції: контроль підготовки деталей під зварювання, складання, процесу зварювання і отриманих зварних з'єднань.

Система операційного контролю в зварювальному виробництві включає наступні операції: контроль підготовки деталей під зварювання, складання, процесу зварювання і отриманих зварних з'єднань.

*Контроль підготовки деталей під зварювання.* Він передбачає контроль обробки лицьової і зворотної поверхонь, а також торцевих кромок зварюваних деталей. Поверхні зварюваних кромок мають бути зачищені від забруднень, мастила, іржі і окалини, на ширину 20 – 40 мм від стику.

*Контроль підготовки крайок при зварюванні конструкцій* включає: перевірку форми і геометричних параметрів оброблення крайок. До геометричних параметрів оброблення крайок під зварювання відносять величину притуплювання, кута скосу крайок і радіусу скруглення кореня розкриття крайок та інш. згідно до стандарту.

Для контролю геометричних параметрів оброблення кромки використовують універсальні вимірники параметрів крайок і шаблони.

Геометричні параметри підготовки зварюваних крайок обумовлені відповідними державними або галузевими стандартами. Відхилення від

встановлених значень зазвичай призводить до утворення зварювальних дефектів.

*Контроль складання.* Складання – установлення зварюваних деталей у відповідне положення один відносно одного. При складанні стикових з'єднань увагу звертають на складальні зазори і зсуви торцевих кромок. Відхилення цих величин у бік збільшення призводить до дефектів. При складанні напусткових з'єднань контролюється величина напуску, а при зварюванні таврових з'єднань – перпендикулярність зварюваних деталей. При складанні деталей типа тіл обертання контролюють співподання їх вісей. У всіх випадках контроль здійснюється відповідно до креслення виробу.

В цілях фіксації зібраних деталей у встановленому положенні виконують прихватку, що запобігає зсуву деталей при подальшому зварюванні або транспортуванні від складального до зварювального місця. При цьому контролюється відстань між прихватками, довжина прихваток і їх кількість. При перевірці якості прихваток слід звертати увагу на стан поверхні і висоту прихваток. Забруднені прихватки можуть привести до шлакових включень в металі шва, а прихватки великої висоти – до непровару. Зібрані, але не зварені протягом дня, конструкції підлягають повторному контролю.

*Контроль процесу зварювання.* Контроль включає візуальне спостереження за процесом плавлення металу і формування шва, контроль стабільності параметрів режиму і працездатності устаткування. При контактному зварюванні контролюють постановку зварювальних крапок, а при дуговому зварюванні стійкість горіння дуги і стабільність захисту від окислення, а також візуальний огляд зварного шва. Форми зварних крапок і обрис зварного шва характеризують правильність режиму зварювання. Тому постійний контроль за режимом зварювання, за показниками контрольно-вимірювальних приладів і візуальні спостереження за процесом дозволяють оперативно реагувати на можливі відхилення, багато в чому забезпечує якість зварних з'єднань. При зварюванні відповідальних конструкцій використовують системи автоматичного управління і регулювання параметрів режиму за допомогою датчиків автоматичного контролю, вбудованих в зварювальне



устаткування. В деяких випадках ведуть безперервний запис параметрів. При двосторонньому зварюванні і зварюванні товстостінних конструкцій обов'язковий контроль першого (кореневого) шва (проходу).

Контролюють також порядок накладення і кількість шарів, стан поверхні кожного шару, якість зачистки попереднього шва, час перерв між проходами, послідовність виконання зварних швів і так далі

При контролі виготовлення складних конструкцій необхідно звертати увагу на дотримання послідовності і режимів виготовлення конструкцій в цілому, оскільки якісне виконання зварних з'єднань на вузлах або підвузлах не гарантує якості конструкції в цілому.

### **6.7.3. Приймальний контроль зварних конструкцій**

Приймальний контроль проводиться з метою виявлення недопустимих зовнішніх і внутрішніх дефектів зварних з'єднань і на відповідність готового зварного виробу експлуатаційним вимогам (формою і розмірам, міцності, щільності і ін.).

*Контроль зварних з'єднань на наявність дефектів* . Залежно від вигляду дефекту і місця його розташування застосовується візуальний і інструментальний контроль .

*Візуальним* способом огляду піддають зварний шов і околшовну зону. Зазвичай контроль проводять неозброєним оком. При виявленні поверхневих дефектів розміром менше 0,1 мм використовують оптичні пристрої, наприклад, лупу 4-7 кратного збільшення. Необхідність вживання для візуального огляду оптичних приладів з вказівкою кратності їх збільшення має бути обумовлена в технічній документації на контроль. При контролі важкодоступних для зовнішнього огляду зварних з'єднань використовують оптичні прилади, наприклад, ендоскоп на основі гнучких світлопровідних трубок. Якщо технологічний процес передбачає механічну обробку зварних швів, то контроль виконують і після її проведення.

Зовнішній огляд, як правило, поєднують з виміром конструктивних елементів зварних швів з метою виявлення відхилення по розмірах і формі швів від вимог стандартів, креслень, технічних вимог і інструкцій по зварювання

виробів. Для обміру швів зварних з'єднань в умовах масового виробництва існують спеціальні шаблони, що дозволяють з достатньою мірою точності контролювати параметри зварних швів.

В умовах одиничного виробництва зварні з'єднання обміряють універсальними вимірювальними інструментами або стандартними шаблонами, приклад яких наведений на рис.6.74. Набір шаблонів ШС-2 є комплектом сталевих пластинок однакової товщини, розташованих на вісях між двома щоками. На кожній з вісей закріплено по 11 пластин, які з двох сторін підтискаються плоскими пружинами. Дві пластини призначено для перевірки вузлів оброблення кромки, останні - для перевірки ширини і висоти шва. За допомогою цього універсального шаблону можна перевіряти кути оброблення кромки, зазори і розміри швів стикових, таврових і кутових з'єднань

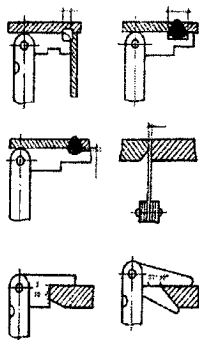


Рис. 6.74. Вимір оброблення крайок, зазорів і розмірів швів шаблоном ШС-2

При огляді виявляють, як правило, поверхневі пори, тріщини всіх видів і напрямів, напливи, пропалення, свищі, підрізи, незаварені кратери, непровари та інші поверхневі дефекти. Якість вважається незадовільною, якщо будуть виявленні недопустимі дефекти.

*Інструментальні методи контролю* поділяються на неруйнівні і руйнівні.

**Неруйнівні методи**, часто називають фізичними методами контролю.

Існуючі неруйнівні методів контролю зварних з'єднань застосовують відповідно

до технічних умов. Вигляд і кількість методів залежать від технічної оснащеності зварювального виробництва і відповідальності зварного з'єднання.

Найбільш вживані наступні методи:

*Магнітний метод контролю.* Магнітні методи контролю засновані на принципі використання магнітного розсіяння, що виникає над дефектом при намагніченні контрольованого виробу. (рис. 6.75.) Наприклад, якщо зварний шов не має дефектів, то магнітні силові лінії по перетину шва розподіляються рівномірно. За наявності дефекту в шві унаслідок меншої магнітної проникності дефекту магнітний силовий потік огинатиме дефект, створюючи магнітні потоки розсіяння.

Залежно від способу реєстрації потоків розсіяння розрізняють три магнітні методи контролю: магнітопорошковий, магнітоферозондовий та магнітографічний.

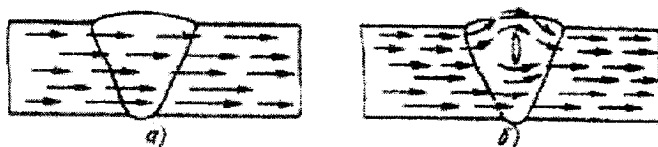


Рис. 6.75. Проходження магнітного силового потоку по зварювальному шву: а - без дефекту; б - з дефектом

Найбільш поширений магнітопорошковий метод або магнітопорошкова дефектоскопія

Магнітопорошковий метод полягає в тому, що на поверхню контрольованого металу рівномірним шаром наносять порошок (сухий метод) або емульсію (мокрый метод), намагнічують метал і візуально фіксують наявність дефектів. Порошок або емульсія, потрапляючи в магнітний потік розсіяння, викликаного дефектом, набувають форми дефекту. В якості магнітного порошку при сухому методі застосовують подрібнений порошок закису - окисли заліза. В багатьох випадках як порошок використовують залізну окалину, яку заздалегідь подріблюють в кульовому

млині і просіюють через тонке сито. При мокрому способі застосовують так звану магнітну суспензію - суміш рідини (гас, трансформаторне масло) з магнітним порошком, найдрібніші частки якого рівномірно розподілені за її обсягом. Операцію контролю починають з того, що контрольовану ділянку зварного з'єднання поливають або обприскують суспензією. Дефекти виявляють по скупченнях магнітного порошку. Одну і ту ж ділянку перевіряють двічі. Після перевірки якості всіх зварних швів виріб розмагнічують. Цим методом виявляють тріщини, пори, непровари. Чутливість методу визначається магнітними характеристиками матеріалу контрольованого виробу, шорсткістю поверхні контролю, орієнтацією полів, що намагнічують, по відношенню до площини дефекту, якістю дефектоскопічних засобів і освітленістю контрольованої поверхні. Поле магнітного розсіювання можна фіксувати спеціальним приладом, званим магнітографічним дефектоскопом. Якість з'єднання визначають методом порівняння з еталонним зразком. Простота, надійність і дешевизна методу, а головне його висока продуктивність і чутливість дозволяють використовувати його в умовах будівельних майданчиків, зокрема при монтажі відповідальних трубопроводів.

*Радіографічні методи контролю.* Радіографічний метод контролю зварних з'єднань передбачає використання рентгенівського або гамма випромінювання і радіографічної плівки для виявлення дефектів. (рис. 6.76.). Даний метод, володіючи певними достоїнствами і недолікам, знайшов широке вживання в промисловості. Рентгеновські промені і гамма-промені здатні проходити через непрозорі предмети (метали) і діють на фотоплівку.

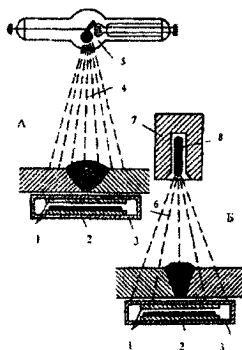


Рис.6.76. Схема радіографічних методів контролю

а – контроль рентгенівський; б – контроль гамма випромінюванням.

1 – екран; 2 - фотоплівка; 3 – касета; 4 - рентгенівські промені; 5 - рентгенівська трубка; 6 – гамма промені; 7 – контейнер; 8 – радіоактивний елемент.

Джерелом рентгенівських променів служить рентгенівська трубка. Пучок променів прямує на зварне з'єднання перпендикулярно осі шва. З другого боку шва встановлюють світлонепроникну касету, в якій знаходяться рентгенівська плівка і два екрани, що підсилюють зображення.

Дефектні місця шва - газові пори, шлакові включення, тріщини та інші - у меншій мірі знижують інтенсивність проникнення променів, чим суцільний метал. Міра засвічування плівки буде більша в місцях розташування дефектів.

Час просвічування (експозиція) залежить від товщини металу, що перевіряється, фокусної відстані, інтенсивності випромінювання і чутливості плівки. Після просвічування плівку проявляють, як це зазвичай робиться у фотографії. На отриманому негативі будуть видні окремі, темніші ділянки, по яких можна судити про наявність і розміри дефектів в зварному шві або околошовній зоні.

При просвічуванні поряд з швом (паралельно йому), з боку джерела випромінювання, встановлюють дефектометр, який служить для визначення глибини залягання і величини виявленого дефекту. Дефектометр - це

пластинка, виготовлена з того ж матеріалу, що і просвічуваний метал. Товщина пластинки має дорівнювати посиленню шва.

Просвічування гамма-променями (гамма-дефектоскопія) аналогічно просвічуванню рентгенівськими променями. Гамма-промені виникають в результаті розпаду природних радіоактивних елементів (урану, радію, торія) або штучних радіоактивних речовин, отриманих під впливом ядерних часток (нейтронів). У промисловості широко використовуються штучні радіоактивні ізотопи (кобальт-60, цезій-137, тулій-170, іридій-192). Радіоактивний ізотоп кобальт-60 може безвідмовно використовуватися п'ять з гаком років, а цезій-137—более 30 років. У цьому полягає одна з переваг гаммаграфірування в порівнянні з рентгенографірування. Гамма-промені діють на всіх напрямках з однаковою силою, а тому дозволяють просвічувати кільцеві шви або одночасні декілька деталей, розташованих по колу, за одну експозицію. К істотним недолікам гамма-дефектоскопії слід віднести тривалий час експозиції і меншу чутливість до виявлення дефектів в зварних швах завтовшки до 50 мм. Крім того, контейнер з ампулою радіоактивної речовини вимагає особливого приміщення для зберігання, при роботі з ним необхідні ретельні запобіжні засоби щоб уникнути опромінення, що часто буває важко виконати. Радіографічним контролем виявляються наступні внутрішні дефекти зварних з'єднань: тріщини, непровари, пори, металеві і неметалічні включення і деякі зовнішні дефекти, які недоступні для зовнішнього огляду (збільшення або зменшення розмірів шва і ін.). Радіографічний контроль не забезпечує виявлення деяких дефектів: непроварів і тріщин з розкриттям менше 0,1 мм при товщині контрольованого з'єднання до 40 мм, а при товщині більше 40 мм з розкриттям менше 0,25% і ін..

Радіоскопічний метод неруйнівного контролю заснований на реєстрації іонізуючих випромінювань на флуоресціюючому екрані або за допомогою електронно-оптичного перетворювача. Перевага даного методу - можливість механізації процесу контролю. Метод призначений для дистанційного візуального виявлення, фотореєстрації і фіксації розташування внутрішніх дефектів в зварних з'єднаннях. В процесі контролю виріб переміщують з

певною швидкістю відносно екрану, що перетворює рентгенівське випромінювання в оптичне зображення. Це зображення передається телевізійною системою на екран.

Ультразвуковий метод (рис.6.77.) відноситься до акустичних методів контролю, що виявляють дефекти з малим розкриттям: тріщини, газові пори і шлакові включення, у тому числі і ті, які неможливо визначити радіаційною дефектоскопією. Принцип його дії заснований на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від границі розділу двох середовищ. Найбільшого поширення набув п'єзоелектричний спосіб здобуття звукових хвиль.

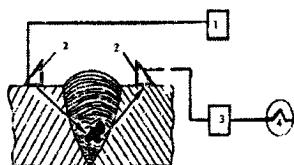


Рис. 6.77. Схема ультразвукового контролю: 1 -генератор ультразвукових коливань; 2-п'єзоелектричний щуп; 3-підсилювач; 4-екран дефектоскопа.

Цей метод заснований на збудженні механічних коливань при накладеннях змінного електричного поля в п'єзоелектричних матеріалах, які використовують кварц, сульфат літію, титанат барію і ін.

Для цього за допомогою п'єзометричного щупа ультразвукового дефектоскопа, що розміщується на поверхні зварного з'єднання, в метал вводять направлені звукові коливання. Ультразвук з частотою коливань більше 20 000 Гц вводять у виріб окремими імпульсами під кутом до поверхні металу. При зустрічі з границею розділу двох середовищ ультразвукові коливання відбиваються і уловлюються іншим щупом. При однощуповій системі це може бути той же щуп, який подавав сигнали. З приймального щупа коливання подаються на підсилювач, а потім посилений сигнал відбивається на екрані осцилографа. Для контролю якості зварних швів у важкодоступних місцях в умовах будівельних майданчиків використовують малогабаритні дефектоскопи полегшеної конструкції.

До переваг ультразвукового контролю зварних з'єднань відносять: велику проникаючу здатність, що дозволяє контролювати матеріали великої товщини; високу продуктивність приладу його чутливість, що визначає місцезнаходження дефекту площею 1 -2 мм<sup>2</sup>. До недоліків системи можна віднести складність визначення вигляду дефекту. Тому ультразвуковий метод контролю інколи застосовують в комплексі з радіаційним.

*Руйнівні методи контролю.* дають можливість отримати кількісні характеристики показників якості зварного з'єднання (наприклад, міцність ) и точно визначити вид (природу) дефекта. До руйнівних методів контролю відносяться способи випробування контрольних зразків з метою здобуття необхідних характеристик зварного з'єднання. Ці методи можуть застосовуватися як на контрольних зразках, так і на зразках, вирізаних з самого з'єднання. В результаті руйнівних методів контролю перевіряють правильність підібраних матеріалів, вибраних режимів і технологій, здійснюють оцінку кваліфікації зварювальника.

Механічні випробування є одним з основних методів руйнівного контролю. За їх даними можна судити про відповідність основного матеріалу і зварного з'єднання технічним умовам і іншим нормативам, передбаченим в даній галузі.

До механічних випробувань відносять:

- випробування зварного з'єднання в цілому або на різних його ділянках (наплавленого металу, основного металу, зони термічного впливу) на статичне (короткочасне) розтягування;

- статичний вигин;

- ударний вигин (на надрізаних зразках);

- вимір твердості металу на різних ділянках зварного з'єднання.

Контрольні зразки для механічних випробувань зварюють з того ж металу, тим же методом і тим же зварювальником, що і основний виріб. У виняткових випадках контрольні зразки вирізують безпосередньо з контрольованого виробу. Варіанти зразків для визначення механічних властивостей зварного з'єднання показані на рис.6.78.



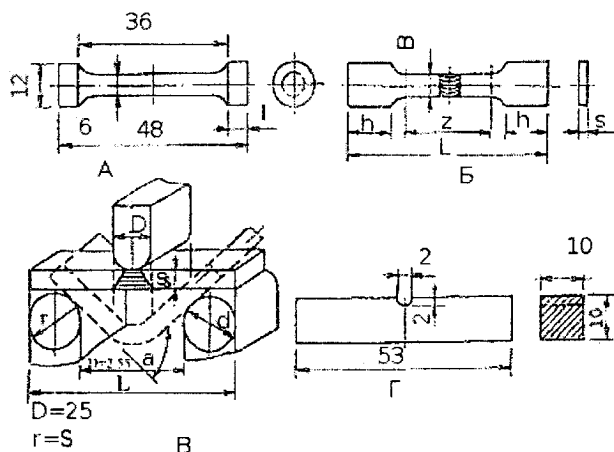


Рис. 6.78. Варіантів зразків для визначення механічних властивостей (розміри в мм): на розтягування наплавленого металу (А) і зварного з'єднання(Б); В-на вигин; Г-на ударну в'язкість.

*Статичним розтягуванням* випробовують міцність зварних з'єднань, межу текучості, відносне подовження і відносне звуження.

*Статичний вигин* проводять для визначення пластичності з'єднання по величині кута вигину до утворення першої тріщини в розтягнутій зоні. Випробування на статичний вигин проводять на зразках з подовжніми і поперечними швами із знятим посиленням шва урівень з основним металом.

*Ударний вигин* - випробування, що визначає ударну в'язкість зварного з'єднання. і про стійкість зварних швів проти крихкого руйнування

*Випробування на твердість.* За результатами визначення можна судити про характеристики міцності, структурних змінах металу.

*Металграфічні* дослідження зварних з'єднань проводять для встановлення структури металу, якості зварного з'єднання, виявляють наявність і характер дефектів. По вигляду зламу встановлюють характер руйнування зразків, вивчають макро- і мікроструктуру зварного шва і зони термічного впливу, судять про структуру металу і його пластичність.

Макроструктурний аналіз визначає розташування видимих дефектів і їх характер, а також характер зламу металу. Його проводять неозброєним оком або під лупою з 20-ти кратним збільшенням.

Мікроструктурний аналіз проводиться із збільшенням в 50-2000 разів за допомогою спеціальних мікроскопів. При цьому методі можна виявити оксиди на кордонах зерен, частки неметалічного включення, величину зерен металу і інші зміни в його структурі. При необхідності роблять хімічний і спектральний аналіз зварних з'єднань.

*Контроль зварних з'єднань на відповідність експлуатаційним вимогам.* Основними експлуатаційними вимогами до зварних з'єднань окрім відсутності недопустимих дефектів є забезпечення щільності та міцності. Контроль на щільність і міцність проводять шляхом проведення відповідних випробувань.

*Контроль на щільність. Гідравлічне випробування.* При цьому методі випробування в ємкості після наповнення водою за допомогою насоса або гідравлічного преса створюють надлишковий тиск. Тиск при випробуванні зазвичай беруть в 1,5—2 рази більше робочого. Величину тиску визначають по перевіреному і опломбованому манометру. Випробовувану ємкість під тиском витримують протягом 5—10 мін. В цей час шви оглядають на відсутність течі, крапель і запотівань. Для гідравлічного випробування застосовують не лише воду, але і авіаційне масло або дизельне паливо (при контролі щільності швів в масляних і паливних баках, трубопроводах).

Крім того, випробування можливо проводити наливанням води. Так випробовують вертикальні резервуари для зберігання нафти і нафтопродуктів, газгольдери і інші ємкості.

