



НАВЧАЛЬНО-ПРАКТИЧНИЙ ПОСІБНИК ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

РАДКЕВИЧ А. В.,
ДАВИДОВ І. І.,
КОВТУН-ГОРБАЧОВА Т. А.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ІННІ «ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»

РАДКЕВИЧ А. В.

ДАВИДОВ І. І.

КОВТУН-ГОРБАЧОВА Т. А.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-ПРАКТИЧНИЙ ПОСІБНИК

ДНІПРО
2025

Рекомендовано Радою якості освітньої діяльності УДУНТ
Протокол № 2 від 21 жовтня 2025 року

Авторський колектив:

А. В. РАДКЕВИЧ Доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології будівельного виробництва та геодезії ННІ ДІПТ УДУНТ

І. І. ДАВИДОВ Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій ННІ ПДАБА УДУНТ

Т. А. КОВТУН-ГОРБАЧОВА Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій ННІ ПДАБА УДУНТ

Р 12 Радкевич, А. В. Технологія виготовлення металевих конструкцій : навч.-практ. посіб. / А. В. Радкевич, І. І. Давидов, Т. А. Ковтун-Горбачова ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 208 с.

ISBN 978-617-8314-80-4 (PDF)

Навчально-практичний посібник підготовлено в рамках освітньо-наукової діяльності закладів вищої освіти України з метою удосконалення професійної підготовки майбутніх фахівців будівельної та інженерно-технічної галузей.

У посібнику систематизовано матеріал щодо технологічних процесів виготовлення металевих конструкцій: від підготовки та розробки технічної і технологічної документації до виготовлення деталей, складання та зварювання конструкцій, організації болтових з'єднань, а також методів захисту металевих конструкцій від корозії. Особлива увага приділена механічним і технологічним властивостям будівельних сталей, хімічному складу, сортаменту виробів, зварювальним матеріалам та сучасним нормативним вимогам (ДБН, ДСТУ, Єврокоди).

Посібник призначений для науковців, викладачів, аспірантів, магістрів і бакалаврів спеціальностей G19 (192) «Будівництво та цивільна інженерія», а також для слухачів освітніх програм із напрямів «Проектування металоконструкцій», «Технологія будівельних виробів і конструкцій», «Будівельне виробництво», «Зварювальне виробництво».

Матеріали навчально-практичного посібника рекомендовано використовувати під час вивчення дисциплін «Технологія виготовлення металевих конструкцій», «Зварювальне виробництво у будівництві», «Технологія будівельного виробництва», «Захист металевих конструкцій від корозії» та споріднених курсів інженерно-будівельного та машинобудівного напрямів. Затверджено до видання Вченою радою ННІ ПДАБА (протокол № 3 від 23.10.2025).

УДК 624.014.2:624.078(075.8)



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons
[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)
(«Із зазначенням авторства - Некомерційна - Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ	6
1.1. Еволюція технологій виготовлення сталевих конструкцій у будівництві	7
1.2. Механічні й технологічні властивості будівельних сталей	8
1.3. Хімічний склад сталей і теплофізичні константи	13
1.4. Сортамент виробів зі сталі.....	26
1.5. Зварювальні матеріали призначаються відповідно до вимог ДБН В.2.6-198-2014.....	39
1.6. Болтові з'єднання.....	47
Контрольні запитання по розділу 1	57
РОЗДІЛ 2. ПІДГОТОВКА І РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.....	60
2.1. Оформлення замовлень.....	61
2.2. Розробка технічної документації	63
2.3. Розробка технологічної документації.....	78
2.4. Вхідний контроль, збереження металопрокату, зварювальних, лакофарбових матеріалів і металовиробів	90
2.5. Підготовка металопрокату, зварювальних і лакофарбових матеріалів	94
Контрольні запитання по розділу 2.....	99
РОЗДІЛ 3. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ	101
3.1. Технологічна структура та організація виготовлення сталевих конструкцій	102
3.2. Правка металу	105
3.3. Нанесення на металеву заготовку осей, контурів, монтажних отворів та інших позначок.....	109

3.4. Механічне різання	111
3.5. Кисневе різання сталі	116
3.6. Плазмове різання сталі	122
3.7. Лазерне різання металевих конструкцій	125
3.8. Утворення отворів	128
3.9. Стругання і фрезерування.....	133
3.10. Холодне й гаряче гнуття	135
Контрольні запитання по розділу 3.....	140
РОЗДІЛ 4. СКЛАДАННЯ І ЗВАРЮВАННЯ	
МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ	142
4.1. Загальні положення	143
4.2.Виготовлення зварних двотаврових стрижнів.....	146
4.3. Виготовлення зварних підкранових балок.....	150
4.4. Виготовлення наскрізних одноступінчастих колон.....	152
4.5. Виготовлення ферм	154
4.6. Виготовлення листових конструкцій.....	159
4.7. Виготовлення наскрізних трубчастих конструкцій радіо - і телеопор.....	163
4.8. Виготовлення горизонтальних резервуарів	165
4.9. Виготовлення вертикальних сталевих резервуарів.....	167
Контрольні запитання по розділу 4.....	172
РОЗДІЛ 5. ЗАХИСТ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ	
ВІД КОРОЗІЇ.....	175
5.1. Очищення металу	176
5.2. Захист металевих конструкцій лакофарбовими матеріалами	179
5.3. Лакофарбові матеріали.....	184
5.4. Захист конструкцій металевими покриттями	189
Контрольні запитання по розділу 5.....	195
ДОДАТОК А. Приклади креслень КМД.....	197
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	201

Вступ

Актуальність теми виготовлення та захисту металевих конструкцій зумовлена зростаючими вимогами до надійності, довговічності та ефективності будівельного виробництва в умовах сучасної відбудови України. Металеві конструкції посідають провідне місце у промисловому та цивільному будівництві завдяки поєднанню високих механічних властивостей сталі, можливості індустріалізації процесів виготовлення та монтажу, а також широкому спектру конструктивних рішень.

Навчально-практичний посібник розроблено в межах освітньо-наукової діяльності Науково-навчального інституту Придніпровської державної академії будівництва та архітектури Українського державного університету науки і технологій.

У посібнику систематизовано відомості про технологічні процеси виготовлення металевих конструкцій: властивості та сортамент сталей, зварювальні матеріали, болтові з'єднання, підготовку й розробку технічної та технологічної документації, операції механічної та термічної обробки, складання, зварювання та захист конструкцій від корозії, організації контролю якості та транспортування готових виробів.