При пневматичному випробуванні стислий газ (повітря, азот, інертні гази) або пару подають у випробовувану ємкість. Ємкість невеликого об'єму занурюють у ванну з водою, де про нещільність швів судять через вихід бульбашок газу через дефектні місця. Зварні резервуари і трубопроводи випробовують шляхом змазування зварних швів пінним індикатором, який пузириться в місцях нещільності. Найпростішим пінним індикатором є водний

розчин мила. Для випробування при негативних температурах придатні суміші мильного розчину з гліцирином, льняне масло і ін. При пневматичних випробуваннях необхідно строго дотримувати правила техніки безпеки. На магістралі мають бути запобіжні клапани. Окрім робочого манометра, при випробуваннях передбачають контрольний манометр. При випробуванні під тиском не допускається обстукування зварних швів і виправлення дефектів.

*Вакуум-випробування.* Ділянку шва, що перевіряється на щільність, змочують водним розчином мила. На шов встановлюють вакуум-камеру, що є коробкою з відкритим дном і прозорою верхньою кришкою з плексигласу. По контуру відкритого дна вакуум-камера має гумове ущільнення. З камери викачують повітря до певного розрідження. По спінюванню мильного розчину, яке спостерігають через кришку, виявляють розташування дефектів. Цей метод знайшов вживання при контролі стикових швів днищ резервуарів.

*Випробування гасом.* Цей метод випробування заснований на явищі капілярності, яке полягає в здатності багатьох рідин, у тому числі і гасу, підніматися по капілярних трубках (трубкам малого поперечного перетину). Такими капілярними трубками є наскрізні пори і тріщини в металі зварного шва. Одну сторону стикового шва покривають водним розчином крейди, після висихання якого іншу сторону змочують гасом. Час витримки виробу після змочування гасом залежить від товщини зварюваних деталей: чим більше товщина і чим нижче температура повітря, тим більше час витримки.

*Випробування аміаком.* Сутність цього методу полягає в тому, що випробовувані шви покривають паперовою стрічкою, яка просочена 5%-ним водним розчином азотнокислої ртуті або фенолфталеїном. У виріб нагнітається повітря до певного тиску і одночасно подають деяку кількість газу (аміаку). Проходячи через пори шва, аміак залишає на папері чорні (папір просочений розчином азотнокислої ртуті) або червоні (фенолфталеїнова папір) плями.

*Випробування за допомогою течношукачів.* При цьому методі випробування застосовують гелієві або галоїдні течношукачі. При вживанні гелієвих течношукачів усередині випробовуваної ємкості створюють вакуум, а зовні зварні шви обдувають сумішшю повітря з гелієм. За наявності

нещільності гелій проникає всередину ємкості, а потім поступає в течешукачь, де є спеціальна апаратура для його виявлення.

В разі вживання галоїдних течешукачів усередині випробовуваної ємкості створюють надлишковий тиск і вводять невелику кількість галоїдного газу. Газ проникає через нещільність шва і поступає в спеціальну апаратуру. По наявності галоїдного газу визначають нещільність шва. Цей метод володіє високою чутливістю і застосовується для контролю відповідальних зварних виробів.

**Контроль на міцність.** Міцність зварних з'єднань оцінюється за результатами механічних випробувань зразків під час неруйнівного контролю або за результатами гідравлічного випробування одночасно на міцність і щільність. Вважається, що зварне з'єднання відповідає вимогам міцності, якщо за результатами гідравлічного випробування відсутні пошкодження ( розриви) металу.

#### **6.7.4. Виправлення дефектів в зварних з'єднаннях**

Всі дефекти зварного з'єднання, розміри і кількість яких перевищують норми, встановлені нормативними документами, підлягають обов'язковому усуненню, а якщо це неможливо, зварний виріб бракується. Перш за все необхідно дефект видалити. В конструкціях зі сталі основними способами видалення дефектів є: а.) механічні (вирубка пневмозубилом, висвердлювання, шліфування, фрезерування); б.) термічні (дугове, плазмено-дугове стругання); з подальшою обробкою поверхні абразивами. Під струганням розуміють поверхневе зняття металу.

Якщо проводиться видалення дефекту в швах, що підлягають обов'язковій термічній обробці (з легованих і хромистих сталей), то приступати до виправлення дефектів слід лише після відпустки зварного з'єднання (при 450—650°C).

При видаленні дефектних місць доцільно дотримувати певні умови. Довжина ділянки, що видаляється, має дорівнювати довжині дефектного місця плюс 10—20 мм з кожного боку, а ширина оброблення вибірки має бути такої, аби ширина шва після заварювання не перевищувала його подвійної ширини до

зварювання. Форма і розміри підготовлених під зварювання вибірок повинні забезпечувати можливість надійного провару в будь-якому місці. Поверхня кожної вибірки повинна мати плавні контури без різких виступів, гострих поглиблень і задирок. Дефектні ділянки з наскрізними тріщинами не вибирають, а засвердлюють по кінцях, відступаючи від краю тріщини на 10-15 мм. Діаметр свердла – 4 - 5мм. При товщині металу до 2,5мм використовується свердло діаметром 1,5-2,5мм.

При зварюванні дефектної ділянки має бути забезпечене перекриття прилеглих ділянок основного металу. Після зварювання ділянку необхідно зачистити до повного видалення раковин і рихлості в кратері, виконати на ній плавні переходи до основного металу.

Підрізи прийнято усувати наплавленням ниткового шва по всій довжині дефекту. Проте це веде до підвищення витрати зварювальних матеріалів. У таких випадках доцільно застосовувати оплавлення підрізу аргонодуговими пальниками, що дозволяє «згладити» дефекти без додаткового наплавлення.

Напливи і нерівномірності форми шва виправляють механічною обробкою дефекту по всій довжині. Кратери швів зварюють. Пропалення в швах спостерігаються рідко, їх зачищають і зварюють.

Зварювання дефектної ділянки виконують одним із способів зварювання плавленням (ручне дугове, дугове в середовищі інертних газів і ін.). Зварювання дефектних ділянок, як правило, здійснюють в основному вручну. В деяких випадках, якщо це можливо, зварювання виконують на автоматах. Як присадковий матеріал застосовують дрiт тієї ж марки, що і при зварюванні основного металу. Перед зварюванням підбирають режим зварювання на технологічних зразках, товщина яких дорівнює товщині підварюваної ділянки в зоні дефекту. Залежно від міри відповідальності зварних з'єднань допускається 2-х або 3-х кратне підварювання дефектної ділянки. При цьому контролюється довжина підварювання і сумарна довжина всіх підварювань на ремонтваному виробі. Сумарна довжина ділянок зварних швів з будь-якими дефектами, що підлягають доопрацюванню за допомогою підварювання, не повинна

перевищувати 30% при довжині шва 500мм і 20% при довжині шва більш 500мм.

Виправлені шви зварних з'єднань мають бути повторно проконтрольовані відповідно до вимог, що пред'являються до якості виробу. Якщо при цьому знов будуть виявлені дефекти, то виконують їх повторне виправлення з дотриманням необхідних вимог. Число виправлень однієї і тієї ж дефектної ділянки, як правило, не перевищує трьох разів.

## **6.8. Технологічна документація на виготовлення зварних конструкцій**

### **6.8.1. Класифікація видів нормативно-технологічної документації**

Розрізняють основні і допоміжні документи. Основні документи бувають загального і спеціального призначень.

Основні документи повністю і однозначно визначають технологічний процес (операцію) виготовлення виробів і містять інформацію, необхідну і достатню для вирішення інженерно-технічних, планово-економічних і організаційних завдань.

Допоміжні документи застосовують при розробці, впровадженні і функціонуванні технологічного процесу (операції).

Нормативно-технічна документація заповнюється по правилах, викладеним в ГОСТ 3.1705-81.

*Документи загального* призначення застосовують окремо або в комплекті на технологічний процес зварювання (далі - ТП) незалежно від методів виготовлення виробів. До них відносяться: титульний лист (ТЛ), карта ескізів (КЕ), технологічна інструкція (ТІ).

*Документи спеціального* призначення застосовують при описі ТП (операції) залежно від видів процесів виготовлення виробів, типа і вигляду виробництва. До них відносяться:

- маршрутна карта (МК);
- карта технологічного процесу КТП;

карта типового технологічного процесу КТПП;  
операційна карта ОК;  
карта типової операції КТО;  
карта комплектування КК;  
карта налагодження КН/П  
карта техніко-норміровочна ТНК;  
карта кодування інформації ККІ;  
відомість технологічних маршрутів ВТМ;  
відомість операцій ВОП;  
відомість матеріалів ВМ і ін.

Комплектність документів визначають залежно від типу виробництва (одиничне, серійне, масове) і видів процесів, що розробляються, по їх організації (одиничний, типовий, груповий).

Кожен розроблений документ повинен мати самостійне позначення.

Приклад. ТД-0229014, де 02 - комплект документів ТП, 2 - типовий процес, 90 зварювання, 14 - рельєфне зварювання.

### **6.8.2. Загальні правила оформлення нормативно-технологічної документації на технологічні процеси зварювання**

Термінологія і класифікація видів зварювання, зварних з'єднань, швів, устаткування і матеріалів повинні відповідати ГОСТ 2601-84 і 19521-74.

Уніфікований запис найменувань операцій (переходів) повинен виконуватися в МК, КТП, КТПП, ОК. Застосовують три форми запису: повну, коротку, по кодових позначеннях.

Повний запис застосовують в МК при маршрутному описі ТП для одиничного і дрібносерійного виробництва, а також в МК, КТП (КТПП), ОК при операційному і маршрутно-операційному описі ТП, якщо входні в операцію переходи не розрізняються за способом зварювання.

Якщо ж вони різняться за способом зварювання, то застосовують короткий запис в нормативно-технічній документації будь-якого вигляду. Короткий запис практикують також при операційному і маршрутно-операційному описі ТП.

Нумерацію операцій ТП проставляють числами ряду арифметичної прогресії 5, 10, 15 і так далі. При коректуванні ТП операціям, що знов вводяться, привласнюють проміжні номери, не кратні 5. Уніфікований запис операції (переходу) повинен містити ключові слова:

найменування, номер позиції, вказівки на виконувани по ескізу зварні шви деталі;

найменування способу зварювання; інформацію про прихватки;

найменування способу виконання операції, переходу (по розмітці, по упору і тому подібне); особливі умови зварювання (положення, послідовність виконання швів, температуру підігрівання і тому подібне) і додаткові вимоги до виконання операції (це вказують в графі «Особливі вказівки»); інформацію про безпеку праці;

посилання на документи, що містять інформацію, яка доповнює або роз'яснює текстовий запис (креслення, ескіз).

При описі операцій вказують в технологічній послідовності переходи, установки, складання, зварювання, зачистки і ін., якщо їх виконують на тому ж робочому місці, де йде зварювання, і ті ж виконавці.

Нумерацію переходів в ТП проставляють числами натурального ряду (1, 2, 3, ...). Типова технологічна карта на складально-зварювальні роботи (МК/КТП) представлена на рис.6.79.

Кодове позначення операції вказують в МК, КТП (КТТП) в графі «Код, найменування операції» на рядку з символом «А», в ОК в графі «Код операції» на рядку з символом «В» в графі «Код, найменування операції».

Кодове позначення операції відповідає структурі:

Кодові позначення складально-зварювальних операцій приведені в таблиці. 2.

У графі «Позначення документа» вказують позначення нормативних документів, вживаних при виконанні даної операції.

Карта МК/КТП містить рядки А, Б, К/М, Р (А - назва операції і її номер; Б- опис устаткування; К/М - комплектація/ матеріали; Р - режим).



Інформація, що вноситься до рядка з символом «А». У графах «Цех», «Уч.», «РМ» рядка вказують відповідно номер (код) цеху, ділянки, робочого місця, де виконується операція (або їх буквені найменування).

У графу «Опер.» заносять номер операції. У графі «Код, найменування операції» вказують уніфіковане позначення операції ТП.

Інформація, що вноситься до рядка з символом «Б». У графу «Код, найменування устаткування» вписують його код, коротке найменування або модель і інвентарний номер.

Останні графи характеризують трудовитрати.

У графі «СМ» - «Міру механізації» вказують міру механізації кодом або індексами: РС – ручне складання, МС – механізоване складання у пристосуванні або по розмітці.

У графі «Проф.» наводять код професії робітника (складальник або зварювальник).

У графі «Р» дають розряд робітника.

У графу «УП» - «Умови праці» - вписують індекс: легкі (Л) або важкі (В).

У графі «КР» - «Кількість тих, що працюють» - вказують число зайнятих на операції робітників.

У графі «КОВД» - «Кількість деталей», що одночасно виготовляються, - вносять число деталей при виконанні однієї операції.

а) ГОСТ 3.1103-82 Схема 2. Изготовитель. Форма 19. Издается в двух экземплярах (исполнитель и заказчик)

Исполнитель	Заказчик	Госстандарт	Госстандарт	Госстандарт	Госстандарт	Госстандарт
ГОСТ 3.1103-82	ГОСТ 3.1103-82	ГОСТ 3.1103-82	ГОСТ 3.1103-82	ГОСТ 3.1103-82	ГОСТ 3.1103-82	ГОСТ 3.1103-82
ГОСТ 3.1103-82						
А Имя, Фамилия, Инициалы Б Место изготовления изделия В Изделие (наименование, артикул, номер детали, материал)						
Г Маркировка изделия (состав, номер детали, материал)						
Д Служебный символ						
Е Кодовка для внесения служебных символов, явным образом выражающих состав информации, но размещающейся в графах иного типа резаку формы документа						
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
МАСК77						

б) ГОСТ 3.1118-02 Форма 16

Исполнитель	Заказчик	Госстандарт	Госстандарт	Госстандарт	Госстандарт	Госстандарт	
Исполнитель	Заказчик	Госстандарт	Госстандарт	Госстандарт	Госстандарт	Госстандарт	
Восток, Девиз, Круг, Мар.				83В КЭН-109 01 007		50390.00040	
ар. № 30 ИТУУ КИП				Сторож А сварной		А	
А Имя, Фамилия, Инициалы Б Место изготовления изделия В Изделие (наименование, артикул, номер детали, материал)							
Г Маркировка изделия (состав, номер детали, материал)							
Д Служебный символ							
Е Кодовка для внесения служебных символов, явным образом выражающих состав информации, но размещающейся в графах иного типа резаку формы документа							
1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
МАСК77							

Рис 6.79. Характерні зразки документів технологічного процесу зварювання: форма маршрутної карти (а) і приклад її заповнення (б) наведені.

У графі «ОН» - «Одиниця нормування» - називають норму витрати матеріалу або норму часу.

У графі «ОП» - «Об'єм партії» - вказують її об'єм в умовах серійного виробництва в штуках.

Графа «Кшт» - «Коефіцієнт штучного часу» - відповідає багатOVERSTATному обслуговуванню, і для зварювальних робіт її не заповнюють.

У графах «Тпз» і «Тшт» вказують норми підготовчо-завершального і штучного часу на виконання операцій, вибрані на основі загальномашинобудівних і галузевих нормативів.

Інформація, що вноситься до рядка з символом «К/М». У графі «Найменування деталі» дають її назву по ЕСТД, допускається вказувати в цій графі марку матеріалу.

Графи «Позначення, код» і «ОПП» (звідки поступає партія) заповнюють відповідно до ЕСТД, зазвичай в графі «ОПП» повідомляють номер цеху.

У графі «ОМ» - «Одиниця виміру маси» - наводять масу виробу в кілограмах.

У графі «ОН» - «Одиниця нормування» - вказують норму витрати матеріалу в кілограмах.

У графу «КВ» вписують число виробів, що виготовляються.

У графі «Нвнтр» вказують норму витрати матеріалів.

Інформація, що вноситься до рядка з символом «М». У графі «Матеріал» вказують сортамент, марку матеріалу, розмір, позначення стандарту або ТУ.

При зварюванні цій графі дають також марку, діаметр присадного матеріалу, розмір електродів, а при паянні - марку, вигляд припою (дріт, фольга, порошок), діаметр і товщину припою, дані про флюси, середовища.

Інформація, що вноситься до рядка з символом «Р». У відповідні графи вписують інформацію про технологічні параметри режиму зварювання: типа шва, катет і довжину шва в міліметрах, положення шва, полярність струму, напругу, струм і швидкість подачі дроту.

У рядках, позначених в карті МК/КТП номерами, вказують вміст технологічних операцій і переходів з індексом «О». При цьому установки позначають буквами А, Б, В і так далі.

При оформленні технологічної документації треба користуватись рекомендаціями таблиць 6.3 та 6.4.

Таблиця 6.3. Коди складально-зварювальних операцій у технологічній карті

Форма запису операції	Код
<b>Зварювання</b>	<b>9000</b>
<b>Контактне зварювання</b>	<b>9010</b>
<b>Дифузійне зварювання</b>	<b>9020</b>
<b>Дугове зварювання</b>	<b>9030</b>
<b>Дугове зварювання</b>	
- покритим електродом	9031
- порошковим дротом	9034
- зварювання під флюсом	9035
- у інертних газах плавким електродом	9039
- у інертних газах неплавким електродом з присадковим металом	9041
- у інертних газах неплавким електродом без присадкового металу	9042
- у вуглекислому газі суцільним дротом	9043
- у вуглекислому газі порошковим дротом	9044
- у вуглекислому газі неплавким електродом з присадковим металом	9045
- у вуглекислому газі неплавким електродом без присадкового металу	9046
- у суміші інертних і активних газів плавким електродом	9051
- у вакуумі плавким електродом	9056

- в вакуумі неплавким електродом з присадковим металом	9057
- в вакуумі неплавким електродом без присадкового металу	9058
<u>Електрошлакове зварювання</u>	9061
Електроно-лучеве зварювання	9062
<u>Плазмове зварювання</u>	9063
<u>Газове зварювання</u>	9068
<b>Різання:</b>	
- кисневе	9172
- кисневе - флюсове	9176
- плазмове-дугове	9176
<b>Операція:</b>	
- складально - підготовча	8862
- складально - монтажне	8863
- слюсарно - складальна	8864
Термічна обробка	5000
Комплексний контроль геометричних параметрів	0260
<b>Контроль неруйнівний</b>	
- акустичний	0376
- вихровий	0377
-магнітний	0378
- радіоіонний	0382
- проникаючими речовинами	0386
<b>Випробування:</b>	
- механічне	0620
- на щільність	0675

Переміщення	0400
Транспортування	0401
Складування	0440
Правка	2156
Комплектування	0418
Закріплення	0112
Баування	8801
Размічання	0101
Згинання	2129

Таблиця 6.4. Позначення і символи у технологічній карті на складально – зварювальні роботи.

Показник	Позначення
Довжина	L,l
Ширина	B,b
Висота, глибина	H,h
Товщина	S
Діаметр	D,d
Радіус	R,r
Міжосьова і міжцентрова відстань	A,a
Кути	$\alpha, \beta, \gamma$ і інш..
Ширина шва	B
Випуклість шва	G
Крок переривістого шва	T
Катет кутового шва	K, $\Delta$
Вогнутість кутового шва	$\curvearrowright$
Разрахункова висота кутового шва	P

Товщина кутового шва	$A$
Сила тока	$I$
Напруга дуги	$U_d$
Напруга холостого ходу джерела живлення	$U_{xx}$
<b>Швидкість:</b>	
-зварювання.	$V_{св}$
- подачі дроту	$V_{п.п}$
Кількість	$N_p$
Густота	$\rho$
Кількість наплавленого металу	$Q_n$
Коефіцієнт наплавки	$\alpha_n$
Притуплення крайок	$C$
<b>Положення шва:</b>	
-у човнику	$L$
-нижнє	$H$
- горизонтальне	$G$
- полугоризонтальне	$ПГ$
- полустельове	$ПП$
- вертикальне	$B$
- полувертикальне	$П_v$
<b>Полярність:</b>	
-пряма	$П$
-оборотна	$O$
Коефіцієнт завантаження обладнання	$K_z$

Розроблені ТП стверджують в установленому порядку. Підписи осіб, що розробив і перевірів документ, а також відповідального за нормоконтроль, обов'язкові. Якщо все розробляла одна людина, то він ставить свій підпис один раз - в графі «Розробив».

### **6.9.Компановка, організація та обслуговування робочих місць з виготовлення зварних конструкцій**

Робоче місце - первинна ланка виробництва, є оснащеною технічними засобами зоною, де один або група працівників виконують виробничу операцію або роботу. На робочому місці досягається головна мета праці - якісне, економічне і своєчасне виготовлення продукції або виконання встановленого об'єму роботи.

Для досягнення цієї мети до робочого місця пред'являються технічні і організаційні вимоги.

#### **6.9.1. Вимоги до робочих місць**

*З технічних вимог* робоче місце має бути оснащене прогресивним устаткуванням, необхідним технологічним оснащенням, інструментом, контрольно - вимірювальними приладами, передбаченими технологією, підйомно- транспортними засобами.

*З організаційних вимог* наявне на робочому місці устаткування має бути раціонально розташоване в межах робочої зони; знайдений варіант оптимального обслуговування робочого місця сировиною, матеріалами, заготовками, деталями, інструментом, ремонтом устаткування і оснащення, прибиранням відходів; забезпечені безпечні і нешкідливі для здоров'я робітників умови праці.

Робоче місце складається з наступних елементів:

- виробничій площі;
- основного устаткування;
- пристроїв для зберігання виробу матеріалів, заготівель, готової продукції, відходів і браку;
- пристрої для зберігання інструментів, оснащення і пристосувань;
- підйомно-транспортних пристроїв;



Робочі місця бувають наступних типів (таблиця 6.5).

Таблиця 6.5

Класифікатор	Основні типи
По виду виробництва	Одиничне Серійне Масове
По числу виконавців	-Індивідуальне - Колективне (бригадні)
По рівню механізації праці	-Ручне -Механізоване - Автоматизоване
За місцем знаходження	В приміщенні На відкритому повітрі На висоті Під землею
По числу змін	- Однозмінне Багатозмінне
По кількості обслуговуваного устаткування	- одностаночне - Багатоверстатне
По виду операцій	- Основне - Допоміжне
По мірі спеціалізації	- Універсальне - Спеціалізоване - Спеціальне

По мірі рухливості	- Пересувне - Стационарне
По основній робочій позі	- Сидячи - Стоячи - Змінна поза

Технологічні вимоги до робочого місця визначаються і задовольняються змістом розробленого технологічного процесу на виготовленні виробу, в якому вказано необхідне устаткування і оснащення.

Організація робочого місця - це комплекс заходів, спрямованих на створення на робочому місці необхідних умов для високопродуктивної праці, на підвищення його змістовності і охорону здоров'я робітника.

Комплекс заходів охоплює:

- вибір раціонального планування(організації) робочого місця;
- обслуговування робочого місця по усіх його функціях.

Організація і обслуговування робочих місць значною мірою залежать від типу виробництва :

- в одиничному і дрібносерійному виробництвах на робочих місцях виконується велика кількість різноманітних операцій. Вони оснащені універсальним устаткуванням, різноманітним технологічним інвентарем;
- в серійному виробництві переважають робочі місця, на яких виконується обмежена кількість технологічних операцій. Вони оснащені спеціалізованим устаткуванням і інструментом;
- в масовому виробництві на робочих місцях виконуються, як правило, одна-дві технологічні операції, тому вони оснащені спеціальним устаткуванням і інструментом.

Одним з найважливіших показників організації робочих місць є рівень механізації. Розрізняють робочі місця ручною, механізованою і автоматизованою роботи. При організації робочих місць з переважно ручних прийомів в операціях визначається можливість механізації виконуваних робіт. При цьому особлива увага звертається на проектування і впровадження раціональних

методів праці. На механізованих робочих місцях організація спрямована на узгодження роботи людини і машини, забезпечення синхронності трудового і технологічного процесу, зручність і безпеку роботи. На автоматизованих робочих місцях(АРМ) технологічний процес здійснюється без безпосередньої участі робітника, за яким зберігаються тільки функції обслуговування : контроль, регулювання, ремонт, подання і вивезення деталей. Впровадження промислових роботів збільшує кількість АРМ, дозволяє організувати їх в умовах серійного і дрібносерійного виробництва.

Широке застосування в машинобудуванні устаткування з програмним управлінням в комплексі з промисловими роботами призводить до створення роботизованих робочих місць(РРМ). Їх характерна особливість - виконання в автоматичному режимі різних технологічних операцій, що забезпечує високий рівень концентрації технологічних операцій на робочому місці і сприяє підвищенню продуктивності праці, забезпеченню високої якості продукції.

У організації робочих місць велике значення має їх спеціалізація. Під спеціалізацією робочого місця розуміється визначення його раціонального виробничого профілю, який формується шляхом закріплення за місцем схожих операцій, згрупованих за ознакою конструктивно- технологічної подібності, точність обробки та ін. Скорочення номенклатури оброблюваних деталей або кількості виконуваних операцій на робочому місці, тобто звуження його спеціалізації, сприяє вдосконаленню трудових прийомів, підвищенню виробничих навичок і культури праці, а також продуктивності праці.

### **6.9.2. Вибір раціонального планування робочого місця**

Планування робочого місця - це оснащення засобами і предметами праці, розміщеними в певному порядку.

Велике значення має планування робочих місць, що є елементом планування цеху. Існують наступні види планувань робочих місць :

- загальна - припускає розміщення робочих місць на площі ділянки(цехи);
- внутрішнє - усі елементи трудового процесу розміщуються на площі робочого місця;

Загальне планування робочого місця повинне забезпечувати:

- раціональність використання виробничої площі;
- вільний під'їзд транспорту безпосередньо до робочого місця для доставки заготівель і напівфабрикатів;
- максимальні зручності управління технологічним оснащенням;
- сприятливі умови для прибирання робочого місця;
- можливість одночасного спостереження за усіма приладами і рухливими частинами устаткування з будь-якої точки маршруту;
- вільний доступ до зон, що вимагають профілактичних оглядів, ремонту, технічного обслуговування;

На практиці планування робочих місць проводять базуючись на типові схеми (рис.6.80...6.88.) взаємного розміщення (компановки) устаткування, рекомендовані рядом нормативних документів. У таблицях 6.5...6.12. вказані приблизно норми відстаней в залежності від типу устаткування, що найчастіше зустрічається. Усі відстані вказані від зовнішніх габаритів устаткування, що включають крайні положення частин, що рухаються, оснащення, елементи механізації, живлення і управління, максимальні габарити оброблюваних деталей, зварних вузлів з урахуванням їх установки і зняття.

Норми відстаней враховують можливість монтажу і демонтажу окремих вузлів при ремонті устаткування.

При організації роботизованих технологічних комплексів і ділянок дотримуються вимогами ГОСТ 12.2.072-82.

На рис.6.80...6.87.використані наступні умовні позначення :

А - відстань між фронтом устаткування, його тильною і бічною стороною, підвіскою транспортного конвеєра, місцем складування, проїздом;

Б - ширина зони розміщення одинпостових джерел живлення, силових шаф, шаф управління, слюсарних верстатів, контрольного оснащення, місцевих технологічних вентиляційних установок і вакуумних систем відсмоктування;

У - довжина зони складування, рівна довжині тари, деталі або складальної одиниці;

Г - ширина зони складування, рівна ширині тари, деталі або складальної одиниці;

- Д - розмір стану по поздовжній стороні деталі складальної одиниці;  
 Е - габарит стану по ширині деталі складальної одиниці;  
 Ж - ширина проїзду;  
 І - ширина проходу;  
 Д - відстань від конструкції будівлі до бічної сторони устаткування;  
 Л - відстань від конструкції будівлі до тильної сторони устаткування;  
 М - прохід між устаткуванням і місцем складування;  
 Н - відстань від устаткування до підвіски транспортного конвеєра.

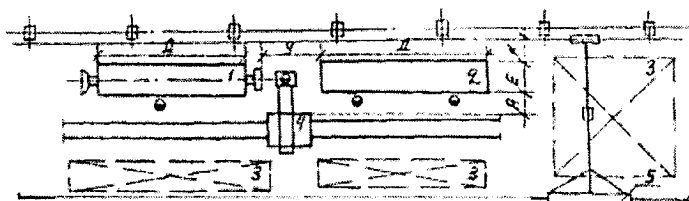


Рис.6.80. Розміщення стелів, кантувачів для зварювання великогабаритних вузлів :

- 1 - двостійковий кантувач; 2 - стелд для складання; 3 - місце складування; 4 - універсальний майданчик для зварювальника з рухливою стрілою; 5 - кран.

Позначення розмірів	А	Д	Е	К	У
Відстань між устаткуванням і елементами будівлі, м	1,5 - 2,0	визначається конструкцією виробу плюс 0,2 - 0,3	0,8 - 1,2	1,5 - 2,0	

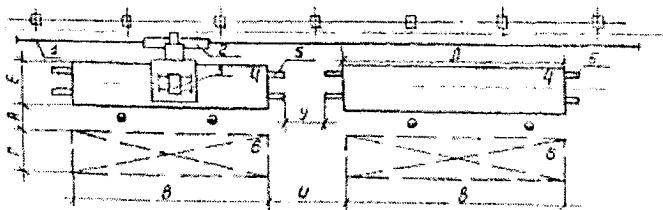


Рис 6.81. Розміщення установки велосипедного візка для автоматичного зварювання подовжніх і кільцевих швів циліндричних виробів :  
 1 - направляюча рейка; 2 - велосипедний візок з балконом; 3 - зварювальний автомат; 4 - зварювальний вузол; 5 - стэнд роликовий механізований; 6 - місце складування.

Позначення розмірів	А	В, Г, Д, Е	И	У
Відстань між устаткуванням і елементами будівлі, м	1,5 - 2,0	визначається конструкцією виробу	2,0	2,0 - 3,0

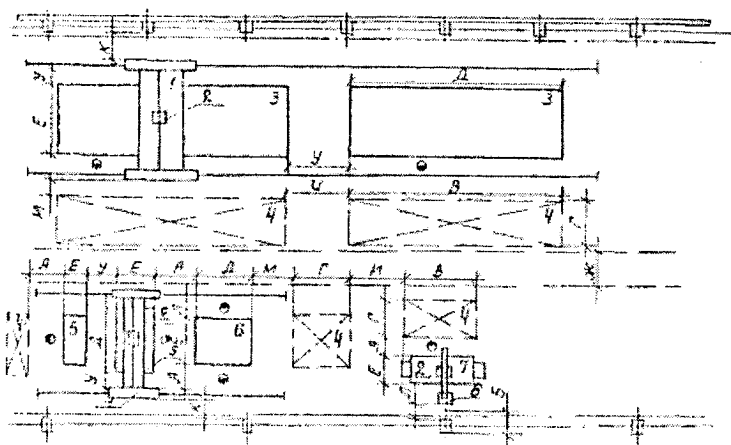


Рис.6.82. Розміщення установок автоматичного зварювання і різання з поворотними колонами і самохідними порталами :

1 - портал самохідний; 2 - автомат зварювальний або різак; 3 - універсальний ланцюговий кантувач або стіл термічного різання; 4 - місце складування; 5 - стелд; 6 - роликівий стелд; 7 - кантувач; 8 - поворотна колона.

Позначення розмірів	А	Б	В, Г, Д, Е	Ж	И	К	Л	М	У
Відстань між устаткування елементами будівлі, м	1,5 - 2,0	1,5	визначається конструкцією виробу	3,0	2,0	1,2	1,2	1,5 - 2,0	0,8 - 1,2

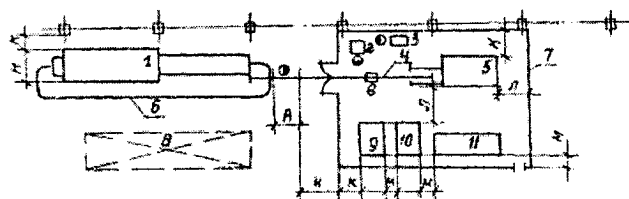


Рис.6.83. Розміщення устаткування для електронно-променевого зварювання:

1 - мийно-сушарний агрегат; 2 - установка для розмагнічування; 3 - прес для запресовки; 4 - монорейка; 5 - установка для електронно-променевого зварювання; 6 - підвісний конвеєр; 7 - приміщення, що захищають елементи, для електронно-променевого зварювання; 8 - місце складування; 9, 10, 11 - шафи управління і джерела живлення..

Позначення розмірів	А	К	Л	М	Н
Відстань між устаткування елементами будівлі, м	1,2 - 1,5	1,2	1,2 - 2,0	0,8	0,3 - 0,5

Примітка. Розміри уточнюються за паспортними даними устаткування.

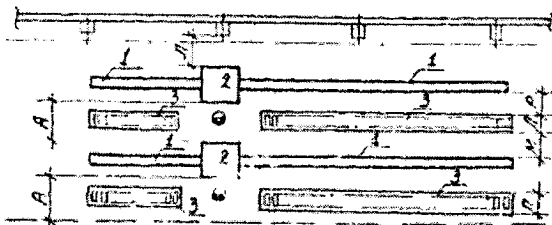


Рис.6.84. Розміщення устаткування для зварювання довгомірних деталей :

1 - рольганг для подання труб; 2 - установка для зварювання труб; 3 - накопичувач.

Позначення розмірів	А	Л	М	П	Р
Відстань між устаткуванням і елементами будівлі, м	1,5 - 2,0	0,8 - 1,2	0,8 - 1,0	Визначається конструктивно	0,1

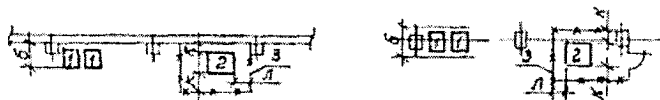


Рис.6.85. Розміщення джерел живлення(рекомендоване) :

1 - однофазове джерело живлення; 2 - багатопоставе джерело живлення; 3 - обгороджування сітчасте.

Примітки: 1. Розміри обгороджування залежать від габаритів джерела живлення та умов їх обслуговування.

2. При недостатній кількості вільної площі між колонами допускається розміщення однофазових джерел на спеціальних балконах. При цьому пускова регулююча апаратура джерел має бути встановлена на робочих місцях.

Позначення розмірів	Б	К	Л
Відстань між устаткуванням і елементами будівлі, м	1,3 - 1,5	0,8	0,8



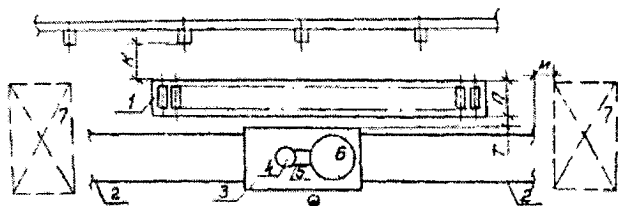


Рис.6.86. Розміщення установки електрошлакового зварювання :

1 - роликівий стенд механізований; 2 - направляючі рейки; 3 - настановний візок; 4 - колона з рейковим пристроєм; 5 - автомат зварювальний; 6 - зварювальний вузол; 7 - місце складування.

Позначення розмірів	К	М	П	Т
Відстань між устаткування і елементами будівлі, м	1,6	0,8	Визначається конструктивно	0,3 - 0,5

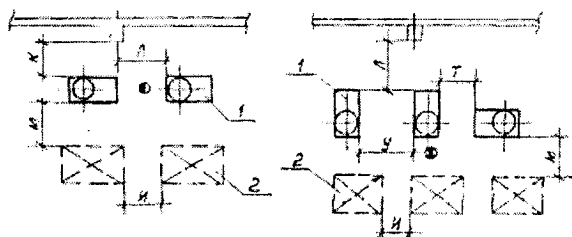


Рис.6.87. Розміщення автоматів для зварювання кільцевих швів :

1 - зварювальний автомат; 2 - місце складування.

Позначення розмірів	А	И	К	Л	М	У	Т
Відстань між устаткування і елементами будівлі, м	1,2	0,8	1,0	0,8	1,0	1,0 - 2,0	0,8 - 1,0

Графічне зображення планування робочого місця (план) виконують з прив'язкою до вже існуючого плану ділянки цеху або цеху.

### 6.9.3. Обслуговування робочого місця

Обслуговування робочого місця - це система заходів, спрямованих на забезпечення роботи усім необхідним для безперебійного ходу виробничого процесу.( регламентацію об'єму, термінів і методів виконання допоміжних робіт по забезпеченню робочих місць усім необхідним. )

Якість обслуговування робочих місць залежить від стану оперативно-виробничого планування і рівня організації допоміжних служб підприємства і цеху.

Обслуговування робочих місць здійснюється в різних формах:

1. По заздалегідь розробленому плану. Ця система рекомендується для виробничого процесу, що встановився, в умовах багатосерійного виробництва.
2. Планово-запобіжне обслуговування відповідно до календарних планів-графіків (застосовується при регулярній повторюваності виробів, що випускаються, впродовж місяця, в основному, в умовах серійного виробництва).
3. Чергове обслуговування по викликах з робочих місць(при малій і нерегулярній повторюваності виробів, що випускаються, в умовах одиничного і дрібносерійного виробництв зі збереженням планово-запобіжного обслуговування).

Обслуговуючі функції можуть виконуватися за різними системами : централізованою, децентралізованою і змішаною. При централізованій системі обслуговування здійснюється на підприємстві єдиними функціональними службами підприємства(виробництва). Децентралізована система передбачає, що функції обслуговування виконуються або виробничими, або обслуговуючими робітниками, що знаходяться в цих підрозділах(цех, ділянка, лінія). При змішаній (комбінованою) системі одні функції обслуговування виконуються централізовано, інші - децентралізовано. На вибір системи обслуговування безпосередній вплив робить велика кількість чинників : тип виробництва, складність продукції, що випускається, вимоги до цієї якості,

виробнича структура підприємства, стан парку устаткування, планування виробничих площ і ін.

Значні організаційні і економічні переваги має централізоване обслуговування. Воно дозволяє раціональніше використати працю працівників служб обслуговування, концентрувати їх зусилля в необхідний період на окремих ділянках обслуговування, механізувати працю і т. д.

Параграф 6.1

1. Який комплекс виробничих підрозділів?
2. Що таке завод і як вони підрозділяються?
3. Що таке виробнича структури підприємства?
4. Які підрозділи основного виробництва?
5. Які підрозділи допоміжного виробництва?
6. Що таке робоче місце?
7. Що таке виробнича дільниця?
8. Що таке цех?
9. Які існують типи виробництва?
10. Що таке одиничне виробництво?
11. Що таке серійне виробництво?
12. Що таке масове виробництво?
13. Які існують види технологічних процесів?
14. Що таке одиничний технологічний процес?
15. Що таке типовий технологічний процес?
16. Що таке груповий технологічний процес?
17. Що таке маршрутний технологічний процес?
18. Що таке операційний технологічний процес?
19. Що таке маршрутно- операційний технологічний процес?
20. Що таке технологічна операція?
21. Які існують технологічні операції?
21. Які структурні складові технологічного процесу?
22. Як класифікуються засіби технологічного спорядження?
23. Що таке технологічне спорядження?
24. Що таке технологічне устаткування?
25. Що таке технологічне оснащення?
26. Що таке виробничий цикл?
27. Які технологічні маршрути існують?

## Параграф 6.2

1. Які операції входять до підготовчих процесів виробництва?
2. Як проводиться правка листового матеріалу?
3. Як проводиться правка сортового матеріалу?
4. Які способи очищення металевих напівфабрикатів?
5. В чому полягає очищення металевих напівфабрикатів травленням?
6. В чому полягає очищення металевих напівфабрикатів термічним способом?
7. В чому полягає очищення металевих напівфабрикатів механічним

## Параграф 6.3

1. Які операції входять до підготовчих процесів отримання заготовок?
2. В чому полягає операція розмічання?
3. В чому полягає операція розкрюювання?
4. Які технологічні операції розділювального різання металу?
5. В чому полягає операція механічного розрізання металу?
6. В чому полягає операція відрізання?
7. В чому полягає операція вирубування, пробивання, проколювання?
8. Які технологічні операції термічного різання металу?
9. Яка сутність кисневого різання?
10. Яка сутність анодно-механічного різання?
11. Яка сутність електроіскрового різання?
12. Яка сутність плазмове різання?
13. Яка сутність лазерного різання?
14. Яка сутність гідроабразивного різання?

## Параграф 6.4

1. Які основні процеси оброблення заготовок і деталей?
2. Які основні операції згинання листового матеріалу?

3. Яка сутність вальцювання?
4. Яка сутність профілювання?
5. Як проводиться згинання сортового матеріалу?
6. Які основні операції штампування?
7. Яка сутність листового штампування?
8. Яка сутність об'ємного штампування?
9. Які основні операції кування?
10. Яка сутність операції рубання?
11. Яка сутність операції осаджування?
12. Яка сутність операції висаджування?
13. Яка сутність операції протягування?
14. Яка сутність операції розкочування?
15. Яка сутність операції прошивки?
16. Які основні операції механічного оброблення?
17. Яка сутність точіння?
18. Яка сутність фрезерування?
19. Яка сутність свердління?
20. Яка сутність стругання?
21. Яка сутність долблення?
22. Яка сутність шліфування?
23. Яка сутність протягування?
24. Яка сутність нарізування різьб?
25. Які основні операції електрофізичних і електрохімічних методів обробки?
26. Яка сутність електроерозійної (електроіскрової) обробки?
27. Яка сутність електроімпульсої обробки?
28. Яка сутність електрохімічної обробки?
29. Яка сутність анодно-механічної обробки?
30. Які основні методи променевої обробки?
31. Яка сутність електронно-променевої обробки?
32. Яка сутність світлолучевої (лазерної) обробки?

33. Яка сутність хімічного фрезерування?

34.

#### Параграф 6.5

1. Які основні організаційні форми технологічних процесів складання?
2. В чому полягає послідовність складання?
3. Які транспортні засоби використовують для міжопераційного переміщення деталей і зварних вузлів?
4. Які види кранів існують для внутрішньоцехового переміщення деталей?
5. Які види конвеєрів існують для внутрішньоцехового переміщення деталей?
6. Що таке засоби технологічного спорядження для складання?
7. Які види пристосувань використовують для складання?