Важливою особливістю посібника є інтеграція сучасної нормативної бази: національних стандартів (ДБН, ДСТУ) та положень гармонізованих європейських норм Eurocode EN 1993, що впроваджуються у практику будівельного виробництва України. Це дозволяє поєднати вітчизняний досвід із сучасними міжнародними вимогами у сфері проєктування та виготовлення сталевих конструкцій.

Посібник орієнтовано на студентів бакалаврату та магістратури, аспірантів, викладачів, а також інженерів-проєктувальників. Матеріали сприятимуть формуванню професійних компетентностей у сфері технології виготовлення, контролю та захисту металевих конструкцій, забезпечуючи підготовку фахівців, здатних працювати відповідно до сучасних національних і європейських стандартів.

Художнє оформлення обкладинки та титульних сторінок розділів виконано з використанням технологій штучного інтелекту. Ілюстрації в тексті мають довідковий та навчальний характер. Технічні рисунки, схеми та діаграми, наведені в посібнику, створені на основі відкритих джерел і узагальнених матеріалів з адаптацією до розділів посібника, а також із нормативної та навчально-довідкової літератури [1–61] і відтворюють загальновідомі конструктивні та технологічні рішення.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ



1.1. Еволюція технологій виготовлення сталевих конструкцій у будівництві

Сталеві конструкції виготовляються у вигляді окремих елементів, які потім транспортуються на будівельний майданчик для складання у готову будівлю чи споруду. Заводське або майстерне виробництво дозволяє перетворити будівельний процес у поточний монтаж із великорозмірних елементів, що значно скорочує терміни зведення об'єкта, зменшує залежність від погодних умов та підвищує якість спорудження. Такий підхід також дозволяє забезпечити контроль геометричних розмірів та якості елементів ще до їхньої відправки на майданчик, що особливо важливо для складних і великих об'єктів.

Історично, наприкінці XIX - на початку XX століття, з'єднання деталей у відповідну марку здійснювалося за допомогою клепок. Процес клепання вимагав високої кваліфікації робітників і залежав від температури навколишнього середовища; при низьких температурах роботу доводилося припиняти, оскільки матеріал не забезпечував належного з'єднання. Крім того, було складно гарантувати однакові зусилля розтягу у всіх клепках, що впливало на міцність та надійність конструктивного елементу.

У 1940-х роках відомий український вчений Є.О. Патон розробив метод електрозварювання, який дозволив створювати більш надійні та рівномірні з'єднання металевих деталей. Це стало революційним кроком у виробництві сталевих конструкцій, оскільки зварювання забезпечує високу міцність, точність геометрії та зменшує трудомісткість процесу у порівнянні з клепанням.

На сьогодні основним способом з'єднання сталевих конструкцій є електрозварювання. Для конструкцій, що сприймають великі динамічні або змінні навантаження, застосовують високоміцні болти, які виконують функцію клепок, поєднуючи механічну надійність із технологічною простотою монтажу. Використання болтів також дозволяє зменшити час монтажу великих конструкцій, забезпечує можливість демонтажу та заміни окремих елементів, а також підвищує безпеку об'єктів під час експлуатації.

Відповідно до ДБН В.2.6-198-2014 [1], усі сталеві конструкції поділяються на чотири групи залежно від призначення та умов експлуатації. Для кожної групи нормативи встановлюють конкретний клас сталі, відповідні марки електродів і зварювальних матеріалів, а також рекомендовані способи з'єднання та контролю якості. Це дозволяє забезпечити відповідність конструкцій вимогам міцності, стійкості та довговічності, а також підвищує рівень стандартизації виробництва.

Крім того, сучасне виробництво сталевих конструкцій активно застосовує автоматизацію та механізацію процесів, зокрема роботизоване зварювання, лазерну різку та обробку деталей на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). Це підвищує точність, знижує відходи матеріалу та дозволяє виготовляти конструкції складної форми, які раніше були неможливі для промислового виробництва.

Таким чином, розвиток технологій виготовлення сталевих конструкцій пройшов шлях від ручного kleпання до автоматизованого зварювання та складальної механізації, що забезпечує високу ефективність, надійність і швидкість будівництва сучасних промислових будівель та інженерних споруд.

1.2. Механічні й технологічні властивості будівельних сталей

Основними матеріалами для сталевих будівельних конструкцій є сталі, які об'єднуються під загальною назвою «будівельні сталі». Сталь - це сплав заліза з вуглецем (C) масова частка, якого для будівельних сталей не повинна перевищувати 0,22 %. Низька масова частка вуглецю дозволяє отримати матеріал, структура якого має високу міцність, пластичність і зварюваність.

До **фізичних властивостей** відносяться:

- температура плавлення - це температура, при якій метал переходить з твердого до рідинного стану;
- теплопровідність - здатність матеріалу переносити тепло від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих;
- густина - відношення маси однорідного матеріалу до одиниці його об'єму;
- лінійне розширення, яке визначаються коефіцієнтами лінійного та об'ємного

розширення;

- електропровідність - здатність матеріалу проводити електричний струм без втрат на виділення тепла;

- магнітність - здатність намагнічуватись.

Так для прокату і сталевих виливків густина (ρ) дорівнює 7850 кг/м^3 , коефіцієнт лінійного розширення $\alpha, ^\circ\text{C}^{-1} = 0,12 \times 10^{-4}$, модуль пружності прокатної сталі та сталевих виливків $E = 2,06 \times 10^5 \text{ Н/мм}^2$, а модуль зсуву - $G = 0,79 \times 10^5 \text{ (Н/мм}^2\text{)}$, коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона) $\nu = 0,3$.

Хімічні властивості характеризують взаємодію різних речовин на метали і пов'язані з можливістю протидіяти їх впливу на властивості сталі.

Серед хімічних властивостей, для будівельних конструкцій, найбільше значення має:

корозійна стійкість - це здатність матеріалу чинити опір різним хімічним впливам і не руйнуватись в наслідок дії зовнішнього середовища на протязі всього періоду експлуатації. Так за рекомендаціями ДБН В.2.6-198-2014 «Сталеві конструкції» [1] у проєкті слід використовувати конструктивні рішення, що підвищують корозійну стійкість. Досягнути цих вимог можна за рахунок раціонального вибору сталі, концентрації матеріалу в перерізах, вибору геометричної форми конструкції в цілому, та її елементів зокрема, а також їх розташуванні у просторі, опору внутрішнім факторам корозії (місцевій, пітінговій, контактній, щілинній корозії, корозійному розтріскуванню, міжкристалевій корозії, корозійній утомленості тощо).

За показниками корозійної стійкості сталі поділяються на три групи:

- I група - сталі звичайної корозійної стійкості, а саме маловуглецеві сталі марки Ст3пс та низьколеговані сталі марок 09Г2С, 10Г2С, 15Г2СФ, 18Гпс;
- II група - сталі пониженої корозійної стійкості марок 09Г2, 14Г2, 14Г2СМФР для середньо, високо та сильно агресивного середовищ;
- III група - атмосферостійкі (економно леговані) сталі марок 10ХДП, 10ХНДП, 12ХГДАФ для слабо та сильно агресивного середовищ.

На розробку технологічного процесу виготовлення металевих конструкцій великий вплив мають технологічні властивості сталі, що, у свою чергу, змінюються при виконанні технологічних операцій.

Технологічні властивості сталі умовно можна підрозділити на первинні і вторинні. До первинних відносять властивості, з якими металопрокат надходить з металургійних комбінатів на заводи та підприємства, які виготовляють металоконструкцій. Вторинними вважають властивості сталі, які придбані металом після виконання однієї чи декількох технологічних операцій. Так, після операцій виправлення, гнуття чи вальцювання, які пов'язаних із пластичними деформаціями, метал здобуває наклеп; після виконання операцій кисневого різання на кромках деталей утворюються зони загартування або зменшення міцності.

Процес виготовлення сталевих конструкцій складається з ряду технологічних операцій, різних за способом впливу на метал (пружно-пластичне деформування, зняття стружки, нагрівання і швидке охолодження) і це ускладнює розробку технологічних процесів.

Проектування технологічного процесу ускладнюються ще і тим, що в будівельних конструкціях застосовують сталі багатьох марок, які виробляють на основі різних систем легування і способів виробництва і у зв'язку з чим вони мають велику кількість технологічних властивостей. Тільки повні відомості про технологічні властивості сталі дозволяють призначити оптимальні режими, підвищити надійність процесів, зменшити час на проведення операцій, підвищити якість конструкцій.

Для зручності вивчення технологічні властивості сталей їх можна умовно підрозділити на чотири групи: механічні; хімічний склад; властивості, обумовлені умовами постачання; теплофізичні константи.

Механічні властивості сталі, що впливають на технологію виготовлення, характеризуються тимчасовим опором сталі σ_b , та межею текучості σ_T ; відносним подовженням δ ; твердістю H_B і видом діаграм розтягування сталевих зразків. Велика складність витримування постійного хімічного складу сталі при виготовленні мета-

лопрокату призводить до того, що у різних прокатних виробів з однієї і тієї ж марки сталі значення σ_B , σ_T , δ і H_B мають істотні відхилення (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Середні значення і стандарти механічних властивостей
деяких будівельних сталей

Сталь	σ_y , МПа		σ_T , МПа		δ , %		H_B	
	σ_B	σ	σ_T	σ	δ	σ	H_B	σ
ВСт3кп	421	14,1	252	12,0	27,8	1,84	120	10
ВСт3сп	444	22,3	279	18,9	31,15	3,32	120	10
10Г2С1	550	24,9	388	18,6	28,8	3,13	155	15
15ХСНД	555	30,8	394	25,5	25,9	3,15	155	15
16Г2АФ	650	32,6	490	29,0	24,3	2,77	190	20
10ХСНД	602	40,7	454	43,3	24,8	3,57	166	18
12Г2СМФ	850	79,5	759	86,5	16,4	2,38	225	25
14Х2ГМР	791	71,9	671	43,1	16,3	2,49	225	25

П р и м і т к а. Досліджувалися властивості листової сталі товщиною 16...20 мм. Ці дані можна використовувати і при розрахунку технологічних процесів обробки листової сталі інших товщин і будь-якого фасонного прокату.

При виготовленні та під час виконання монтажних робіт метал конструкцій обробляють у широкому діапазоні температур: від -40°C (при монтажі в північних районах країни) до $1040...1200^{\circ}\text{C}$ (при кисневому газовому різанні, ковальських і зварювальних роботах).

Механічні властивості сталі в цьому діапазоні температур змінюються дуже широко. З підвищенням температури модуль пружності E знижується, а механічні характеристики (σ_B , σ_T , δ) змінюються за складним законом. Тимчасовий опір і межа текучості сталі при нагріванні спочатку знижуються, а потім (у діапазоні температур $100...300^{\circ}\text{C}$) підвищуються але при більш високому рівні температури знову змен-

шуються. При температурі 500...650°C значення σ_b і σ_T практично наближаються до нуля. Графік відносного подовження носить зворотний характер.

Таким чином, у діапазоні температур 100...300°C відбувається зростання механічної міцності сталі та одночасне зниження її пластичності. Сталь стає схильною до крихкого руйнування.

Фізико-механічні характеристики сталі (густина, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона) в Єврокод 3 (EN 1993 - Eurocode 3) наведені як базові константи для розрахунків та відповідають ДБН [1]. EN 1993-1-1 [2] містять загальні положення щодо вибору матеріалу.

Єврокод встановлює класи сталей із гарантованими значеннями межі текучості (f_y) та тимчасового опору (f_u). Наприклад, S235 - $f_y = 235$ МПа, S275 - $f_y = 275$ МПа, S355 - $f_y = 355$ МПа, S460 - $f_y = 460$ МПа для товщини елемента до 40 мм тощо. Для більш товстих перерізів значення f_u може зменшуватися згідно з таблицями стандарту.

Єврокод вводить поняття класифікації перерізів (Class 1-4), що враховує здатність елементів працювати у пружнопластичній або лише пружній стадії до втрати стійкості:

Клас 1 (пластичні перерізи) - здатні розвивати повну пластичну моментну несучу здатність із достатнім обертанням для перерозподілу зусиль.

Клас 2 (компактні перерізи) - досягають пластичного моменту, але з обмеженим обертанням.

Клас 3 (напівкомпактні перерізи) - досягають лише межі текучості у волокні, але не повного пластичного моменту.

Клас 4 (тонкостінні перерізи) - локальна втрата стійкості настає ще до досягнення f_y , і в розрахунках застосовують знижені ефективні характеристики (effective cross-section).

Таким чином, Єврокод (Eurocode 3) задає не лише матеріальні характеристики сталі, але й регламентує правила застосування різних класів матеріалів та перерізів у залежності від їхньої стійкості. Це дозволяє конструкторам більш гнучко підходити

до вибору оптимального перерізу й оцінки реальної несучої здатності елементів.