#### Параграф 6.6

1. Як класифікуються основні процеси зварювання?
2. Яка сутність ручного дугового зварювання (ММА)?
3. Яка сутність дугового зварювання в захисних газах (TIG, MAG)?
4. Яка сутність автоматичного дугового зварювання під флюсом (SAW)?
5. Яка сутність електронно-променевого зварювання (EBW)?
6. Яка сутність плазмового зварювання (PAW)?
7. Яка сутність лазерного зварювання (LBW)?
8. Що таке механічне устаткування для зварювання?
9. Що таке механічне устаткування для установаження і переміщення зварювальних апаратів (головок)?
10. Що таке кантувач?
11. Що таке позиціонер?
12. Що таке маніпулятор?
13. Що таке обертач?
14. Для чого застосовують роликові стенди?
15. Які основні фактори впливають на призначення способу зварювання?

## Параграф 6.7

1. В чому полягає вхідний контроль?
2. В чому полягає операційний контроль?
3. В чому полягає приймальний контроль?
4. В чому полягає контроль основних матеріалів?
5. В чому полягає контроль зварювальних матеріалів?
6. В чому полягає контроль кваліфікації зварювальників?.
7. В чому полягає контроль зварювального устаткування?.
8. В чому полягає контроль механічного устаткування?.
9. Що таке операційний контроль технологічного процесу виготовлення зварних конструкцій?
10. В чому полягає приймальний контроль зварних конструкцій?
11. Які неруйнівні методи контролю?
12. . В чому полягає магнітний метод контролю?
13. . В чому полягає радіографічні методи контролю?
14. . В чому полягає Ультразвуковий метод контролю?
15. Які руйнівні методи контролю?.
16. . В чому полягає гідравлічне випробування?.
17. . В чому полягає пневматичне випробування?.
18. . В чому полягає вакуум-випробування?
19. . В чому полягає випробування гасом?
21. . В чому полягає випробування за допомогою течношукачів?.
22. Які правила виправлення дефектів в зварних з'єднаннях?

## Параграф 6.8

1. Як класифікуються нормативно-технологічна документація на технологічні процеси?
2. Що таке документи загального призначення на технологічні процеси?
3. Які документи спеціального призначення на технологічні процеси?
4. З чого складається комплект документів технологічного процесу?
5. Які вимоги до оформлення технологічної документації?



## 7. Технологічні процеси виготовлення типових зварних конструкцій

Зварні конструкції класифікують за технологічними і конструктивними ознаками в типові групи, однакові за своїми технологічними маршрутами. Основними параметрами, об'єднуючими зварні конструкції, є: конфігурація швів, конструктивна форма виробу, тип заготовок, товщина зварюваного металу, тип зварного з'єднання, профіль перерізу, габаритні розміри, маса і марка металу.

За технологічними ознаками вид зварної конструкції об'єднується спільністю сполучень зварюваних деталей і конфігурацій швів (прямолінійні, кільцеві, криволінійні та змішані). Залежно від цих ознак встановлено три види зварних конструкцій: лінійні, радіальні і радіально - лінійні.

До лінійних конструкцій відносяться зварні вузли, що збираються з прямолінійних деталей і з'єднуються за допомогою прямолінійних швів. Лінійні конструкції діляться на площинні, балочні, рамні, ґратчасті і корпусні.

Радіальні конструкції, до яких відносяться зварні вузли, що збираються з деталей, які представляють собою тіла обертання і з'єднуються за допомогою кільцевих, спеціальних і криволінійних швів. Радіальні конструкції діляться на три типи: циліндричні (обичайки, труби та ін), криволінійні ( труби зі спіральним швом та ін) і сферичні (кульові резервуари, пелюсткові днища та ін.)

Радіально - лінійні конструкції, до яких відносяться зварні вузли, що збираються з деталей, які з'єднуються за допомогою прямолінійних, кільцевих, спіральних і криволінійних швів, підрозділяються також на три типи: балкові, корпусні і рамні.

В залежності від типу заготовок (листові, з фасонного прокату, комбіновані та ін), товщини зварюваних елементів і профілю фасонного прокату в межах типу зварні конструкції діляться на класи. Класи залежно від типу зварного з'єднання (стикові, напусткові, таврові) поділяються на підкласи. Підкласи на групи, які, у свою чергу, діляться на підгрупи і т. д. Ступінь

деталізації по даній класифікації залежить від складності конструкції, вихідних заготовок, типів зварних з'єднань та інших факторів.

### 7.1. Виготовлення зварних полотнищ

Значний обсяг робіт при зварюванні падає на виготовлення полотнищ з листів. Зварні полотнища різноманітні за своїми товщинами, габаритами і конфігурації. Полотнища, як правило, виготовляють на комплексно-механізованих потокових лініях. Робота на окремих позиціях лінії характеризується наступними операціями.

**Складання.** За допомогою спеціального листоукладача з вакуумними присосами комплектують і розкладають листи на плиті по упорах. Прижимають крайки за допомогою катучих балок з пневмопритиском до флюсової подушки (формуючої мідної підкладки), або електромагнітного стенду і прихоплюють.

Електромагнітний стенд є складально-зварювальним пристосуванням, сприяючим прискоренню складально-зварювальних робіт. Електромагнітний стенд є металевим стележем зі вбудованими електромагнітами. Магніти розташовані у вигляді двох паралельних рядів, відстань між якими не перевищує 80 мм. У проміжку між рядами електромагнітів знаходиться подушка флюсу або мідна підкладка. Більше поширення отримали електромагнітні стенди з подушками флюсів. Поперечний розріз електромагнітного стенду з подушкою флюсу зображений на рис.7.1.

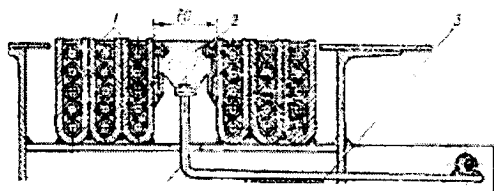


Рис. 7.1. Електромагнітний стенд.  
1 – електромагніти; 2 – флюсова подушка; 3 – шланг; 4 – важільна система.

Зварювані листи укладаються на стенд так, щоб стик між ними був розташований посередині між рядами електромагнітів. Після включення електромагнітів листи надійно притискаються до них. Подання стислого повітря в шланг приводить в рух важільну систему, що притискує подушку флюсу до зварюваному стику. Притягнення крайок листів усуває їх прогин і досягається поєднання стикуємих крайок при мінімальній витраті праці складальника. Сила магнітного притиску може бути доведена до декількох тонн на погонний метр стику, що дає можливість певною мірою запобігати «хвилястості» полотнищ під час зварювання і після неї.

Застосування магнітних стендів дозволяє обходитися значно меншим числом складальних прихваток, що скорочує трудомісткість зборки. Електромагнітні пристрої стенду і його флюсові подушки зазвичай розташовуються під полотнищем. Завдяки цьому вони не заважають складанню і зварюванню полотнищ і не утрудняють зняття зварених секцій зі стенду.

Для попередження дефектів швів на кінцях з'єднань устанавлюють вихідні планки. Зварювання полотнищ супроводжується утворенням деформацій у вигляді бухтіноватості, хвилястості і «будиночків» (кутові деформації по кінцях зварних з'єднань). Для зменшення цих деформацій рекомендується установка уздовж з'єднання технологічних вантажів, закріплення кінців зварних з'єднань до складальної плити (коротишами, клинами або струбцинами), призначення раціональної послідовності зварювання та ін.

**Зварювання.** Застосовують два варіанти автоматичного зварювання стикових з'єднань звичайними тракторами (наприклад ТС-17-М). Перший – зварювання « на весу» з наступним кантуванням і підваркою зворотної сторони стикового шва. Другий – зварювання з використанням пристроїв для формування зворотної сторони шва( наприклад, формуючої мідної підкладки) без кантування.

Останнім часом широко використовують зварювання полотниць трактором ТС-32. Зварювальний трактор призначений для одностороннього автоматичного зварювання стикових швів на рухомій мідній підкладці. Складання стиків для зварювання трактором ТС-32 здійснюється з обов'язковим зазором в 2-3 мм. Замість складальних прихваток встановлюються складальні гребінки на відстані 1,2-1,5 м один від одного по довжині стику. За допомогою цих гребінок фіксується заданий обов'язковий зазор.

Зварювальний трактор (рис.7.2.) має тонку сталеву тягу, яка, проходячи через зазор, підтискає з нижньої сторони стику формуючу підкладку. Мідна формуюча підкладка має водяне охолодження..

Для виконання зварювання автомат встановлюється на з'єднання так, щоб реборди його бігунків зійшли в зазор. З нижньої сторони стику встановлюється підвіска і регулюється таким чином, щоб при повороті ексцентрика притиску було забезпечено притискання бігунків підвіски до нижньої поверхні крайок. На кронштейн підвіски встановлюється формуюча мідна підкладка з канавкою. Після повороту ексцентрика підвіска з мідною підкладкою притискається до стику, усуваючи при цьому неспівпадання крайок.

При зварюванні у міру переміщення автомата складальні гребінки збиваються і автомат продовжує зварювання.

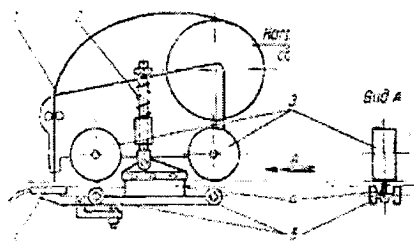


Рис. 7.2. Схема трактора ТС-32:

1 — електрод; 2 — пружина; 3 — бегунки; 4 — тяга; 5 — ролики; 6 — формирующая прокладка.

Трактор ТС-32 знайшов застосування при зварюванні великих полотниць на стелажах. Цей стелаж за конструкцією набагато простіше магнітного стенду.

## 7.2. Виготовлення зварних конструкцій балкового типу

До зварних конструкцій балкового (лінійного) типу в основному відносяться зварні балки і зварні стояки колон суцільного перерізу, які конструктивно мають майже однакові типи перерізу. Принципово вони відрізняються схемою навантаження. Балки працюють на поперечний вигін, а колони на поздовжній. (рис.7.3.)

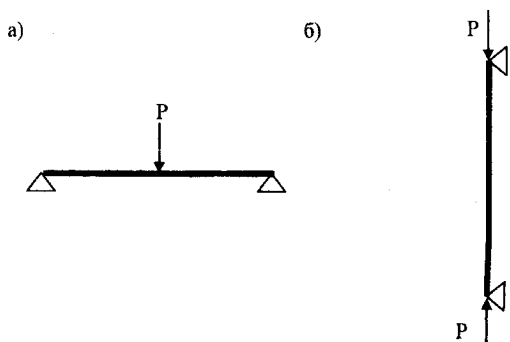


Рис.7.3.Схеми навантаження балок (а) і колон (б).

Найбільш широке застосування мають двотаврові балки і балки коробчастого перетину. Конструктивно двотаврові балки (рис.7.3). мають перетин, який складається з трьох листових елементів (деталей)-стінки і двох полиць, з'єднаних чотирма кутковими швами, які називаються поясними. Балки можуть мати зовнішні ребра жорсткості.

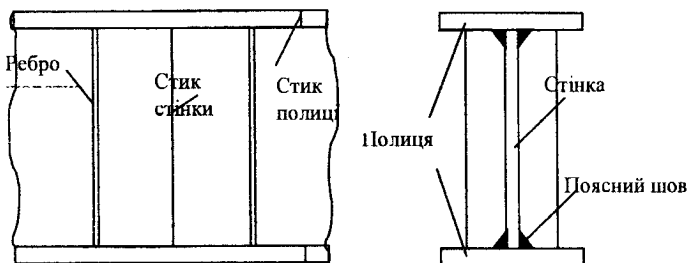


Рис.7.3 Зварна двотаврова балка

Балки коробчастого перерізу (рис.7.4.) складаються, як правило, з п'яти деталей: двох стінок, двох полиць, зварених між собою кутовими поясними швами, і внутрішніх ребер жорсткості (діафрагм).



Рис.7.4. Зварна балка коробчастого перетину

Кожна колона складається з трьох основних частин:

- 1) стояка, що з'єднує оголовок з базою;
- 2) оголовка, що служить місцем для прикладення навантаження;
- 3) бази, що розподіляє зосереджене навантаження на фундамент.

Основною складовою є стояк. Стояк колони суцільного перерізу компонується з одного або декількох прокатних профілів або листів, що з'єднуються за допомогою зварювання. Типи перерізів суцільних стояків показані на рис.7.5.

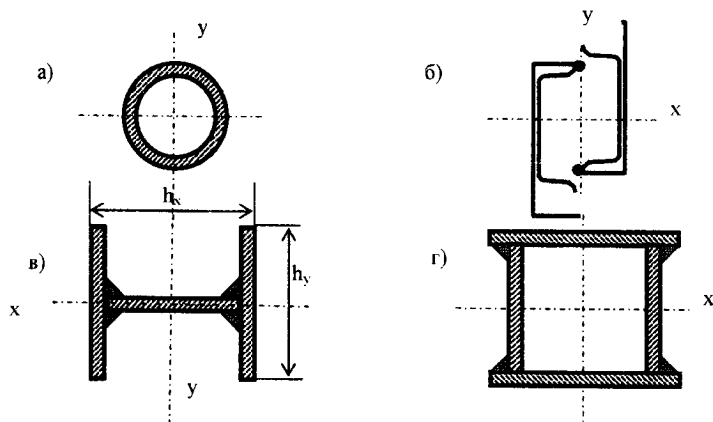


Рис.7.5. Приклади суцільних перерізів колон

Основними типовими перерізом суцільних стояків є зварний двотавровий переріз (рис.7.5,в) та перерізи коробчастого типу( рис.7.5,б.г.).

### 7.2.1. Виготовлення конструкцій двотаврового перерізу

Виготовлення двотаврового перерізу складається з наступних етапів: виготовлення деталей (стінки, полиць, ребер жорсткості), складання елементів перерізу, зварювання поясних швів та приварювання ребер жорсткості (за конструктивною необхідністю)

*Виготовлення деталей* проводиться за стандартними технологічними процесами підготовки металевого листового матеріалу (очищення, правка), отримання заготовок (різка) і деталей (підготовка кромки під зварювання). Якщо довжина деталі перевищує довжину стандартного листа, то стінка і полки виготовляються з відповідної кількості заготовок, зварених встик. Зібраний стик зварюється вручну високоякісними електродами, напівавтоматом або автоматом під флюсом. При зварюванні під флюсом необхідно приставити вхідні і вихідні планки і вжити заходів проти протікання розплавленого металу і шлаку. Після зварювання перевіряють якість шва і зачищають торці шва і посилення.

На рис.7.6. представлена схема робочого місця для автоматичного зварювання стиків стінок і полок. 3

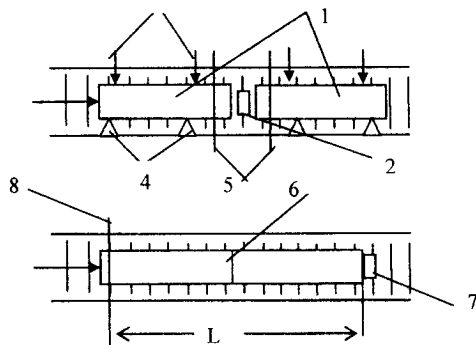


Рис.7.6. Схема станда для укрупнення стінок і полок.

На рольганг листи подають мостовим краном. Спочатку кромки заготовок проходять обрізку. Для цього оператор, управляючи приводом рольганга, знизу

пневно-циліндром (рис. 7.6,а.) розташовує листи 1 по обидві сторони від упору 2, висунутого над поверхнією.

Потім пристрій 3 зрушує обидва листи до упорів 4; упор 2 забирається нижче поверхні рольганга і самохідний візок з двома різакми, переміщаючись по напрямних 5, одночасно обрізає кромки листів 1. Потім листи встановлюють стиковими кромками по осі флюсової подушки 6, притискають і зварюють автоматом під флюсом. Після кантування з поворотом на 180 °, укладають стиковий шов з іншого боку. Зварену заготовку 1 подають рольгангом до упору 7 (рис. 7.6, б) і різаком по направляючої 8 обрізають на необхідну розмір L.

*Складання елементів перерізу.* Залежних від типу виробництва застосовують три основні варіанти складання елементів перерізу:

Варіант I. Вільне складання на плиті за допомогою струбцин або стяжних пристроїв;

Варіант II Складання в кондукторі з фіксаторами і притискними пристоями ;

Варіант III Складання і зварювання в спеціальному устаткуванні.

*Вільна збірка на плиті.* Зварені пояса і стінка надходять на складання елементів перерізу. При складанні за допомогою хомутів на стелажі або горизонтальній плиті укладають нижній пояс. На середині пояса паралельно його осі наносять дві різки, відстань між якими дорівнює товщині вертикальної стінки. По різках на відстані 1-1.5 м один від одного встановлюють і прикріплюють струбцинами або прихватками направляючі кутики, між якими встановлюється вертикальна стінка. У місцях, де вертикальна стінка значно викривлена, для поєднання її з різками на поясі можна користуватися скобою і клинами. Для усунення зазору між вертикальною стінкою і поясом користуються хомутом. Потім накладають верхній пояс, перевіряють правильність положення стінки і верхнього пояса, затискають складену балку хомутами і ставлять прихватки. Потім звільняють від хомутів і подають на зварювання поясних швів.

*Складання в кондукторі.* При складанні потрібно забезпечити симетрію і взаємну перпендикулярність полиць і стінки, притиснення їх один до одного і наступне закріплення прихватками. Для цієї мети використовують складальні



кондуктори (рис. 7.7.) з відповідним розташуванням баз і притисків по всій довжині конструкції.

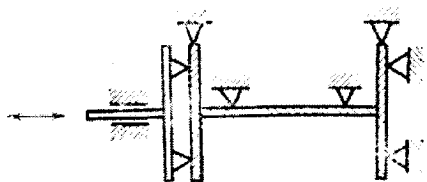


Рис. 7.7. Схема кондуктора для складання двотаврової балки.

На установках з самохідним порталом (рис. 7.8.) затискання та прихватку здійснюють послідовно від перетину до перетину. Для цього портал 1 підводять до місця початку складання (зазвичай це середина балки) і включають вертикальні 2 і горизонтальні 3 пневмопритискачі.

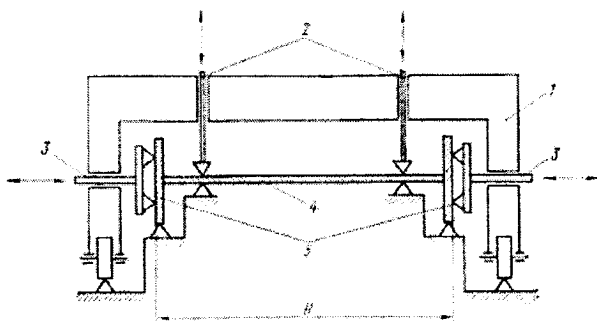


Рис. 7.8. Схема самохідного порталу для складання двотаврової балки

Вони притискають стінку балки 4 до стелажу, а пояса 5 - до стінки. У зібраному перетині ставлять прихватки. Потім притискачі вимикають, портал переміщують уздовж балки на крок прихватки і операція повторюється. Вертикальні притискачі 2 дозволяють складати балки значної висоти, не побоюючись втрати стійкості стінки від зусиль від горизонтальних притискачів.

Складання і зварювання в спеціальному устаткуванні. При роздільному складанні і зварюванні двотавра в універсальних пристроях частка ручної праці на допоміжних і транспортних операціях (установка елементів, їх закріплення, прихватка, звільнення від закріплення, вилучення з складального пристосування, перенесення в зварювальне пристосування, закріплення і поворот у зручне для зварювання положення, зняття готового виробу) виявляється значною. Використання поточкових ліній, оснащених спеціалізованим устаткуванням і транспортуючими пристроями, істотно скорочує ці втрати. Поточкові лінії зварювання можуть оснащуватися або спеціалізованими пристосуваннями і установками, які послідовно виконують окремі операції за умови комплексної механізації всього технологічного процесу, або автоматизованим устаткуванням безперервного дії, в яких складання проводиться без прихваток з фіксацією елементів затискними пристроями та виконанням зварних швів. Прикладом устаткування, де здійснюється безперервно і поєднується в часі з виконанням складально-зварювальної операції, може служити верстат СТС-138 для складання і зварювання таврових балок (рис. 7.9).