Питання корозійної стійкості та класифікації середовищ (вологість, агресивність, зовнішнє/внутрішнє середовище) розглядається у EN 1993-1-9 [10] та ще більш системно у EN 1993-1-10 [11], а особливо - в EN 1993-1-4 [5] та нормативних документах EN ISO 12944 [20,46] (захист від корозії фарбуванням).

1.3. Хімічний склад сталей і теплофізичні константи

Найважливішою технологічною характеристикою сталі є її хімічний склад. Саме він визначає технологію термічного різання сталі і її зварювання. З цих позицій хімічний склад зручно оцінювати за еквівалентом вуглецю C_e . Еквівалент вуглецю C_e визначають за рядом формул. Найбільш розповсюдженою є наступна, %:

$$C_e = \frac{C}{1} + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + \frac{V}{5}. \quad (1.1)$$

де $C, Mn, Cr, V, Nb, Ni, Cu, Si, Mo, P$ - масові частки вуглецю, марганцю, хрому, ванадію, ніобію, нікелю, міді, кремнію, молібдену і фосфору, відповідно, до 5%. Граничні відхилення за хімічним складом у готовому прокаті визначається за ГОСТ 27772-88.

Особливо необхідно звернути увагу на вимогу будівельних норм [1], що до кількості фосфору і сірки. Так у разі термічної обробки сталі, призначеної подрібнити зерно, вміст сірки повинен складати не більше за 0,025%, а сумарний вміст сірки і фосфору не повинен перевищувати 0,02%.

Вимоги до хімічного складу низьколегованої сталі для сталевих конструкцій наведена в таблиці 1.2.

У чисельнику членів правої частини формули (1.1) - відомі символи компонентів, що входять до складу сталі. У знаменнику - коефіцієнти, що показують вплив компонента на рівень загартування сталі при охолодженні після нагрівання. Для обчислення C_e замість символів компонентів слід підставити їхній зміст у сталі у відсотках за даними сертифікатів або ГОСТ (ДСТУ).

Таблиця 1.2

Вимоги до хімічного складу низьколегованої сталі для
сталевих конструкцій

Конструкції будівель і споруд при границі текучості сталі, Н/мм ²	Масова частка елементів, %, не більше			Вуглецевий еквівалент
	вуглець	фосфор	сірка	C _е , не більше
до 290	0,22	0,040	0,050	
понад 290 до 390	0,15	0,035	0,010	0,45
понад 390 до 490	0,15	0,020	0,010	0,46
понад 490 до 590	0,15	0,015	0,010	0,47
понад 590	0,15	0,010	0,005	0,51

Середні значення коефіцієнта C_е

Ст3кп	Ст3сп	10Г2С1	15ХСНД	16Г2АФ	12Г2СМФ	15ХГ2СМФР
0,204	0,303	0,437	0,467	0,506	0,630	0,830

До теплофізичних констант, що впливають на технологію обробки сталі, належать: температура займання металу, температура плавлення його й окислів. Теплофізичні константи для маловуглецевих і низьколегованих сталей: $t_{\text{зап}}=1350^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{пл}}=1500^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{п.о.}}=1400^{\circ}\text{C}$.

Якщо порівняти з Єврокодами (EN 1993 [2-19], EN 10025 [22-24], EN 10210 [25-26], EN 10219 [27-28]) можна зробити висновки.

Eurocode 3 не наводить безпосередніх обмежень на хімічний склад сталі (як це робить ДБН), а встановлює вимоги до міцності, пластичності, зварюваності і ударної в'язкості. Хімічний склад відсилається до європейських стандартів на сталі (EN 10025, EN 10210, EN 10219 тощо).

Вуглецевий еквівалент (CEV або CET) :

У Європі використовується не один стандарт, а кілька різних формул для оцінки зварюваності:

CET (Carbon Equivalent by IIW) :

$$CET = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{10} + \frac{Ni + Cu}{15} . \quad (1.2)$$

CEV (Carbon Equivalent Value, EN 10025) :

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} . \quad (1.3)$$

Значення $CEV \leq 0,45\%$ вважається допустимим для нормальної зварюваності без попереднього підігріву.

Обмеження на домішки (S, P):

За EN 10025-2:2004 (Hot rolled products of structural steels):

Фосфор (P) $\leq 0,035 \%$.

Сірка (S) $\leq 0,035 \%$.

Для підвищених класів (S355, S460) обмеження жорсткіші:

Фосфор (P) $\leq 0,025 \%$.

Сірка (S) $\leq 0,025 \%$.

Для тонколистових сталей або зварюваних товстостінних профілів іноді $P+S \leq 0,040 \%$ сумарно.

Теплофізичні константи ($t_{\text{зап.}}$, $t_{\text{пл.}}$, $t_{\text{п.о.}}$) - у Єврокодах вони не прописані. Для різання і зварювання EN відсилає до EN 1011 (Welding - Recommendations for welding of metallic materials), де акцент робиться не на температурах займання/плавлення, а на тепловкладення, швидкості охолодження у допустимих режимах.

Тобто у ДБН/ДСТУ - головний акцент на хімічному складі + Се, з чіткими таблицями за межами текучості, а у Єврокодах/EN - акцент на категоріях сталі за міцністю (S235-S460), зварюваність визначається через CEV/CET та обмеження щодо S і P. Хімічний склад задається менш жорстко, але контроль за CEV - обов'язковий.

У маловуглецевих і низьколегованих сталей температура займання нижче температури плавлення. Це дозволяє застосовувати для їхнього різання спосіб, заснований на згорянні металу в струмені кисню (кисневе різання).

Прокат з багатьох марок сталі підвищеної і високої міцності на металургійних заводах термічно зміцнюють шляхом послідовного застосування двох видів термічної обробки - загартування та відпуску (чи високого відпуску.). При виготовленні деталей з цих сталей варто уникати нагрівання металу вище температури відпуску щоб уникнути втрати міцності, яка придбана металом при термічній обробці. Температура відпуску вказується постачальником металу у сертифікатах.

До **механічних властивостей** належать: міцність, твердість, пластичність, зносостійкість, пружність, ударна в'язкість. Для будівельних конструкцій основними показниками, які дозволяють визначити здатність матеріалу витримувати ті чи інші навантаження і впливів та чинити опір деформаціям від дії цих навантажень і впливів є міцність, пластичність, пружність, ударна в'язкість.

Міцність - здатність матеріалу чинити опір руйнуванню при дії внутрішніх зусиль.

Ця властивість кількісно характеризується межою текучесті (σ_T) і тимчасовим опором руйнуванню (σ_B) за результатами випробувань, які проводяться на стандартних зразках за державними стандартами і технічними умовами.

Пластичність - здатність матеріалу сприймати достатньо великі деформації і зберігати міцність до руйнування.

Пружність - здатність матеріалу відновлювати початкову форму після зняття навантаження.

Кількісно цей параметр визначається відносним видовженням стандартних зразків (δ) та відносним звуженням (ψ).

В'язкість - здатність сталі чинити опір руйнуванню при дії динамічних та знакозмінних навантажень.

Для того, щоб оцінити як матеріал працює у складі конструкції і як чинить опір зовнішнім навантаженням і впливам необхідно поводити випробування на ста-

ндртних зразках в лабораторних умовах. Роботу сталі під навантаженнях, як правило, вивчають при розтягу(зі) зразків. Європейський стандарт, рекомендований до застосування в Україні (через ДСТУ EN 10025). Випробування проводяться на стандартних зразках.

Для порівняння, наприклад американський стандарт на вуглецеву конструкційну сталь ASTM A36/A36M-19 визначає технічні вимоги для вуглецевої конструкційної сталі, що використовується у будівництві та машинобудуванні. Ця сталь застосовується для виготовлення балок, кутників, швелерів, двотаврів, листового металу та інших конструкційних елементів, що експлуатуються за нормальних температур.

Хімічний склад (макс. %): вуглець (C): 0,25-0,29, марганець (Mn): 0,60-1,20, фосфор (P): $\leq 0,04$, сірка (S): $\leq 0,05$, кремній (Si): $\leq 0,40$, мідь (Cu): $\geq 0,20$ (якщо вказано в замовленні).

Механічні властивості: межа текучості: мін. 250 МПа, межа міцності на розрив: 400-550 МПа, відносне подовження (на зразку 200 мм): мін. 20%. Сталь ASTM A36 має добру зварюваність завдяки низькому вмісту вуглецю та інших легуючих елементів.

Форма випуску: гарячекатані плоскі вироби (пластини, листи), двотаврові балки, швелери, кутники, прокат для зварних та болтових конструкцій.

Переваги стандарту ASTM A36: висока зварюваність, хороші механічні властивості при стандартних температурах, універсальність застосування в будівництві та машинобудуванні. Необхідно звернути увагу на те, що стандарт ASTM містить вимоги до розмірів, допусків та механічних властивостей. Він також описує методи випробувань: розтягування, вигин, ударні випробування (опціонально) та включає позначення та маркування, щоб ідентифікувати матеріал на будівельному майданчику або на заводі. Застосування: сталеві конструкції будівель та споруд, балки, колони, ферми, каркаси, загальні металоконструкції та мости.

Відповідно до означених стандартів існує два типи зразків - плоскі зразки, які мають прямокутний переріз або циліндричні зразки переріз яких має круглу форму.

Для циліндричних зразків прийнято наступні співвідношення між довжиною зразка (l_0) і діаметром (d_0): так п'ятикратні зразки мають співвідношення $l_0/d_0 = 5$, а десятикратні зразки - $l_0/d_0 = 10$ (рис. 1.1).

Для прокатних профілів, які входять до складу існуючого сортаменту сталі випробування проводяться на плоских зразках, для яких співвідношення між шириною зразка (b_0) і його довжиною (l_0) повинні призначатися за законом Барба. За цим законом встановлено, що механічні властивості при випробуваннях будуть сумісні, як що їх геометричні параметри призначаються відповідно до залежності: $l_0/\sqrt{A_0} = \text{const}$. Так для п'ятикратних плоских зразків $l_0 = 5,65\sqrt{A_0}$, а для десятикратних плоских зразків $l_0 = 11,3\sqrt{A_0}$.

Випробування проводяться на спеціальних машинах типу FP100/1. Результатом випробування є умовна діаграма розтягу «напруження - відносне видовження», де $\sigma = F/A_0$ - напруження (Па, МПа, кН/см²), а $\delta = (\Delta l : l_0) \times 100\%$ - це відносне видовження (F - зусилля розтягу, A_0 - площа зразка до початку випробувань, l_0 - довжина зразка до початку випробувань, $\Delta l = l - l_0$ - збільшення довжини зразка після розриву), яке характеризує зміну розмірів зразка при дії навантаження. Необхідно звернути увагу на те, що деформації можуть бути пружними і пластичним.

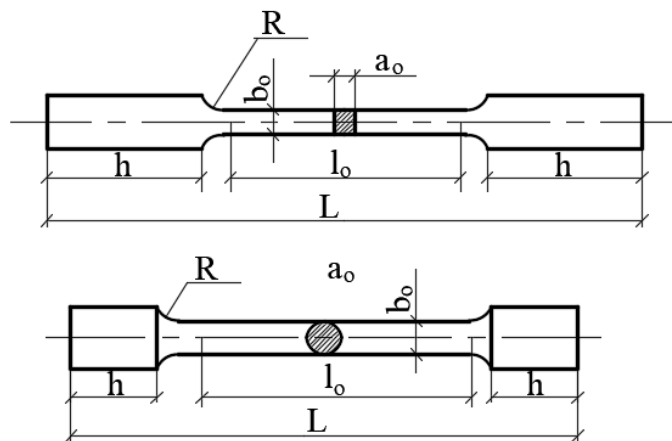


Рис. 1.1. Зразки для проведення випробувань на розтяг:

а) плоскі зразки; б) циліндричні зразки.