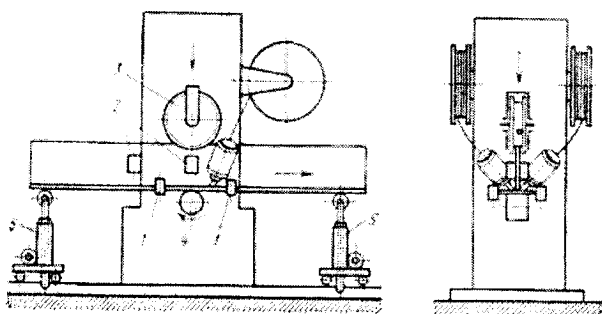


Рис. 7.9. Схема станка СТС для складання і зварювання балок

Взаємне центрування заготовок, їх переміщення і автоматичне зварювання під флюсом обох швів здійснюються одночасно. Пристрій для притиснення стінки тавра до поясу складається з пневматичного циліндра і натискного ролика 3. Центрування елементів тавра проводиться чотирма парами роликів, з них дві пари 1 спрямовують пояс уздовж осі станини, а дві

інші пари 2 утримують стінку вертикально і забезпечують її установку на середину пояса. Рух зварюваного елемента здійснюється приводним опорним роликом 4. Для плавної зміни швидкості застосований варіатор. Кінці балки підтримуються роликами опорних візків 5.

**Зварювання поясних швів та приварювання ребер жорсткості.** При виготовленні двотаврових перерізів поясні шви зазвичай зварюють автоматами під шаром флюсу. Прийоми і послідовність накладання швів можуть бути різними. (Рис. 7.10.)

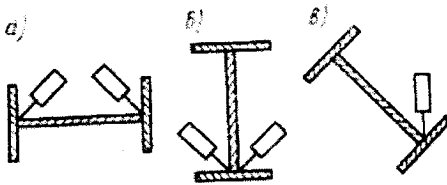


Рис. 7.10. Способи виконання поясних швів

Нахиленим електродом (рис. 7.10, а, б) одночасно зварюють два шви, однак може виникнути підріз стінки або полиці. Виконання швів «у човник» (рис. 7.10, в) забезпечує більш сприятливі умови їх формування і проплавлення, зате доводиться повертати виріб після зварювання кожного шва. Для повороту використовують позиціонери-кантавачі (рис. 7.11.).

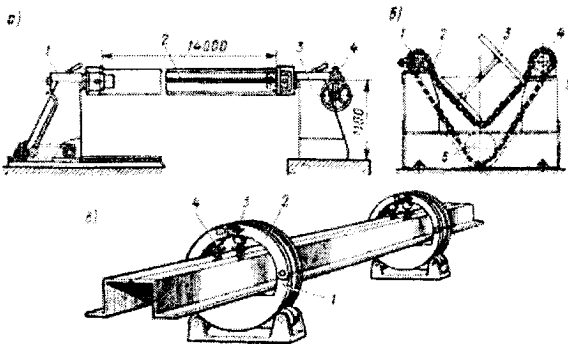


Рис. 7.11. Схеми позиціонерів – кантавачів для зварювання балок

У центровому кантувачі (рис. 7.11, а) попередньо складена на прихватках конструкція 2 закріплюється затискачами в задній 1 і передньої 3 бабках і за допомогою черв'ячної передачі 4 встановлюється в необхідне положення. Рухомою задня опора дозволяє зварювати в такому кантувачі балки різної довжини. Ланцюговий кантувач (рис. 7.11, б) складається з декількох фасонних рам 5, на яких змонтовано по дві зірочки (неведуча 1 і ведуча 4) і блоку 6. Виріб 3 кладуть на ланцюг 2. Обертанням зірочок конструкція повертається в потрібне положення. Слід мати на увазі, що такий кантувач не забезпечує жорсткого положення зварюваної конструкції, тому зварювання доцільно виконувати зварювальною головкою, що переміщується безпосередньо по конструкції. У деяких випадках застосовують кантувачі на кільцях (рис. 7.11, в). Складена конструкція укладається на нижню частину кільця 1, відкидна частина 2 замикається за допомогою болтів 3, і конструкція закріплюється системою затискачів 4. Найкращий провар поясних швів виходить при автоматичному зварюванні «у човник».

При зварюванні поясних швів двома автоматами «в кут» при горизонтальному положенні вертикальної стінки (рис. 7.10, а), продуктивність зварювальних робіт зростає, причому викривлення поздовжньої осі балки буде невелике, так як горизонтальний прогин, викликаний накладенням першої пари швів, буде майже компенсовано зворотним прогином від зварювання другої пари. При зварюванні двома автоматами в кут при вертикальному положенні стінки (рис. 7.10, б) залишковий прогин буде помітний у бік пояса, на якому виконувалася перша пара швів.

Після зварювання поясних швів розмічають і виставляють поперечні ребра жорсткості і приварюють їх вручну або напівавтоматами. Приварку ребер слід вести від середини конструкції до її кінців, поперемінно з обох сторін. Монтажні стики (якщо вони конструктивно передбачені) виконують в такій послідовності.

Поясні шви залишають незаварені на довжині  $1,5 a$  в кожную сторону від стику, де  $a$  - ширина поясу. Спочатку зварюють стик вертикальної стінки, потім

зварюють стики поясів. Після зварювання стиків доварюють поясні шви на незаварених ділянках. Зварювання монтажних стиків слід виконувати електродами найвищої якості.

Після зварювання конструкція потрапляє на робоче місце для правки грибоподібності полиць (рис. 7.12.)

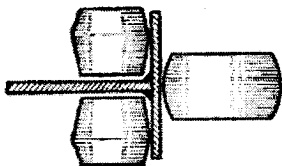


Рис.7.12. Схема правки грибоподібності полиць

### 7.2.2. Особливості складання та зварювання перерізу коробчастого типу

Конструктивно зварні балки коробчастого перерізу відрізняються від перерізу стояків колон наявністю внутрішніх ребер жорсткості - діафрагм. Балки коробчастого перетину складніше у виготовленні, ніж двотаврові. Спочатку на стелаж укладають верхню полицю, розставляють і приварюють до нього діафрагми.(рис.7.13.)

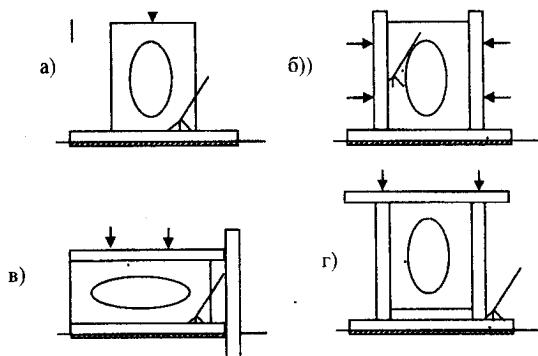


Рис. 7.13. Послідовність складання балки коробчастого перерізу. а) - приварювання діафрагм до верхньої полиці; б) - пріхватування діафрагм до стінок; в)-приварювання діафрагм; г) пріхватування стінок до нижньої полиці

Така послідовність визначається необхідністю створення жорсткої основи для подальшої установки і забезпечення прямолінійності стінок, а також їх симетрії відносно верхнього поясу. Після приварювання діафрагм встановлюють, притискають (рис. 7.13,а) і прихоплюють стінки. Потім зібраний П-подібний профіль кантується і внутрішніми кутковими швами приварюють стінки до діафрагм (рис. 7.13,б). Складання закінчують установкою і прихваткою нижнього поясу. Зварювання поясних швів здійснюють після завершення складання і ведуть нахиленим електродом без повороту в положення «у човник». Це пояснюється тим, що для балки коробчатого перетину підріз у поясного шва менш небезпечний, ніж для двотавра, оскільки в балках коробчатого перетину зосереджені сили передаються з пояса на стінку не безпосередньо, а головним чином через поперечні діафрагми.

### **7.2.3. Розрахунковий контроль опору зварних з'єднань конструкцій балкового типу експлуатаційному навантаженню**

Контроль якості проводять двома шляхами: інструментальними методами і розрахунком опору зварних з'єднань навантаженню.

Інструментальними методами контролюють відхилення форми і лінійних розмірів перетину та наявність (відсутність) зовнішніх і внутрішніх дефектів зварних швів. В цьому сенсі конструкції повинні відповідати вимогам стандартів ДСТУ БВ2.6-75:2008 та ГОСТ 23118.

Крім того, конструкція повинна відповідати також і експлуатаційним вимогам ( в першу чергу міцності), тобто чинити опір зовнішньому навантаженню. Міцність конструкції забезпечується як розмірами перетину , так і міцністю зварних з'єднань. Розрахункова оцінка міцності зварних з'єднань полягає у складанні відповідних умов міцності. Розглянемо зварні з'єднання балок і стояків колон.

Як відомо, балка працює на поперечний вигин, при якому в перетину виникають внутрішні зусилля: поперечні сили  $Q$  і згинаючі моменти  $M$  та відповідні напруження : від дії сили  $Q$  дотичні напруження  $\tau$  і нормальні

напруження  $\sigma$  від моменту  $M$ . В залежності від схеми навантаження можливі три варіанти напруженого стану в перерізі балки.

Перший— у небезпечному перерізі діє тільки момент. Внаслідок цієї дії у перерізі виникнуть тільки нормальні напруження ( рис.7.14.).

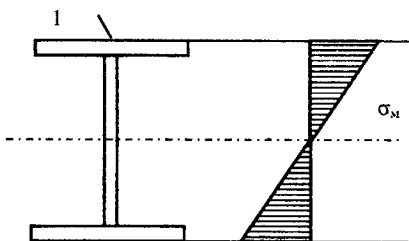


Рис.7.14. Епюра нормальних напружень.

Другий--у небезпечному перерізі діє тільки поперечна сила (рис.7.15. ), яка призведе до появи дотичних напружень.

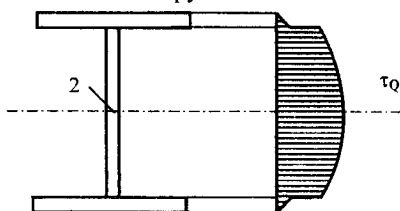


Рис.7.15. Епюра дотичних напружень.

Третій – у перерізі одночасно діють момент та поперечна сила. В цьому випадку у перерізі утворюються нормальні і дотичні напруження. (рис.7.16. ).

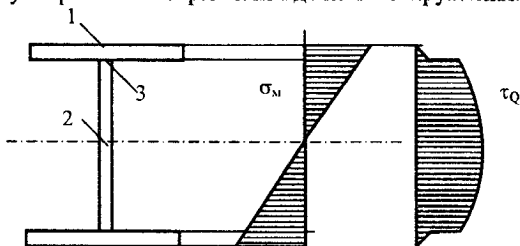


Рис.7.16.

Основні зварні з'єднання балки, які треба перевірити на опір навантаженню є стики (технологічні або монтажні) та з'єднання стінки з полицями (поясні шви).

*Перевірка міцності стиків. Умови міцності мають наступний вигляд:*

- в перерізі стика діють тільки нормальні напруження. Умову міцності складаємо за максимальними напруженнями для точки 1 (рис.7.14.)

$$\sigma_v = \frac{M}{I_\phi} \cdot \frac{h_\phi}{2} \leq [\sigma]$$

де -  $I_\phi$  – фактичний момент інерції перерізу балки

$h_\phi$  – висота балки.

- в перерізі стика діють тільки дотичні напруження. Умову міцності складаємо за максимальними напруженнями для точки 2(рис.7.15)

$$\tau_Q^{\max} = \frac{QS_{\text{ст}}}{I_\phi \delta_{\text{ст}}} \leq [\tau]$$

де  $S_{\text{ст}}$  – статичний момент половини перерізу відносно нейтральної осі.

$\delta_{\text{ст}}$  – товщина стінки

- в перерізі стика діють одночасно дотичні і нормальні напруження.

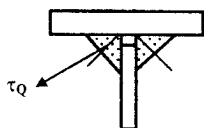
Умову міцності складаємо за еквівалентними напруженнями для точки 3(рис.7.16) тому, що в цій точці діють майже максимальні нормальні і дотичні напруження ( в точці 1  $\tau_Q=0$ , а в точці 2  $\sigma_M=0$ ).

$$\sigma_{\text{ек}} = \sqrt{\sigma_M^2 + 3\tau_Q^2} \leq [\sigma]^{36}$$

де  $\sigma_M = \frac{M}{I} \cdot \frac{h_{\text{ст}}}{2}$ ;  $\tau_Q = \frac{QS_n}{I\delta_{\text{ст}}}$ ;  $S_n$  – статичний момент полки.

*З'єднання стінки з полками – поясні шви.* Поясні шви – це двосторонні таврові з'єднання зі суцільними кутовими швами катетом  $K$  без або з розкриттям кромки. Катет  $K$ , як правило, призначається згідно стандарту і підлягає перевірці на міцність. Можливі декілька варіантів:

1. Шви без розкриття кромки, зосереджена сила відсутня (рис.7.17.). В цьому випадку в шві будуть діяти тільки дотичні напруження  $\tau_Q$  від поперечної сили  $Q$ . Тоді умова міцності



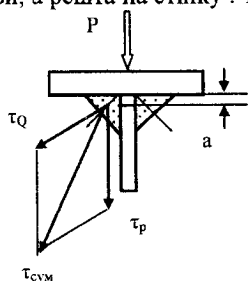
$$\tau_Q = \frac{QS_n}{2\beta KI} \leq [\tau]^{38}$$

Рис.7.17.



2. Шви без розкриття кромки, зосереджена сила присутня (рис.7.18.). В цьому випадку у шві будуть діяти дотичні напруження  $\tau_Q$  від поперечної сили  $Q$  і дотичні напруження  $\tau_p$  від зосередженої сили  $P$ .

Внаслідок наявності зазору  $a$  між стінкою і полкою через неможливість забезпечення контакту стінки з полкою по всій довжині, прийнято, що  $0,4P$  діє на шви, а решта на стінку. Тоді умова міцності



$$\tau_{\text{сум}} = \sqrt{\tau_Q^2 + \tau_p^2} \leq [\tau]^{\text{н}}$$

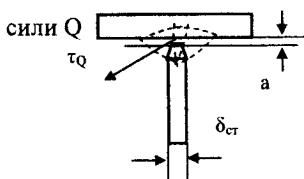
$$\tau_Q = \frac{QS_{\text{ш}}}{2\beta K l};$$

$$\tau_p = \frac{0,4P}{2\beta K z}.$$

Рис. 7.18.

де  $z$ —умовна довжина впливу зосередженої сили на стінку;  $z = 3,25\sqrt{I_{\text{ш}}/\delta_{\text{ст}}}$ ;

3. Шви з розкриттям кромки, зосереджена сила відсутня (рис.7.19.). В цьому випадку в шві будуть діяти тільки дотичні напруження  $\tau_Q$  від поперечної сили  $Q$



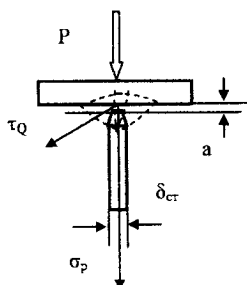
Умова міцності має вид

$$\tau_Q = \frac{QS_{\text{ш}}}{l\delta_{\text{ст}}} \leq [\tau]^{\text{н}}$$

Рис. 7.19.

4. Шви з розкриттям кромки, зосереджена сила присутня (рис.2.19.). В цьому випадку в шві будуть діяти дотичні напруження  $\tau_Q$  від поперечної сили  $Q$  і нормальні напруження  $\sigma_p$

Умова міцності за еквівалентними напруженнями має вид



$$\sigma_{\text{ек}} = \sqrt{\sigma_p^2 + 3\tau_Q^2} \leq [\sigma]^{\text{н}},$$

$$\text{де } \tau_Q = \frac{QS_{\text{ш}}}{l\delta_{\text{ст}}}, \quad \sigma_p = 0,4P/z\delta_{\text{ст}}.$$

Рис. 7.20.

Стояк колони суцільного перерізу в загальному випадку працює на стиск і вигін, тобто в перерізі виникають три внутрішні сили: поздовжня сила  $N$ , поперена сила  $Q$  і згинаючий момент  $M$  та відповідні напруження: від сили  $N$  - нормальні  $\sigma_N$ , від сили  $Q$  - дотичні  $\tau_Q$  і від моменту  $M$  - нормальні  $\sigma_M$ .



Рис.7.21. Напруження у перерізі стика стояка колони.

Стояк колони має два види зварних з'єднань: поясні кутові шви та стики.

Поясні шви підлягають перевірці на міцність від дії дотичних напружень  $\tau_Q$ , а стики на дію сумарних нормальних напружень  $\sigma_{\Sigma} = +\sigma_M - \sigma_N$  і дотичних напружень  $\tau_Q$  як у випадку зварної балки.

### 7.3. Виготовлення зварних решітчастих конструкцій.

До типових представників конструкцій решітчастого типу відносяться плоскі ферми і просторові стояки колон наскрізного перерізу

**Загальна характеристика ферм.** Фермою називають ґратчасту геометрично незмінну конструкцію, призначену, так само як і балка, для роботи переважно на згин. На відміну від балки ферма утворюється з окремих прямолінійних стержнів, зв'язаних між собою у вузлах (теоретично шарнірно) у геометрично незмінну систему, до якої навантаження, як правило, прикладається тільки у вузлах. Для геометрично незмінної статично визначеної ферми необхідно щоб виконувалось наступне співвідношення між кількістю стержнів і вузлів:

$$C = 2n - 3,$$

де  $C$  - кількість стержнів,  $n$  - кількість вузлів.

Завдяки вузловій передачі навантаження стержні ферми піддаються тільки осьовому впливу сил, що розтягують або стискають. Ферми особливо вигідні в таких конструкціях, де за умовами жорсткості потрібна велика висота. При великих навантаженнях і незначних прольотах конструкції ферм стають громіздкими і трудомісткими, поступаючись в цьому відношенні балкам. Вигідність переходу від балок до ґратчастих ферм росте зі збільшенням прольоту конструкції і зменшенням навантаження на неї.

Область застосування ферм досить різноманітна. Ферми можна класифікувати за декількома ознаками:

а) за призначенням – ферми мостів, стропільні ферми, ферми піднімальних кранів, опори ліній електропередачі і т.д.;

б) за обрисом поясів – з паралельними поясами (рис.7.22,а), трапецеїдальні односхилі (рис.7.22,б) або двосхилі (рис.7.22,в), і трикутного обрису (рис. 7.22,г). Вибір обрису поясів залежить від призначення ферм, структури навантаження, а також і від економічних розумінь.

в) за типом ґратки – розкосна, якщо вона утворена безперервним зигзагом розкосів та стояків, причому всі розкоси однієї половини ферми спрямовані в один бік (рис. 7.22,б), трикутна, якщо зигзаг утворений одними розкосами, спрямованими поперемінно в різні сторони. Найчастіше використовують трикутну ґратку з додатковими стояками (рис. 7.22,а і в), оскільки загальна довжина її зигзага і число вузлів менше, ніж у розкосної ґратки, а додаткові стояки зменшують панель верхнього пояса ферми. У цій системі стояки не потрібні для створення незмінюваності ферми.

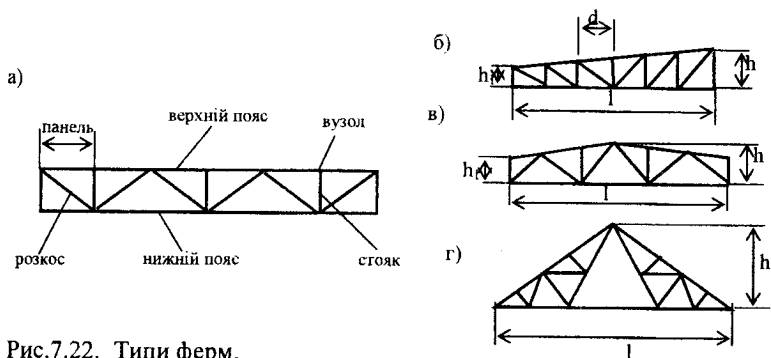


Рис.7.22. Типи ферм.

Найвигідніший кут нахилу розкосів до нижнього пояса складає: у трикутних гратках  $45\text{--}50^\circ$ , у розкосної гратки  $35\text{--}45^\circ$ . Напрямок першого опорного розкосу, що визначає всю систему гратки, може бути висхідним (рис. 7.22, в) і (або) спадним (рис. 7.22, а і б).

*Загальна характеристика стояків колон наскрізного перерізу*. Стояк колони наскрізного перерізу складається з двох або декількох прокатних профілів (стержнів), з'єднаних між собою в площинах полиць планками, якщо розмір  $h < 800\text{мм}$  (рис. 2.24, ж), або ґратами, якщо розмір  $h \geq 800\text{мм}$ . (рис. 7.23, д, е.)

Основною перевагою наскрізних стояків є можливість дотримання умови рівності стійкості.

Наскрізні стояки досить економічні за витратами металу. У той же час вони більш трудомісткі у виготовленні, тому що наявність великої кількості коротких швів утрудняє застосування автоматичного зварювання.

Перерізи наскрізного стояка з двох швелерів утворюються звичайно з розташуванням полками усередину перерізу (рис. 7.23, а). Розташування швелерів полками назовні (рис. 7.23, б) при тих самих габаритних розмірах перерізу менш вигідне з погляду витрати матеріалу і застосовується тільки в клепаних колонах з розумінням зручності клепки. Переріз, складений із двотаврів (рис. 7.23, в) застосовується тільки при значних навантаженнях, що виключають застосування швелерів.

Переріз, складений з чотирьох кутників (рис. 7.23, г), застосовується в стиснутих елементах великої довжини (щоглах, стрілах кранів і т.п.), що вимагають стійкості в обох напрямках. Цей переріз достатньо економічний і

конструкція виходить порівняно легкою, але наявність ґрат у чотирьох площинах робить її трудомісткою.