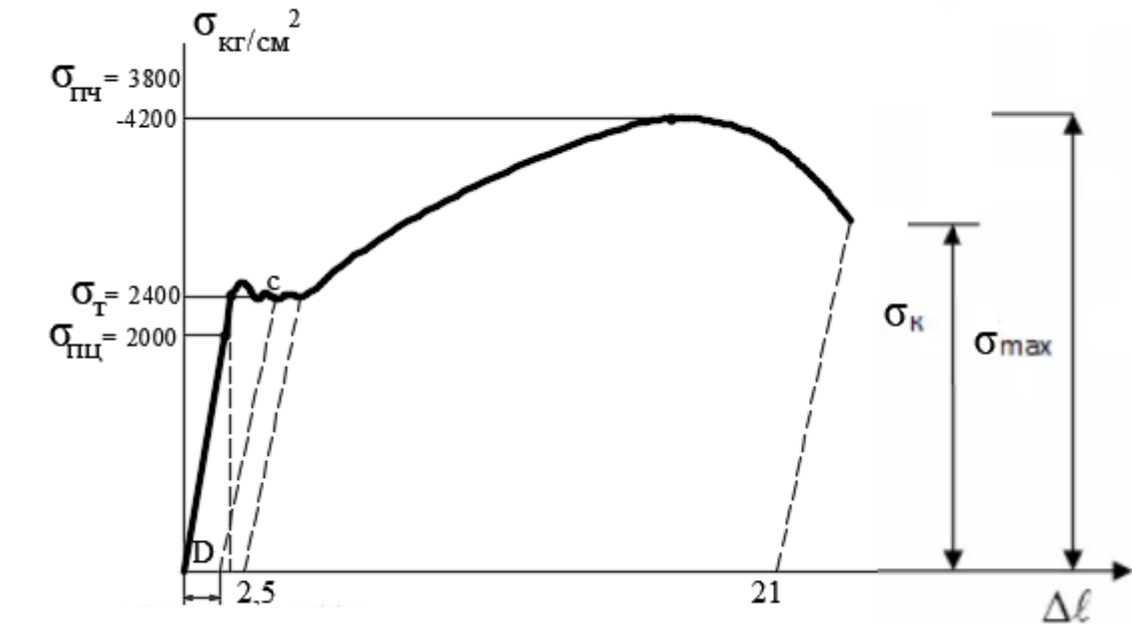
При пружній деформації зразок повертається в початковий стан після зняття навантажень, пластичні - це деформації які залишаються після зняття навантажень. Діаграму вважають умовною, тому що при визначенні напружень площа зразка враховується незмінною під час випробувань (зменшення площі поперечного перерізу зразка під час випробувань не враховується). На рис. 1.2 наведені діаграми розтягу зразків для маловуглецевої (рис. 1.2,а) і низьколегованої (рис. 1.2,б) сталей.

Маловуглецева сталь має межу текучості, яка обумовлена особливостями структури цього типу сталі. У результаті випробувань матеріал проходить п'ять стадій: пружну, пружно-пластичну, стадію текучості матеріалу, стадію само зміцнення і стадію руйнування зразка. **На першій стадії** матеріал працює пружно і після зняття навантажень повертається у первісний стан. Матеріал працює в межах закону Гука ($\sigma = E \times \varepsilon$, де E - модуль пружності сталі). **На другій стадії** - при підвищенні навантажень поступово накопичуються залишкові деформації, які після зняття навантажень залишаються. При спробі подальшого підвищення навантажень відбувається значне збільшення залишкових деформацій без збільшення напружень - цей стан називається текучістю матеріалу, а напруження - межою текучості (σ_T) - це **третя стадія**. Далі матеріал зразка переходить на **четверту стадію** - стадію само зміцнення, коли матеріал зразка починає сприймати навантаження але зростання деформацій зразка попереджає зростання напружень. Після досягнення максимальної точки, яка має назву «тимчасовий опір» (σ_B), відбувається звуження перерізу зразка (відтворення «шийки») - це **п'ята стадія**.

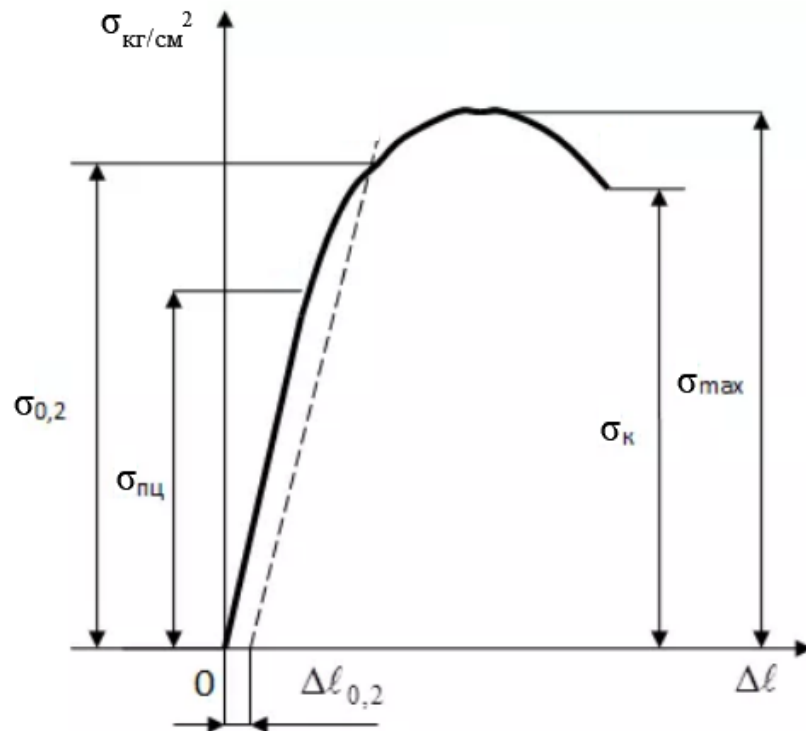
Руйнування зразка відбувається в зоні шийки під кутом 45° за рахунок зсуву. Зсув однієї площини кристала відносно іншої можливий, якщо долаються сили міжатомного з'єднання між всіма атомами по площинам зсуву. Накопичення дислокацій по площині зсуву зменшує розміри цих площин і, як слідство, зменшує зусилля які треба прикласти для зсуву. Напруження, при яких відбувається руйнування нижчі чим σ_B .

Низьколеговані сталі під час випробувань проходять, практично, всі ті ж стадії, що і маловуглецеві сталі (рис. 1.2,б). Різниця лише в тому, що низьколеговані

сталі завдяки своїй структурі не мають границі текучості. У зв'язку з цим за допомогою діаграми розтягу сталі визначають **умовну межу текучості**, яка відповідає напруженням при яких залишкові деформації дорівнюють 0,2 % і мають позначку $\sigma_{0,2}$.



а



б

Рис. 1.2. Діаграма розтягування сталі зразків:
а) маловуглецева сталь; б) низьколегована сталь

Обробка діаграми розтягу матеріалу дозволяє отримати такі механічні характеристики:

- міцність:

$\sigma_{пр}$ - границя пропорційності - це максимальне напруження, при якому не виникають пластичні деформації;

σ_T - межа текучості;

σ_B - тимчасовий опір.

k - коефіцієнт використання міцності сталі $k = \sigma_B / \sigma_T$ (необхідно звернути увагу на те, що наближення коефіцієнта до одиниці підвищує діапазон використання міцності сталі, але зменшується його пластичність, що може підвищити ризик руйнування конструкцій при сприйманні динамічних та знакозмінних навантажень та при низьких температурах).