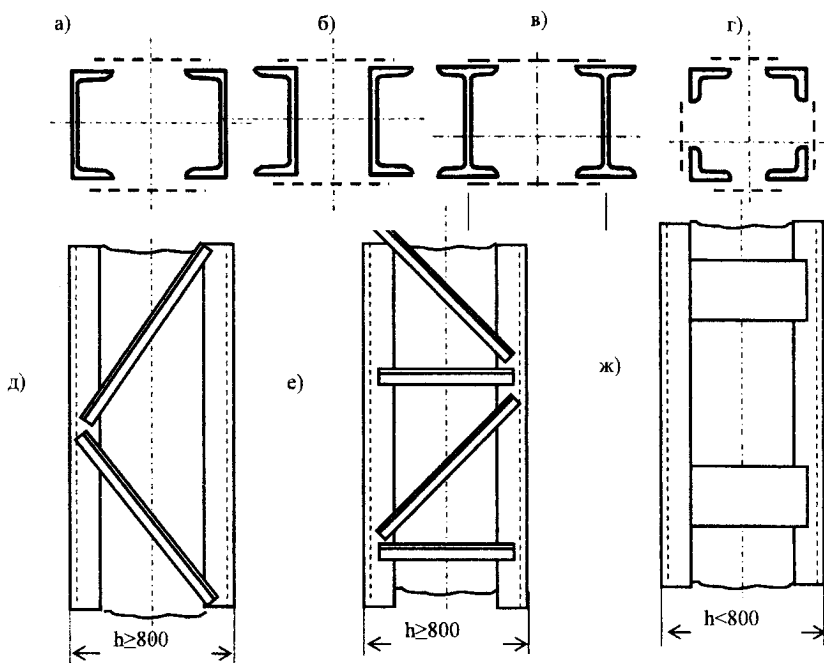


Рис. 7.23. Приклад стояків наскрізного перерізу.

ґратки наскрізних стояків звичайно конструюються з одиночних кутників. Застосовуються ґрати трикутні прості (рис.7.23,д) і з розпірками або розкосами (рис. 7.23,е). Кріплення ґрат до стержнів стояка здійснюється шляхом зварювання. Стойки з планками (рис. 7.23,г) простіші у виготовленні, більш красиві; стояки з ґратами значно жорсткіше, особливо проти крутіння.

### 7.3.1. Виготовлення плоских решітчастих конструкцій

Розглянемо технологію виготовлення плоскої решітчастої конструкції на прикладі складання і зварювання плоскої ферми.

Плоскі решітчасті конструкції збирають за допомогою кондукторів або копіїв.

**Метод «копіру».** Цей спосіб досить ефективний і широко застосовується на виробництві. Він не вимагає спеціальних пристосувань. Точність складання достатня, і гарантується повна ідентичність зібраних конструкцій. Спосіб

«копіру» особливо зручний при виготовленні великого числа ферм. На стелажі розбиваються осі елементів ферми і по них викладаються спершу фасонки (рис.7.24.), а потім кутики поясів і решітки, по одному кутику для кожного елемента. Кутики приварюють до фасонки, і цим закінчується виготовлення копіра-шаблону, по якому виготовляються всі ферми.

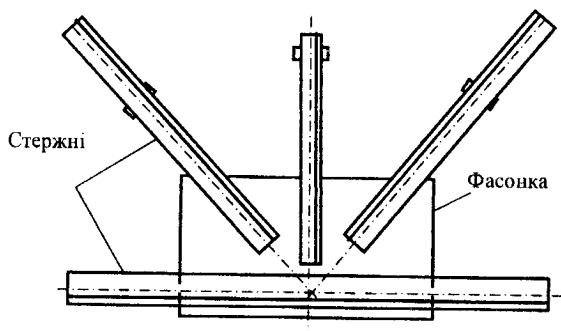


Рис.7.24. Елементи ферми.

Першу складену з кутиків по розмітці ферму (рис.7.25,а) закріплюють на стелажі — вона служить копіром. При складанні кожної чергової ферми 2 деталі розкладають і поєднують з деталями 1 копірної ферми (рис.7.25,б) притискачами. Після того, деталі ферми 2 з'єднуються прихватками і складену ферму (поки з односторонніми кутиками) (рис.7.25,в). Коли складання необхідної кількості ферм закінчено, копірну ферму комплектують парними елементами і відправляють на зварювання.

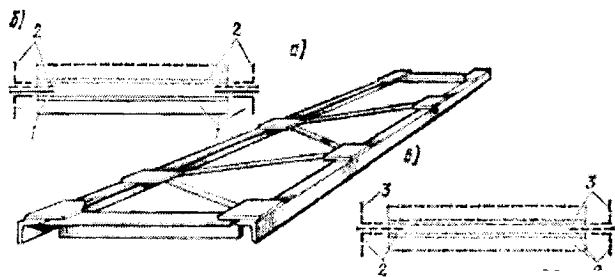


Рис.7.25. Схема складання ферми по копіру

При значній кількості ферм одного типорозмера, що випускаються, стає

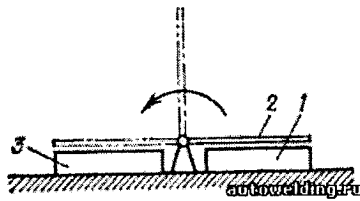


Рис. 7.26. Схема пристосування для складання і зварювання ферм.

економічно доцільним використання складнішого і продуктивнішого оснащення, наприклад пристосування, змальованого на рис 7.26.

Складання виконують на стенді 1, забезпеченому пневмопритискачами. Елементи ферми розкладають по упорах і фіксаторах, одночасно затискають пневмоциліндрами і жорстко з'єднують швами у нижньому положенні. За допомогою рамки 2 ферму спочатку ставлять у вертикальне положення, а потім передають на стенд 3, причому в кожному з цих положень виконують відповідні шви. В цей час на стенді 1 здійснюють складання наступної ферми.

**Складання в кондукторі.** Для складання і зварювання уніфікованих кроквяних ферм застосовується кондуктор, що складається з швелерів і двутаврів і є рамою з поясами, паралельними поясам ферм, і зі стійками через кожних 1,5 м. відповідно довжині стандартної панелі ферм, оснащений універсальними складальними елементами для фіксації стрижнів і деталей ферм. Універсальні складальні елементи можна легко перебудувати на поверхні стелажу для складання ферм того або іншого типу. У такому кондукторі виконується складання половин ферм різних прольотів. Пояси ферм укладають на кондуктор, закріплюють пневматичними фіксаторами (рис.7.27.)

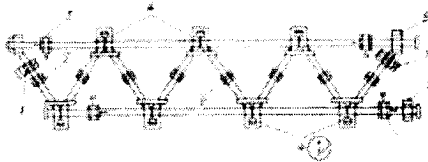


Рис. 7.27. Кондуктор для складання ферм

1 — пневматичні притискачі; 2 — кишень; 3 — гвинтові притискачі; 4 — притискачі-фіксатори розкосів; 5 — фіксатори поясів

Потім розкладають з орієнтацією по кишенях розкоси і притискають їх до поясів пневмоприскачами. Додатково гвинтовими притискачами фіксують положення поясів. Виконують прихватку з'єднань, звільняють притискачі і переносять ферму в кантувач для зварювання, конструкція якого передбачає можливість зварювання одночасно двох ферм (рис.7.28.).

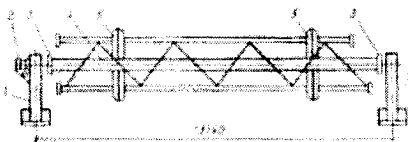


Рис.7.28 Кантувач для зварювання ферм

1 — опора; 2 — привід; 3 — планшайба; 4 — рама; 5 — захвати на 2 ферми  
Зварювання ведуть в захисному газі або порошковим самозахисним дротом механізованим способом.

На рис. 7.29. представлена схема механізованої ділянки складання і зварювання ферм.

**Поточні лінії виготовлення ферм.** Використання механізованих потокових ліній при виготовленні ферм обмежене через різноманітності типорозмірів і невеликого числа виробів в серії, але і через низької технологічності типових конструктивних рішень. Велика кількість деталей ускладнює складальну операцію, приводить до необхідності виконання безлічі швів, різним чином орієнтованих в просторі, і вимагає кантування виробу при зварюванні.

Принципово потокова лінія складання і зварювання ферм (рис.7.30.)

зкомпанована із складальних, зварювальних і транспортних пристосувань, розташованих відповідно до технології. На початку лінії передбачені місця для складування елементів ферм. На першому робочому місці стенді 2 складають пояси. Воно виконане так, щоб складання верхнього і нижнього поясів даного типорозміру ферми можна було виконувати без переналадження.



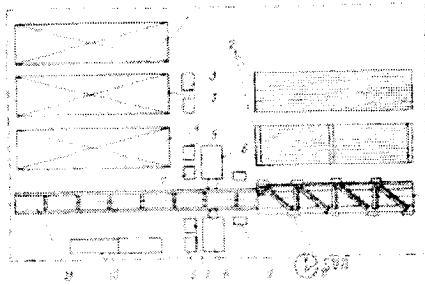


Рис.7.29. Схема механізованої ділянки складання і зварювання кроквяних ферм

1 — зварювальний пост; 2 — місця складування напівфабрикатів; 3 — місце і апаратура контролю якості напівферм; 4 — місце складування готових напівферм; 5 — блоки пневмоавтоматики; 6 — зварювальні установки для точкової дугової зварки; 7 — пульти управління; 8 — візок-кондуктор; 9 — механізм доведення; 10 — зварювальні випрямлячі; 11 — рейкова дорога

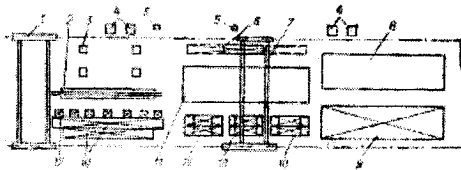


Рис.7.30. Схема потокової лінії складання і зварювання ферм.

1,7-полукозловий кран; 2-стенд для складання поясів; 3-стенд для зварювання поясів; 4-випрямляч зварювальний ВС-300;5-балластний реостат;6-стеллаж для поясів;8-кантувач для зварювання напівферм; 9-стеллаж для готових напівферм;10- тари;11-стенд для зскладання напівферм;12-контейнер.

Складальний стенд оснащений швидкодіючими пневмопритискачами. Дрібні деталі подають до місця складання з контейнерів 12 вручну, а габоритні — козловим краном 1, що переміщається по рейках уздовж лінії і керованим з підлоги самими складальниками. Установка для зварювання поясів 3 є роликівим механізованим стендом, з плавним регулюванням швидкості обертання роликів. Стенд забезпечує виконання всіх зварних швів в нижньому положенні.

### 7.3.2. Виготовлення просторових решітчастих конструкцій

Просторові решітчасті конструкції утворюють жорсткий просторовий брус, здатний сприймати навантаження, що діє в будь-якому напрямку. Кожна грань такого бруса є плоскою фермою. Прикладом просторового бруса може служити стаяк колони наскрізного перерізу.

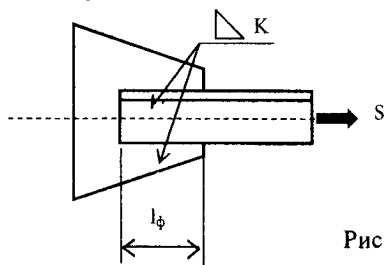
При виготовленні просторової решітчастої конструкції її розбивають на плоскі ферми, які можуть бути зібрані і зварені описаним вище способом. Потім зварені плоскі ферми з'єднуються зв'язками і зварюються. В процесі зварювання просторової решітчастої конструкції необхідно її кілька разів кантувати для зварювання вузлів з усіх боків. Для цього використовують кондуктори-кантувачі. Принцип роботи такого кондуктора мало чим відрізняється від раніше описаних.

### 7.3.3. Розрахунковий контроль опору зварних з'єднань конструкцій решітчастого типу експлуатаційному навантаженню

Для плоских ферм характерними зварними з'єднаннями є :

- з'єднання стержнів з косинкою;
- з'єднання косинки з поясами;
- стики стержнів.

*З'єднання стержнів з косинкою.*(рис.7.31.) В стержнях ферми діють осеві поздовжні сили розтягання або стискання  $S$ . З'єднання стержнів з косинкою виконується внакладку кутовими фланговими швами. Для стержнів, складених з двох кутиків умова міцності флангових швів (чотири шва) на дію осевого зусилля буде:



$$\tau = \frac{S}{4 \cdot BKl_{\phi}} \leq [\tau]^{к}$$

Рис.7.31. З'єднання стержнів з косинкою

Зварні з'єднання косинки ( прокладки, надставки ) з поясами. (рис. 7.32.)

Вони виконуються кутовими швами довжиною  $l_k$ .

Під дією зусиль в стержнях косинка зсувається, що викликає утворення в швах внутрішніх зусиль  $T_r$  і  $T_v$ .

Зусилля зсуву в швах визначаються, виходячи з умови рівноваги косинки під дією зусиль в стержнях  $S_1, S_2, S_3$  і  $S_4$ , а також зусиль у швах  $T_r$  і  $T_v$ , які розподіляються між швами як показано на рис.7.32

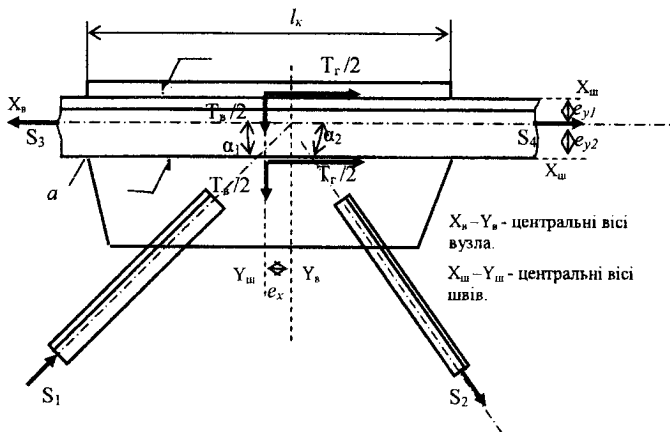


Рис.7.32. Зварний вузол з косинкою.

Спроекуємо їх відповідно на осі  $x$  і  $y$  і прийдемо до висновку, що на зварні шви діють дві сили  $T_r$  і  $T_v$  та момент  $M$ .

$$T_v = S_1 \cos \alpha_1 + S_2 \cos \alpha_2 + S_4 - S_3;$$

$$T_r = S_1 \sin \alpha_1 + S_2 \sin \alpha_2 - P;$$

$$M = T_v / 2 \cdot e_{y1} - T_r / 2 \cdot e_{y2} \pm T_r \cdot e_x.$$

Для небезпечної точки  $a$  умова міцності має вид:

$$\tau = \sqrt{\tau_v^2 + (\tau_r + \tau_m)^2} \leq [\tau]^{36},$$

де 
$$\tau_v = \frac{T_v}{4 \cdot \beta K \cdot l_k}; \quad \tau_r = \frac{T_r}{4 \cdot \beta K \cdot l_k}; \quad \tau_m = \frac{6M}{4 \cdot \beta K \cdot l_k^2};$$

Стикові з'єднання поясів ферм (рис. 7.33.) підрозділяють на три види.

1. Технологічні — їх застосовують, якщо відсутні елементи необхідної довжини; ці з'єднання слід конструювати однакової міцності з основним елементом, тому що положення їх не завжди можливе визначити заздалегідь.

2. Конструктивні — їх застосовують для зміни поперечного перерізу пояса від панелі до панелі; положення конструктивних стикових з'єднань задано проектувальником, тому розрахунок міцності можна робити за діючим розрахунковим зусиллям; їх розташовують в елементі на відстані від вузла, що відповідає 0,2...0,5 довжини панелі.

3. Монтажні — їх призначають у залежності від умов транспортування і наявності підйомно-транспортних засобів на будівництві. При монтажі елементи попередньо збирають на болтах або струбцинах; після цього виконують зварювання з'єднань. Положення монтажних стикових з'єднань завжди призначає проектувальник.

Найбільш доцільні стикові з'єднання з прямими швами. (з накладкою або без накладки). (рис.7.33.)

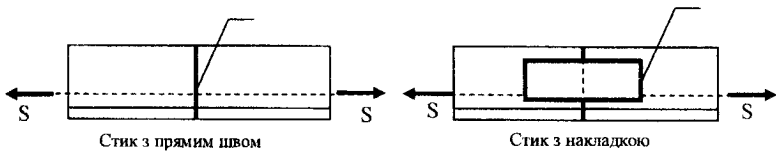


Рис.7.33. Типи стиків стержнів ферм.

Стик з прямим швом пряцює на осьове навантаження  $S$ , тобто на нормальні напруження  $\sigma$ . Умова міцності буде:

$$\sigma = \frac{S}{F_c} \leq [\sigma]^w$$

де  $F_c$  — площа поперечного перерізу стержня;

$[\sigma]^w$  - граничні напруження для зварного з'єднання.

У випадку стика з накладкою необхідно перевірити окремо міцність стикового шва і кутових швів від дії відповідної частки зусилля  $S$ . Зусилля  $S$  розподіляється між стержнем і накладкою пропорційно їх площі поперечного перерізу, а саме:

$$S_C = S \frac{F_C}{F} ; \quad S_H = S \frac{F_H}{F} .$$

Відповідно умови мійності:

$$\text{для стикового шва ( за нормальними напруженнями) } \sigma = \frac{S_C}{F_{CШ}} \leq [\sigma]^m ,$$

$$\text{для кутових швів (за дотичними напруженнями) } \tau = \frac{S_H}{F_{КШ}} = \frac{S_H}{\beta K L_{КШ}} \leq [\tau]^m$$

де - F сумарна площа поперечного перерізу стержня  $F_C$  і накладки  $F_H$ ;  $F_{CШ}$  - площа руйнування стикового шва;  $F_{КШ}$  - площа руйнування кутових швів;  $L_{КШ}$  - загальна довжина кутових швів.

Для просторових решітчастих конструкцій основними зварними з'єднаннями є:

- з'єднання складових перерізу планками;
- з'єднання складових перерізу стержневою решіткою.

Зварні з'єднання розраховуються на дію поперечної сили Q (умовної або фактичної). Якщо навантаження стояка таке, що фактична поперечна сила відсутня, то розрахунки проводять використовуючи поняття «умовна» поперечна сила.

За нормами величина цієї умовної поперечної сили поздовжнього вигину визначається в залежності від площі перерізу стояка за формулами:

для сталі 3  $Q_{ум} = 20Fкг$ ;

для сталі 5 і низьколегованої  $Q_{ум} = 40Fкг$ ,

де F— переріз стояка бруто в  $см^2$ .

Поперечна сила Q приймається постійною по висоті стояка і розподіляється нарівно Q/2 між площинами планок (гратки).

З'єднання складових перерізу планками. (Рис. 7.43.). Виріжемо (пунктирна лінія) планку і замінемо відкинуту частину силами Q/2. З умови рівноваги напрям цих сил протилежний, а це є ознакою того, що на планку діє момент

$$M_{кс} = \frac{Q}{2} l_c$$

де  $l_c$ — відстань між планками.

Крім того виникне поперечна сила  $T_{пл} = \frac{Ql_c}{2b}$ ,

де  $b$ —відстань між осями.

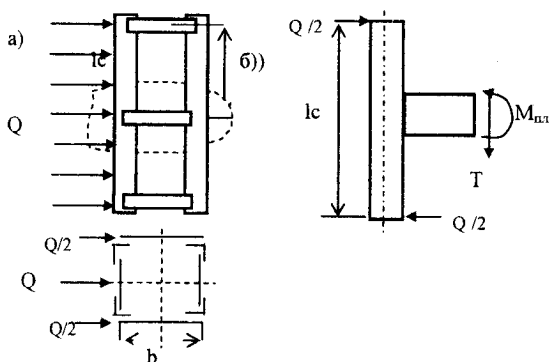
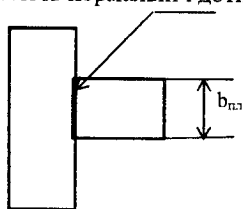


Рис.7.34. Схема навантаження планки

Зварне з'єднання планки зі стержнем може виконуватись двома варіантами—встик і внакладку. У випадку зварювання встик (рис.7.35.) в шві виникають нормальні і дотичні напруження



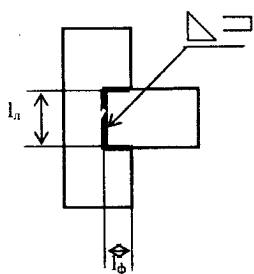
$$\sigma = \frac{M_{пл}}{W_{ш}} = \frac{6M_{пл}}{\delta_{пл} b_{пл}^2},$$

$$\tau = \frac{T_{пл}}{F_{ш}} = \frac{T_{пл}}{\delta_{пл} b_{пл}}.$$

Рис.7.35.

Умова міцності має вид:  $\sigma_{ск} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]^{ш}$

У випадку зварювання в накладку (рис.7.36.) шви виконуються по незамкненому контуру накладеної частини планки і розраховуються за формулою



$$\tau = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_T^2} \leq [\tau]^{пр}$$

$$\tau_M = \frac{M}{\beta K l_\phi l_n + \beta K l_n^2 / 6}; \quad \tau_T = \frac{T}{\delta_n b_{нн}}$$

Рис. 7.36.

З'єднання складових перерізу стержневою решіткою. (рис.7.37.) В цьому випадку елементи решітки з'єднуються внакладку кутовими швами, що працюють на осьові сили  $N$  від дії поперечної сили  $Q/2$ , а саме:

для розпорок

$$N_{розп} = Q/2;$$

для розкосів

$$N_{розк} = Q/2 \cos \alpha .$$

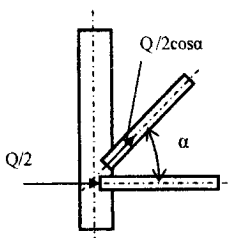


Рис.7.37. Зварні з'єднання елементів стержневою решіткою.

Зварні шви працюють на зсув і тому відповідні умови міцності будуть мати вид:

$$\tau = \frac{N}{F_{ш}} = \frac{N}{\beta K L_{ш}} \leq [\tau]^{пр}$$

#### 7.4. Виговлення зварних конструкцій оболонкового типу

Оболонкою називається тіло, що обмежується двома криволінійними поверхнями, відстань між якими ( товщина оболонки  $\delta < R/20$  ) мала у порівнянні з іншими розмірами тіла, тобто нормальні напруження на площинах паралельних поверхням такі, що їх значенням можливо знехтувати. Оболонки працюють на зовнішнє або внутрішнє розподілене навантаження. Оболонки призначаються для збереження газоподібних,

рідких або сипучих тіл або їхньої технологічної переробки. У зв'язку з цим розрізняють наступні основні типові види оболонки:

- 1) газгольдери — для збереження газів;
- 2) резервуари — для збереження рідини ( нафтопродуктів та іншої);
- 3) труби і трубопроводи великих діаметрів, що використовуються у якості магістральних нафто - і газопроводів та інш.

Оболонки застосовуються не тільки як конструкції сприймаючі різні навантаження, але також як судини — завдяки щільності.

Найбільш розповсюджені оболонки обертання (циліндричні, сферичні, конічні і т.п.), тобто мають найвигіднішу форму при впливі на них навантажень від газоподібних і рідких тіл.

*Складання та зварювання смкостей.* Серед різноманіття номенклатури газгольдерів і резервуарів найбільш розповсюдженою типовою конструкцією є ємність, що складається з циліндричного корпусу і двох напівсферичних днищ. Корпус представляє собою циліндр з окремих обечаяк, зварених між собою стиковими швами. (рис 7.38.)

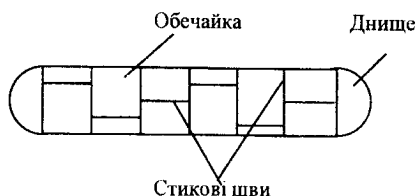


Рис.7.38. Принципова конструкція циліндричної ємності

*Зварювання поздовжнього шва обечайки.* Обечайки вальцюються на потрібний діаметр з цільного металевого листа або з заготовки ( зварених між собою листів) за розміщення стикових зварних швів вздовж твірної обечайки. Після вальцювання поздовжні краї обечайки за допомогою стяжних пристроїв встановлюються в потрібне положення і прихоплюються.

Поздовжні шви, як правило, зварюються під флюсом з обох сторін. Спочатку зварюється шов всередині обечайки в нижньому полдоженні на



флюсовій подушці. Після чого, за допомогою роликового стенду обичайка кантується на  $180^\circ$  і потім зварюється зовнішній шов теж у нижньому положенні, забезпечуючи повний провар по товщині стінки обичайки. (рис. 7.39.)

В загальному випадку робоче місце для складання і зварювання поздовжнього шва комплектується установками (різноманітними за конструкцією) для зварювання внутрішніх швів обичайок та зварювальними апаратами для зварювання зовнішніх швів, які розміщуються на самохідних візках (глагольнх, консольних, порталних)

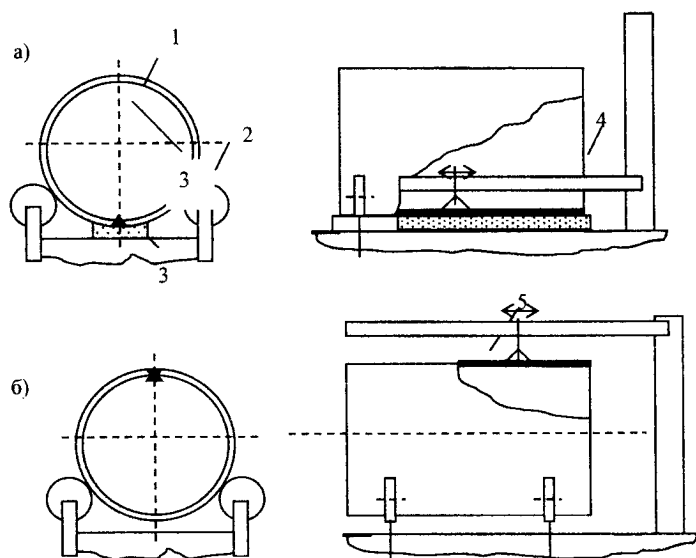


Рис. 7.39. Зварювання поздовжнього шва обичайки.

а)- зварювання з внутрішньої сторони; б)- зварювання з зовнішньої сторони.

1 – обичайка; 2 – роликовий стенд; 3 – флюсова подушка; 4- консоль; 5 – зварювальний апарат.

*Зварювання стиків обичайок кільцевими швами.* Після зварювання поздовжнього шва через кутові та поздовжні деформації обичайка втрачає так звану «круглість» і тому перед стикуванням їх вальцюють. З метою забезпечення співпадання крапок під зварювання, складання обичайок між

собою виконують використовуючи різноманітні центратори (зовнішні або внутрішні) і виконують прихоплювання. (рис.7.40.)

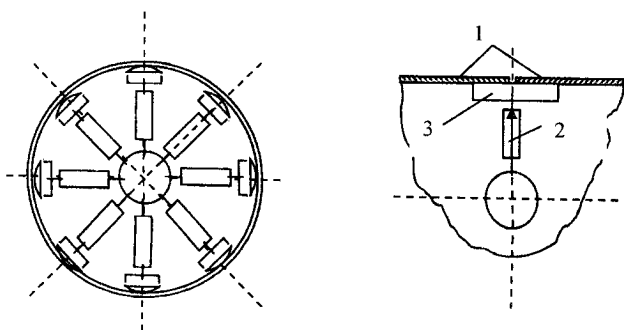


Рис.7.40. Принципова схема внутрішнього центратора.

1 – обичайки; 2 – пневмоциліндр; 3 – упор.

Після цього виконують шов з внутрішньої сторони на флюсовій подушці автоматом типу ТС- 17, або апаратом на консолі. На роликівому стенді повертають обичайки у положення для зварювання шва з зовнішньої сторони. Ці операції виконуються на спеціалізованих установках для зварювання кільцевих швів циліндричних обичайок, компанування яких відрізняються як функціональністю, так і параметрами зварюваних виробів. Зазвичай до складу таких установок входять роликівий стенд, консоль для зварювального апарату, пересувна флюсова подушка і пристрій для переміщення зварювального апарату.

*Зварювання днищ з корпусом.* Існує багато варіантів з'єднання днищ з корпусом в залежності від вимог до виробу. Як правило це з'єднання стиковими швами. Використовують декілько варіантів підготовки цих з'єднань до зварювання. Як приклад розглянемо два варіанти (Рис.): складання і зварювання на підкладному кільці (рис. 7.41,а) і застосування підготовки крайок «у замок»(рис.7.41,б).

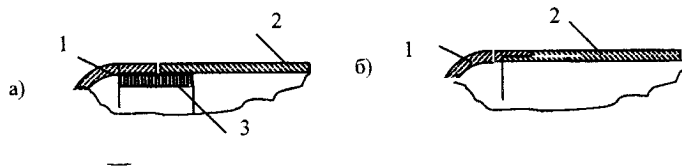


Рис.7. 41.Зварювання днища з корпусом.

а) на підкладному кільці; б) « у замок». 1 – днище; 2 – корпус; 3 – підкладне кільце.

У цих випадках спрощується стикування корпусу з днищем ( відсутня операція «центрування») і зварний шов виконується тільки з зовнішньої сторони. Операції складання і зварювання виконуються на спеціалізованих установках різної конструкції, які забезпечують три основні функції: притискання крайок днища до корпусу ( наявність пересувного упору ), обертання виробу зі швидкістю зварювання( наявність роликового стенду) і безпосередньо отримання зварного шва (наявність зварювального апарату).

### 7.5.Виготовлення зварних труб.

Зварні труби знаходять широке застосування в численних галузях промисловості при будівництві магістральних і розподільних трубопроводів і застосовуються для транспортування газу, води і нафти. Номенклатура зварних труб дуже широка. Розрізняють зварні труби малого діаметру ( розподільні трубопроводи) діаметром від 10 до 530мм згідно ГОСТ 10705-91 і великого діаметру (магістральні трубопроводи) діаметром від 478 до 1420мм згідно ГОСТ 10706-76. В якості матеріалу для виготовлення сварних труб використовуються низьковуглецеві і низколеговані сталі з межою текучості до 500 МПа.

#### 7.5.1. Виготовлення зварних труб малого діаметру.

При виготовленні зварних труб малих діаметрів використовують безперервні процеси. З рулону стрічка розмотується, нарошується, формується і, проходячи зварювальний вузол, зварюється тим або іншим способом.

Найчастіше застосовується пічне зварювання і зварювання струмами високої частоти.

Особливо продуктивно виготовляють з низьковуглецевої сталі водогазопровідні труби діаметром 6-114 мм пічним зварюванням. Заготовкою служить гарячекатана стрічка в рулонах. Після виходу стрічки з нагрівальної печі(рис.7.42.) її кромки 1 обдуваються повітрям з сопла 2 для видалення окалини і підвищення температури.

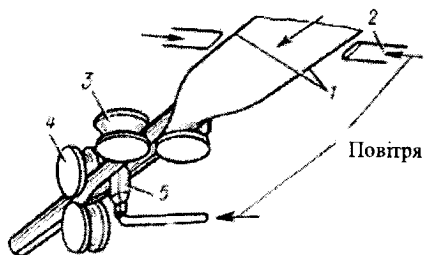


Рис. 7.42.Схема пічного зварювання труб

У першій парі роликів 3 стрічка формується, а в другій парі 4 - згортається і зварюється, причому обдування з сопла 5 підвищує температуру до 1500-1520°C. Швидкість зварювання досягає 420- 1200 м/хв.

Останніми роками для виготовлення труб діаметром від 8 до 529 мм з товщиною стінки 0,3-10 мм все ширше використовують зварювання струмами високої частоти. В порівнянні з контактним зварюванням опором на струмах промислової частоти високочастотне зварювання забезпечує значно більш високі швидкості зварювання(до 120 м/хв), можливість виготовлення труб із сталей, кольорових металів і сплавів, використання гарячекатаної нетруєної стрічки, значне зменшення витрати електроенергії на виробництво 1 т готових труб. Крім того, при високочастотному зварюванні одно і те ж устаткування можна використати для виготовлення труб з різних матеріалів.

При контактному підведенні струму(рис.7.43,а) необхідність зміни контактів 1 внаслідок їх зносу примушує періодично зупиняти стан.

Перспективніше індукційне підведення енергії кільцевим індуктором 2(рис.7.43,б). В цьому випадку для зменшення втрат енергії в результаті проходження струму по тілу заготовки всередину труби 1 вводять магнітний сердечник 3, який змінює опір так, що майже увесь зварювальний струм 4 концентрується на зварюваних кромках.

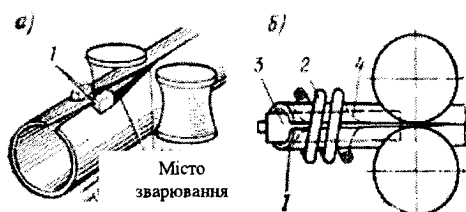


Рис. 7.43. Схема високочастотного зварювання труб  
а- контактний підвод току; б – індукційний підвод току.

До труб малого діаметру відносяться плоскосторнуті труби, що знайшли застосування при прокладенні промислових і газозбірних трубопроводів, Схема виготовлення таких труб показана на рис. 7.44.

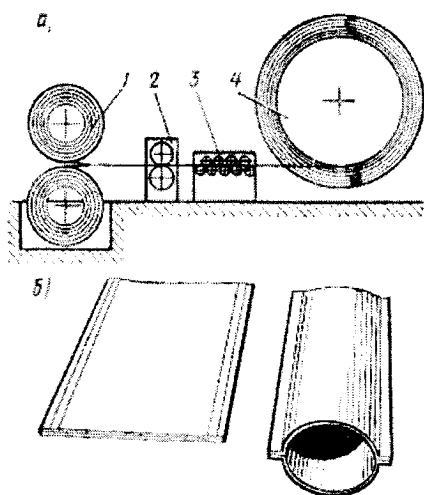


Рис. 7.44. Плоскосторнуті труби.

Дві сталеві стрічки 1 накладаються одна на одну і зварюються двома подовжніми швами на контактній машині 2 для шовного зварювання. У міру зварювання труба заготовка проходить правильний пристрій 3 і згортається в рулон 4. Контроль щільності швів готової згорнутої в рулон труби робиться приєднанням до одного з кінців труби мережі стислого повітря. Рулон закріплюють в жорсткій обоймі, що запобігає його розгортанню або роздуттю труби. Свідчення манометра, що приєднується до іншого, заздалегідь заглушеного кінця труби, дозволяє встановити наявність нещільності. Такі труби можуть мати товщину стінок до 4 мм, діаметр до 300-400 мм і довжина до 250-300 м. На місці укладання трубопроводу рулон розмотують і трубу роздувають. Окремі частини труби сполучають між собою або зварюванням плоских кінців труб до їх роздуття, або за допомогою фланцевих з'єднань.

#### **7.5.2. Виготовлення зварних труб великого діаметру.**

Труби великого діаметру для магістральних трубопроводів (більше 500 мм) випускаються тільки зварними. Серійний характер виробництва, велика протяжність швів і порівняно проста форма виробу дозволяють ефективно використати прогресивні методи зварювання з дуже високими швидкостями і повністю механізувати увесь процес виготовлення труб.

Труби для магістральних трубопроводів виконують дуговим зварюванням під флюсом. Шов розташовують або по утворюючий, або по спіралі. Через обмеження ширини стандартних листів прямошовні труби діаметром до 820 мм зварюють одним подовжнім швом, при більшому діаметрі - двома завдовжки 12 м

*Прямошовні труби.* Зварний шов труб з одним подовжнім швом виконують з двох сторін, причому зовнішній шов укладають першим на стані прохідного типу. Перед станом підйомними кантуючими роликми заготовку 2 встановлюють роз'ємом вгору по осі направляючого ножа 1 (рис.7.45.). Проходячи стан, труба заготовка 2 насувається на оправку 5, підвішену до направляючого ножа і таку, що спирається роликми на внутрішню поверхню

труби.

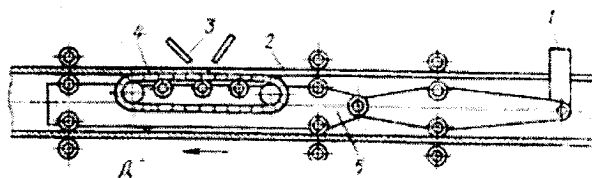


Рис. 7.45. Схема зварювання зовнішнього шва труби.

Рух труби забезпечується приводними горизонтальними роликками, причому зазор між кромками у міру просування заготовки звужується внаслідок бічного тиску вертикальних неприводних валків і в зоні зварювання з зазор відсутній. Витіканню зварювальної ванни запобігають встановленим на рамі замкнутою системою 4 з шарнірно скріплених пластин з мідними накладками. Зварювання під флюсом роблять двома дугами, що горять у одній зварювальній ванні, що забезпечує гарне формування шва при швидкості зварювання 170-190 м/ч і товщині стінок 12 мм. (Рис. 7.46)

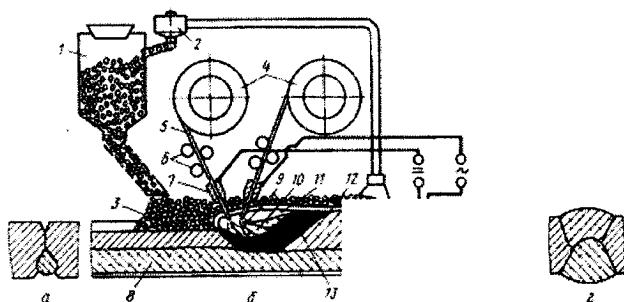


Рис. 7.46. Схема зварювання двома дугами

1 – бункер; 2 – флюсопровід; 3 – флюс; 4 – касети; 5 – зварювальний дріт; 6 – подаючі роликки; 7 – зварювальна головка; 8 – підкладка; 9, 10 – дуга; 11 – газовий міхур; 12 – рідкий шлак; 13 – ванна; 14 – шов; 15 – шлакова корка.

Зварювання труб діаметром 1020мм і більше виконується за три проходи

(внутрішній технологічний, потім зовнішній і внутрішній робочі шви), а труби діаметром менше 1020 мм за два проходи (внутрішній, потім зовнішній робочі шви). До установки для зварювання внутрішнього шва труба поступає

по рольгангу і подається всередину рухливих механізмів, що піднімають і повертають трубу швом до низу. Механізми змонтовані на рухливому візку, за допомогою якого труба насувається на зварювальну головку, прикріплену до штанги завдовжки 12м.

Труби з двома подовжніми швами збирають з двох заздалегідь відформованих напівциліндрів, що подаються на дві паралельні нитки вхідних рольгангів складального пристрою. Кромки заготовок вирівнюючим пристосуванням встановлюються в одній горизонтальній площині, і в такому положенні напівциліндри рольгангами подаються в розкритий складальний пристрій(рис.7.47.а).

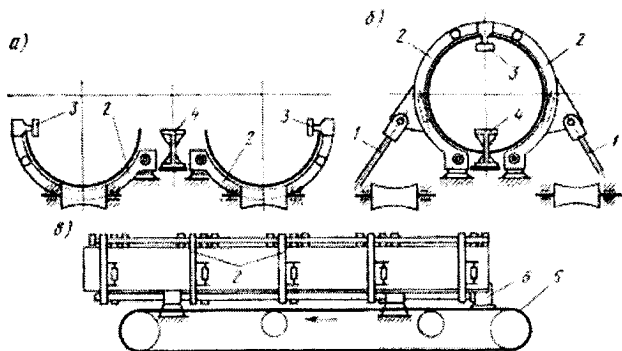


Рис. 7.47. Складання труб з напівциліндрів

Штоки пневмоциліндрів 1(рис. 7.47,б), повертаючи важелі 2, встановлюють заготовки в початкове для подання в зварювальний стан положення. Проміжок між заготовками задається деталями 3 і 4. Подання зібраної труби в зварювальний стан здійснюється упором 6 ланцюгового переміщувача 5 зі швидкістю, що дещо перевищує швидкість зварювання, щоб наздогнати попередню трубу(рис. 7.47, в). При цьому направляючий ніж стану потрапляє в проміжок між верхніми кромками напівциліндрів, направляючи стик до зварювальної головки. Коли труба захоплюється горизонтальними приводними роликami зварювального стану, ланцюговий переміщувач вимикається і повертається в початкове положення. Зварена першим зовнішнім



швом заготовка обертається роз'ємом вгору і по рольгангу поступає на стан для зварювання другого зовнішнього шва. Потім послідовно, аналогічно зварюванню труб з одним швом, виконуються і обидва внутрішні шви. Після контролю і усунення дефектів труби з прямими швами піддають правці (епандеруванню) для забезпечення необхідної форми поперечного перерізу і допуску на діаметр.

Для цього трубу укладають в товстостінну матрицю, в неї вводять конусні заглушки, ущільнюючі і калібруючі її кінці. Внутрішнім гідравлічним тиском діаметр труби збільшується, через що досягається правка труби по усій довжині і калібрування її по діаметру. Потім тиск знижують до випробувального рівня і дають витримку близько 30хв із з одночасним разовим обстукуванням труби молотками, закріпленими на траверсі.

Усі заздалегідь охолоджені водою труби проходять ультразвуковий контроль зовнішніх і внутрішніх швів з відміткою дефектних місць фарбою. За наявності дефектних відміток труба спрямовується на рентгенотелевізійну установку для розшифровки.

*Спиральношовні труби.* Спиральношовні труби виготовляються з рулонної сталі. Складання і зварювання рулонної сталі спіральним швом дозволяють отримати будь-який діаметр труби незалежно від ширини смуги. При використанні цього методу процес виготовлення йде безперервно, забезпечуючи необхідну точність розміру і форми труби без подальшої калібровки.