- пластичність:

відносне видовження при розтягу

E - модуль пружності: $E = 2,1 \times 10^5$ МПа - для сталі; $E = 0,7 \times 10^5$ МПа - для алюмінієвих сплавів.

G - модуль зсуву : $G = 0,8 \times 10^5$ МПа для сталі; $G = 0,228 \times 10^5$ МПа - для алюмінієві сплавів.

Модуль зсуву визначає залежність між навантаженням і деформацією при зсуві ($G = \tau / \nu$ - за законом Гука, де ν - кут, τ - дотичні напруження). Між модулем пружності і модулем зсуву існує залежність $G = E / 2(1 + \mu)$, де μ - коефіцієнт Пуассона.

Ударна в'язкість характеризує здатність матеріалу чинити опір динамічним навантаженням або здатність матеріалу поглинати механічну енергію чи роботу перед руйнуванням при дії динамічних і ударних навантажень. Ударна в'язкість визначається як відношення роботи, яка витрачається на злам зразка W (МДж) до площі його попереднього перерізу A_0 (см²) в місці надрізу. Цей параметр має позначку KC і $KC = W / A_0$ (МДж/см²).

Випробування здійснюють за допомогою маятникового копра. Відповідно до вимог EN 10025-2:2019 [23] - Національний стандарт України, що гармонізований із EN 10025-2.

ASTM A36 / A36M-19 - Американський стандарт на вуглецеву конструкційну сталь.

Дослідження проводяться на стандартних зразках, які можуть мати три типу надрізів (концентраторів напруги) - U, V, T. Вибір типу надрізів залежить від призначення та ступеню відповідальності споруди для виготовлення якої використовується сталь. На рис. 1.3 наведені розміри зразків та типи надрізів.

При позначенні ударної в'язкості до позначки КС додають третю літеру, яка вказує тип надрізу на зразку: **KCU, KCV, KCT**. Крім типу надрізів на величину характеристикних показників ударної в'язкості прокату впливає розрахункова температура навколишнього середовища при якій буде експлуатуватись будівля під час усього терміну експлуатації. Це 0⁰С; -20⁰С; - 40⁰С; Крім цього позначка **KCV** це ударна в'язкість на зразках з V- подібним надрізом (тип II за ГОСТ 9454 - ДСТУ EN ISO 5817 [29] - ДСТУ EN ISO 15614 [30]), наявність індексу **t (KCV^t)** або відсутність індексу в позначках ударної в'язкості регламентує температуру випробувань на ударний згин +20⁰С, **KCA** - ударна в'язкість при температурі +20⁰С з V- подібним надрізом після деформаційного старіння (випробування проводяться на зразках I-го типу). Норми ударної в'язкості KCA змінюються в інтервалі 25 Дж/см² -34 Дж/см². Більш детально кількісні показники ударної в'язкості прокату при розрахунковій температурі $t \geq -40^{\circ}\text{C}$ наведені в Таблиця 1.3.

Порядок призначення групи конструкції визначається за вимогами додатку А.1 [1].

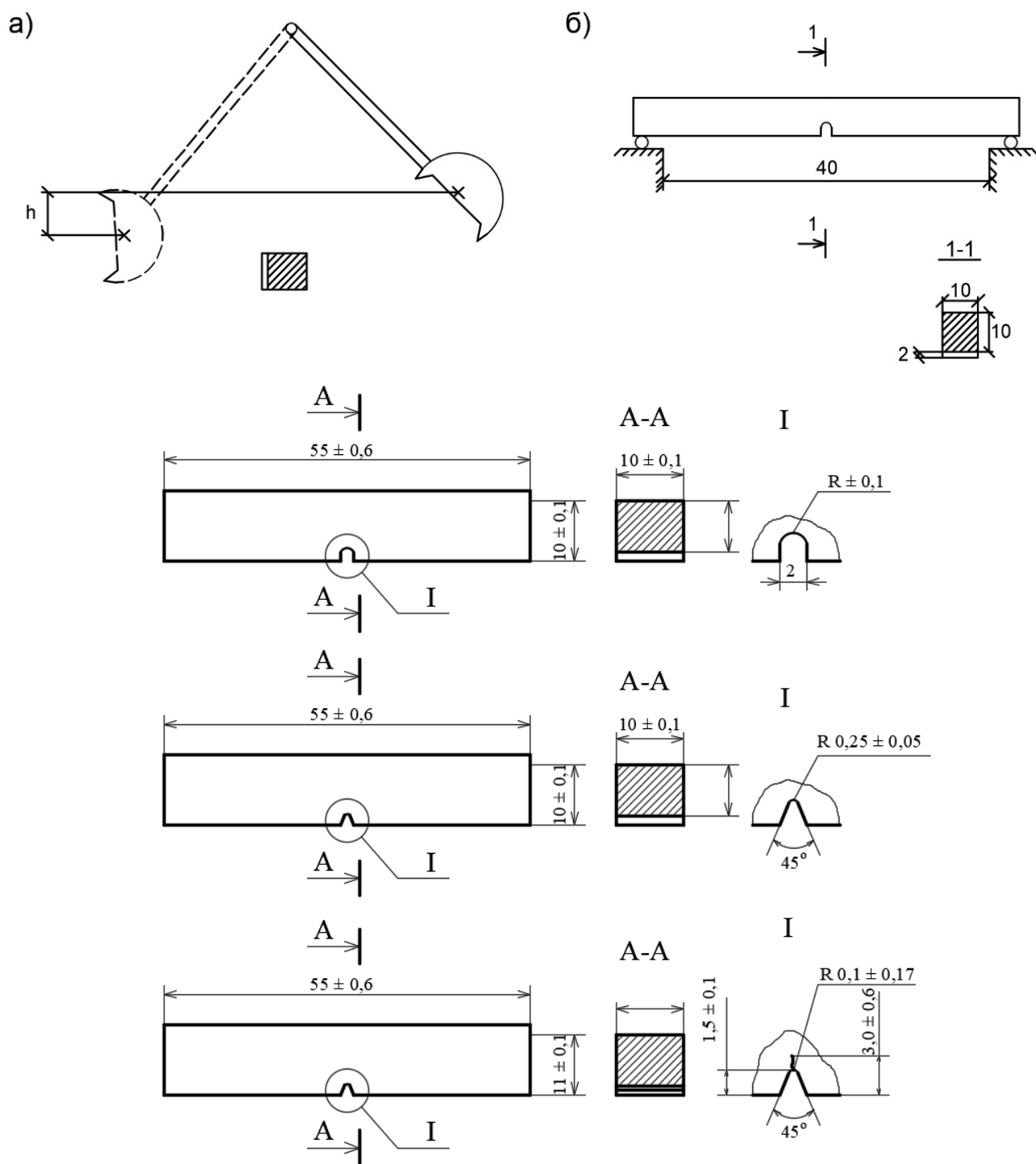


Рис. 1.3. Порядок визначення ударної в'язкості та види зразків для проведення випробування на ударну в'язкість