Рис. 7.48. Схема виготовлення спіральшовних труб

На рис. 7.48. показана схема стану для виготовлення спіральшовних труб. Смуга з рулону 1 проходить правильні вальці 2 і накопичується в

компенсаційній петлі 5, забезпечуючи безперервність виконання спірального шва при обрізанні кінців смуг ножицями гільотин 3 і складанню і зварюванню їх стику на установці 4. Після компенсаційної петлі стрічка рухається із зварювальною швидкістю, завдяки обертанням штовхаючих валиків 7. За допомогою парних дискових ножів 6 обрізують подовжні кромки під зварювання. Налаштування стану на необхідний діаметр труби роблять розвертанням формочної машини, переміщаючи її на катках по криволінійних рейкових шляхах.

Згортання в трубу здійснюють заштовхуванням смуги у формувальний пристрій 9. Спіральний шов виконується зварюванням під флюсом трьома зварювальними головками. Дві з них кріпляться на загальній штанзі 8, що вводиться всередину, третя голівка 10 розташована зовні. Перший внутрішній шов, що приварює кромку смуги до сформованої труби, має малу площу перерізу і є технологічним. Його призначення - усунути можливість взаємного переміщення кромки і запобігти витіканню зварювальної ванни при зварюванні зовнішнього шва. Внутрішній шов зварюється двоелектродною головкою, забезпечуючи хороше формування і повну переплаву технологічного шва. Така технологія дозволяє гарантувати відсутність кристалізаційних тріщин при зварюванні низьколегованих сталей зі швидкістю до 110 м/ч. Безперервна труба, що виходить із стану, спеціальним пристроєм 11 розрізається на труби мірної довжини.

Труби після зварювання проходять візуальний контроль зовнішньої і внутрішньої поверхні, ультразвуковий контроль зварних швів з рентгенологічною розшифровкою дефектів, ремонт дефектів на ремонтних майданчиках, плазмове обрізання кінців труб, фрезерування посилення валика внутрішнього шва по кінцях труб, експандування і гідровипробування, остаточне приймання і маркіровку.

### 7.5.3. Способи зварювання стиків трубопроводів

При спорудженні трубопроводів труби постачаються мірної довжини (як правило 12м), що викликає необхідність їх зварювання між собою. Оскільки

При спорудженні трубопроводів труби постачаються мірної довжини (як правило 12м), що викликає необхідність їх зварювання між собою. Оскільки технологічні процеси зварювання труб між собою при будівництві трубопроводів різного призначення практично мало чим відрізняються один від одного, а вживані при цьому керівні нормативно-технічні документи відбивають відмінності тільки у вимогах до підготовки кромek, складання, якості зварних з'єднань і випробувань на міцність і герметичність, то надалі ми розглянемо загальні положення технологічного процесу виготовлення на прикладі магістральних і розподільних (трубопроводів газопостачання) трубопроводів.

Способи зварювання трубопроводів класифікують як термічні, термомеханічні і механічні. Термічні способи включають усі види зварювання плавленням(дугова, газова, плазмова, електронно-променева, лазерна) та ін. види зварювання. До термомеханічного класу відносяться стикове контактне зварювання, зварювання магнітокерованною дугою. До механічних способів відносяться зварювання тертям і вибухом.

Крім того розрізняють методи зварювання трубопроводів за типом носіїв енергії(дугова, газова, плазмова, лазерна та ін.); за умовами формування з'єднання(вільне або примусове формування зварного шва); за способом захисту зони зварювання(під флюсом, в захисних газах, з використанням самозахисного електродного дроту т.д.); по мірі механізації і автоматизації процесу(ручна, механізована, автоматизована і роботизована).

Для зварювання стиків магістральних трубопроводів найбільше поширення отримали дугові методи зварювання. Більше за 60% стики на магістралях зварюються автоматичним дуговим зварюванням під флюсом . Дугове зварювання під флюсом використовується тільки в тих випадках, коли існує можливість обертання стику. Зварювання трубопроводів під флюсом в основному автоматизованим способом застосовують при виготовленні двух- і тритрубних секцій діаметром 219...1420 мм. на трубозварювальних базах зовні траншеї.

Для неповоротних стиків використовують стикове контактне зварювання безперервним оплавленим. Процес відбувається автоматично за заданою програмою. Тривалість зварювання одного стику труб діаметром 1420 мм складає 3...4 мін, цикл зварювання одного стику при будівництві трубопроводів -10...15хв.

Автоматичне зварювання магнітокерованною дугою(чи дугоконтактне зварювання) відрізняється від стикового контактного зварювання способом нагріву кромки. При дугоконтактному зварюванні нагрів виконується дугою, що обертається магнітним полем по кромках зварюваних труб з великою швидкістю. Цей спосіб зварювання застосовують для спорудження трубопроводів малого (до 114мм) діаметру.

Коли застосування механізованих методів неможливе, використовується ручне дугове зварювання.

Ручне дугове зварювання виконують при різних просторових положеннях стику - нижньому, вертикальному і стельовому. В процесі зварювання вручну переміщують електрод по периметру стику із швидкістю 8. .20 м/год.

*Підготовка крайок труб під зварювання.* Кінці труб повинні мати форму і розміри розкриття крайок, відповідно до обраного процесу зварювання. Якщо заводське оброблення крайок не відповідає вимогам. допускається обробка крайок в трасових умовах: а) газокисневе різання з подальшою механічною зачисткою крайок абразивним кругом на глибину 0,1...0,2 мм; б) плазмове різання з подальшою механічною обробкою на глибину до 1 мм - внаслідок насичення крайки азотом(при використанні аргону як плазмообразуючого газу механічну обробку не потрібно); в) дугове різання з подальшою зашліфовуванням на глибину до 0,5мм.

На рис. 7.49. представлені рекомендовані типи оброблення крайок для різних способів зварювання стиків.

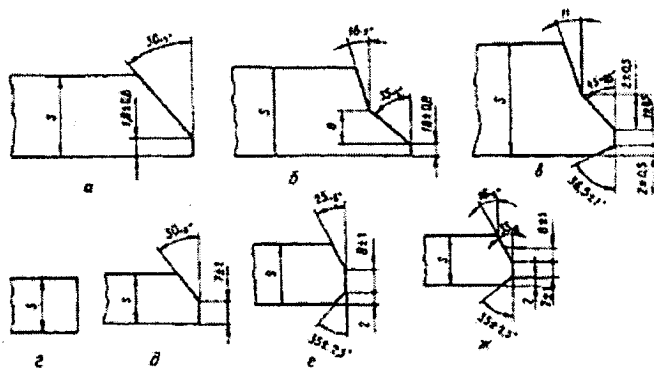


Рис.7.49. Типи розкриття крайок труб для ручного дугового зварювання (а, б), автоматичного зварювання в середовищі захисних газів (в), автоматичного зварювання під флюсом (г, д, е, ж) и порошковою проволокою (а, б).

*Вимоги до складання труб.* Складання стиків труб проводиться за допомогою зовнішнього центратора ексцентрикового типу. Складання повинне гарантувати:

- перпендикулярність стику до осі трубопроводу. Відхилення від перпендикулярності не повинне перевищувати 2 мм;
- рівномірність по периметру зазору, що знаходиться в межах значень, регламентованих відповідними стандартами і інструкціями;
- мінімально можливу величину зміщення кромки (для магістральних трубопроводів, - 0,2 товщини стінки, але не більше 3 мм, для розподільних - 0,15м товщини стінки 0,5мм);
- зміщення подовжніх заводських швів один відносно одного на відстань не менше 100 мм - для труб діаметром більше 100 мм і на 1/3 довжини кола - для труб діаметром менше 100мм.

*Технологія і техніка ручного дугового зварювання.* Майже 60%бієма зварювальних робіт при будівництві трубопроводів доводиться на ручне дугове зварювання секцій або окремих труб у безперервну нитку. Технологія ручного дугового зварювання визначається передусім матеріалом труб, що підлягають зварюванню. Залежно від марки сталі труби і умов експлуатації вибирають зварювальні матеріали. Після цього встановлюють

технологію і техніку зварювання, а також схему організації робіт, при цьому керуються заданим темпом будівництва трубопроводу. При заданих зварювальних матеріалах технологія зварювання залежить від діаметру і товщини стінки труби.

Беззаперечним правилом при будівництві магістральних і розподільних трубопроводів є вимога до мінімальної кількості шарів в шві. Для труб з товщиною стінки 6 мм і менш - 2 шари, з товщиною стінки більше 6 мм - 3 шари. Зварювання електродами виконують від низу до верху з поперечними коливаннями, амплітуда яких залежить від ширини оброблення стику.

При потоково-розчленованому методі зварювання кожен зварювальник виконує певну ділянку шва, положення якого залежить від числа зварювальників, працюючих одночасно на одному стику. На трубах великого діаметру їх число може досягати чотирьох. Як правило, якщо зварювальників двоє, то вони виконують зварювання знизу і йдуть вгору по периметру у напрямі (по циферблату годинника) 6-3-12 і 6-9-12. Якщо зварювальників четверо, то перша пара варить ділянку стику(по циферблату) 6-3 і 6-9, а друга пара - 3-12 і 9-12.

При зварюванні трубопроводів невеликого діаметру(до 530 мм) з метою зменшення об'єму монтажних робіт в траншеї часто практикується укрупнення в секції труб зварюванням з поворотом стиків на 90 або 180°. Трубу ділять по колу на чотири приблизно однакових по довжині ділянки. Після зварювання ділянки 1 і 2 стик повертають на 90° для зварювання ділянок 3 і 4(рис. 7.50.). Потім, виконуючи черговий поворот на 90°, роблять послідовно зварювання ділянок 5 і 6, 7 і 8.

У іншому випадку, після зварювання ділянок 1 і 2(мал. 6) виконують поворот труб на 180° для зварювання ділянок 3 і 4. Потім поворот на 90° і 180° для зварювання ділянок 5 і 6, 7 і 8 відповідно.

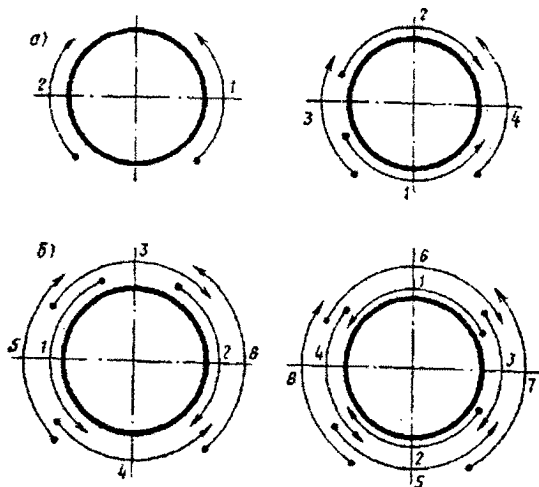


Рис. 7.50. Послідовність зварювання стиків труб з поворотом на  $90^\circ$  : а – першого шару, б - другого, 1...8 – послідовність виконання ділянок шару.

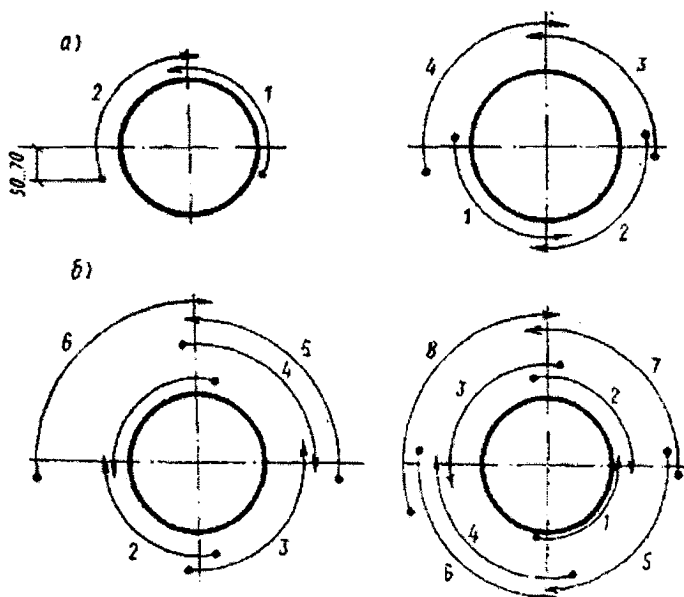


Рис. 7.51. . Зварювання з поворотом труб на  $180^\circ$ : а – першого шару, б - другого, 1...8 – послідовність виконання ділянок шару.

#### 7.5.4. Розрахунковий контроль опіру зварних з'єднань конструкцій оболонкового типу експлуатаційному навантаженню

Характерними зварними з'єднаннями конструкцій оболонкового типу є:

- подовжні стикові шви обичайок;
- кільцеві стикові шви обичайок між собою;
- вварювання люків і патрубків.

Конструкції оболонкового типу в основному працюють на внутрішній тиск  $p$ . Від дії внутрішнього тиску в стінці оболонки утворюються плоский напружений стан з компонентами  $\sigma_1$  і  $\sigma_2$ . (рис. 7.52.).

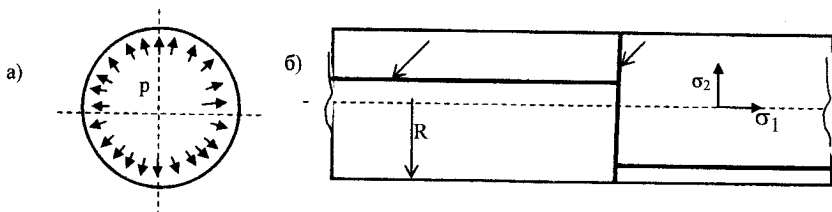


Рис 7.52. Напружений стан в стінці циліндричної оболонки.

Згідно рівняння Лапласа для оболонки будь якої форми (кривизни) компоненти напруженого стану визначаються за формулою:

$$\frac{\sigma_1}{R_1} + \frac{\sigma_2}{R_2} = \frac{p}{\delta}$$

де  $\sigma_1$  — напруження уздовж утворюючої (меридіана);  $\sigma_2$  - кільцеві напруження;  $R_1$ ,  $R_2$  - відповідні радіуси;  $p$  - внутрішній тиск;  $\delta$  - товщина стінки оболонки.

У випадку відкритої циліндричної оболонки (наприклад, вертикальний циліндричний резервуар)  $R_1 = \infty$ , а  $R_2 = R$ .

Тоді:

$$\sigma_2 = \frac{pR}{\delta}, \sigma_1 = 0.$$



Але, якщо оболонка (ємність) має днища, через тиск на них виникає подовжня сила  $S$  (Рис), яка визначається:

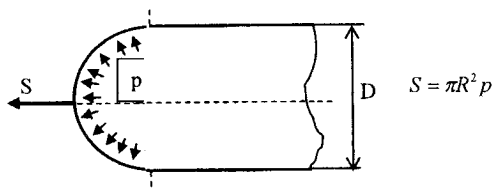


Рис.7.53. Утворення подовжньої сили.

Через дію сили  $S$  в стінці оболонки виникнуть подовжні напруження

$$\sigma_1 = \frac{S}{F_c} = \frac{\pi R^2 p}{2\pi R \delta} = \frac{pR}{2\delta}$$

Таким чином, подовжні і кільцеві шви оболонок знаходяться у плоскому напруженому стані, для якого умова міцності:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \sigma_1 \sigma_2 \leq [\sigma]^m.$$

Вварювання люків або патрубків у стінку оболонки виконують, як правило двома кутовими швами (рис.7.54.) Вони працюють на срїз від дії

сили  $S$ .

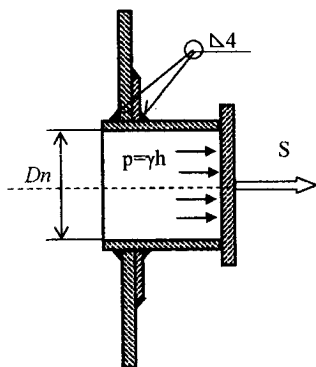


Рис. 7.54.

$$S = p\pi R^2$$

Площа руйнування зварних швів :

$$F = 2\beta K 2\pi R$$

Тоді умова міцності:

$$\tau = \frac{S}{F} = \frac{pR}{4\beta K} \leq [\tau]^*$$

### ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Як класифікуються типові зварні конструкції?
2. Яка технологія виготовлення зварних полотниць?
3. Яка технологія виготовлення конструкцій двотаврового перерізу?
4. Яка технологія перерізу коробчастого типу?
5. В чому полягає розрахунковий контроль опору зварних з'єднань конструкцій балкового типу експлуатаційному навантаженню?
6. Яка технологія виготовлення плоских решітчастих конструкцій?
7. Яка технологія виготовлення просторових решітчастих конструкцій?
8. В чому полягає розрахунковий контроль опору зварних з'єднань конструкцій решітчастого типу експлуатаційному навантаженню?
9. Яка технологія складання та зварювання ємностей?
10. Як класифікуються зварні труби?
11. Яка технологія виготовлення зварних труб малого діаметру?
12. Яка технологія виготовлення зварних труб великого діаметру?
13. Які способи зварювання стиків трубопроводів?
14. В чому полягає розрахунковий контроль опору зварних з'єднань конструкцій оболонкового типу експлуатаційному навантаженню?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Чертов І. М. Зварні конструкції [Текст] : підруч. для вузів. / І. М. Чертов. - К.: Арістей, 2006.-376 с. – Бібліогр.: с. 375. – 500пр.- ISBN 966-8458-88-5
2. Чертов І. М. Зварні конструкції [Текст] : текст лекцій. / І. М. Чертов. - К.: НТУУ «КПІ», 2011.-188 с. – Бібліогр.: с. 176. – 100пр.- ISBN 978-966-622-379-4
3. Чертов І. М. Зварні конструкції. Дистанційний курс.,2010. – <http://moodle.udek.ntu-kpi.kiev.ua>
4. Чертов І. М. Зварні конструкції (для самостійної роботи студентів) : навч. посіб. / І. М. Чертов. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 140с. – Бібліогр. : с. 138 – 139. – 100пр. ISBN 978 – 966 – 622 – 490 -6
5. Касаткин Б.С. Напряжения и деформации при сварке. [Текст]/ Касаткин Б.С., Прохоренко В.М., Чертов И.М. – К.: – Выща шк., 1987. – 246 с.- Бібліогр.: с. 242. – 5000екз
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Проектування зварних конструкцій» для студентів напряму 0923 «ЗВАРЮВАННЯ» спец. 7.092301 «Технологія та устаткування зварювання»/ Уклад.: І.М. Чертов, Ю.І. Охай. – К.: ІВЦ ”Політехніка”, 2002.- 32 с.
7. Завдання та методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Проектування зварних конструкцій” для студентів напряму 0923 «ЗВАРЮВАННЯ» спец. 7.092301 «Технологія та устаткування зварювання»/ Уклад.: І.М. Чертов, Ю.І. Охай. – К.: ІВЦ ”Політехніка”, 2002. – 40 с.
8. Карпенко А. С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч.посібник. – К. : Арістей, 2005. – 268с. ISBN 966 – 8458 – 58 – 3
9. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г. О. Кривов, Е. О. Зворикін. – К. :КВІЦ. 2012. – 896с. : іл. ISBN 978 – 966 – 2003 – 75 -8
10. Виноградов И. М. Основы сварочного производства [Текст]: учеб. пособие для студ.высш. учеб заведений / В. М. Виноградов, А.А. Черепяхин,

Н.Ф. Шпунькин. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 272 с. – Библиогр.: с. 221-222.-3000 экз.- ISBN 978 – 5 -7695-3929-9.

11. Лукьянов В.Ф. Изготовление сварных конструкций в заводских условиях [Текст]: учебник / В. Ф. Лукьянов, В. Я. Харченко, Ю. Г. Людомирский. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 315 с.: ил.; 20см. – Библиогр.: с. 343-344 (33 назв). – 3000 экз. - .- ISBN 978 – 5 – 222 – 14582 – 1.

12. Маслов Б. Г. Производство сварных конструкций [Текст]: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Б. Г. Маслов, А. П. Выборнов. - [3-е...издперераб.]. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.: ил.; 21,5см – Библиогр.: с. 281-282.-2000 экз.- ISBN 978 – 5 -7695-7370-5

13. Тамаркин М. А. Технология сборочного производства [Текст]: учеб. пособие / М. А. Тамаркин, И. В. Давыдова, Э.Э. Тищенко. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 270с.: ил.; 20см. – Библиогр.: с. 267. – 3000 экз. - .- ISBN 978 – 222 – 12211 – 2.

Навчальне видання

**Чертов Андрій Ігорович**  
**Чертов Ігор Маркович**

**Технологічне супроводження  
виготовлення зварних  
металоконструкцій**

Навчальний посібник

*В авторській редакції  
Надруковано з оригінал-макета замовника*

Темплан 2015 р., поз. 1-2-009

Підп. до друку 16.03.2015. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір офс. Гарнітура Times.  
Спосіб друку – ризографія. Ум. друк. арк. 19,76. Обл.-вид. арк. 32,86. Наклад 100 пр. Зам. № 15-41.

---

НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка»  
Свідоцтво ДК № 1665 від 28.01.2004 р.  
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15  
тел. (44) 406-81-78