а) схема роботи маятнікової копри; б) схема розташування зразка

Таблиця 1.3

Кількісні показники ударної в'язкості прокату при розрахунковій температурі $t \geq -40^{\circ}\text{C}$

Група конструкцій	Нормативні показники ударної в'язкості для прокату з межою текучості, Н/мм ²		
	$R_{yn} < 290$	$290 \leq R_{yn} < 390$	$R_{yn} \geq 390$
1	KCA + KCV ⁰	KCV ⁻²⁰	KCV ⁻⁴⁰
2	те саме	те саме	те саме
3	те саме	те саме	те саме

Крихкість - це здатність матеріалу руйнуватись при напруженнях значно менших, ніж границя текучості без появи деформацій в зразках.

Технологічні властивості визначають здатність металу витримувати різні деформації під час обробки чи виготовленні конструкцій та не змінювати своїх властивостей

Технологічні властивості сталі визначають при проведенні випробувань сталі на загин у холодному стані. Зразок сталі повинен витримувати загин на визначений кут без появи тріщин у розтягнутій зоні зразка рис. 1.4.

Зварюваність - здатність металу утворювати зварні з'єднання, зберігаючи свою міцність і пластичність після термічної дії зварки та не утворювати тріщини.

До **експлуатаційних** властивостей належать : жаростійкість - здатність сталі чинити опір окисленню в газовому середовищі при високих температурах;

- жароміцність - здатність сталі зберігати свої властивості при дії високих температур;
- зносостійкість - здатність сталі чинити опір руйнуванню поверхонь деталей при дії сил тертя;
- радіаційна стійкість - здатність сталі протидіяти дії ядерного випромінювання.

Експлуатаційні характеристики визначають тривалість роботи елементів конструкції залежно від зовнішніх умов або характеру навантажень.

Холодостійкість - здатність матеріалу сприймати знакозмінні і динамічні навантаження при дії низьких температур без появи тріщин. Необхідно звернути увагу на те, що зниження температури навколишнього середовища приводить до підвищення міцності сталі але зменшує пластичні властивості.

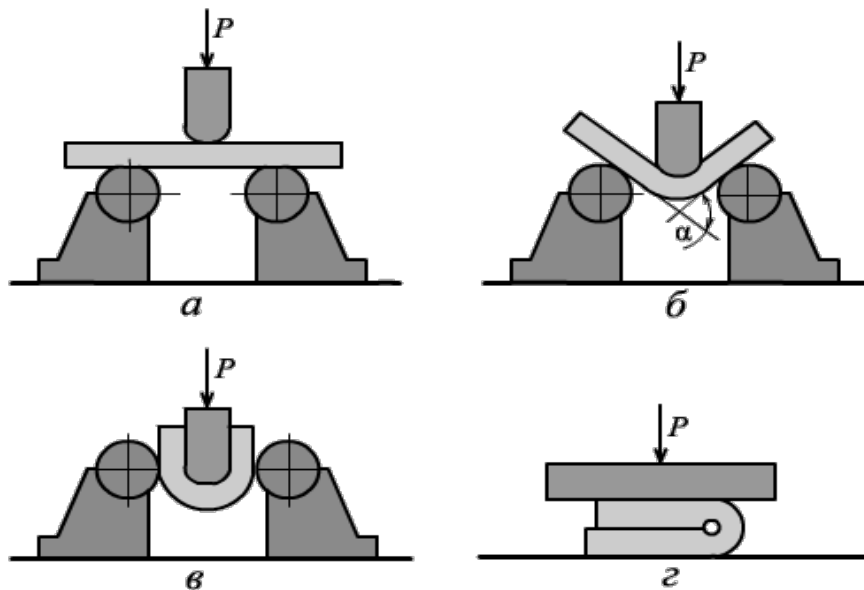


Рис. 1.4. Технологічна проба на згин у холодному стані:

а - зразок до випробування; б - згин до відповідного кута; в - згин до паралельності сторін; г - згин до приєднання сторін

У зв'язку з тим, що властивості сталі в першу чергу залежать від хімічного складу для кожної плавки металу проводять ковшові проби по яким визначають хімічний склад. В тих випадках, коли необхідно визначити хімічний склад готового прокату, лабораторні випробування проводяться по стружці. В першу чергу контролюють масову долю вуглецю, марганцю, кремнію, сірки, фосфору, нікелю, хрому, міді та інших. Результати вказаних вище випробувань відображуються у спеціальному документі «Сертифікат», який супроводжує кожну партію металу.

1.4. Сортамент виробів зі сталі

Металургійні заводи постачають сталь для виготовлення металевих конструкцій у вигляді набору виробів певних профілів. Каталог виробів одного профілю із зазначенням розмірів, допусків і геометричних характеристик називається сортаментом і оформлюється у вигляді державних стандартів (ДСТУ) або відомчих технічних умов (ТУ).

ДБН В.2.6-162:2014 [1] встановлює основні вимоги до виготовлення і застосування сталевих конструкцій в Україні.

ДСТУ EN 1993-1-1 [2] регламентує проєктування сталевих конструкцій та використання сортаменту профілів.

ДСТУ EN 10025 [22-24], ДСТУ EN 10210 [25-26] встановлює вимоги до гарячекатаних сталевих профілів.

ДСТУ EN 10219 [27-28] - нормативи для холодногнутих профілів.

Сортаментом прокату називають весь набір профілів, які використовуються при виготовленні конструкцій, а самі окремі профілі - первинними елементами. Основний спосіб виробництва сталевих профілів - гаряча прокатка на станах металургійних заводів. Такі профілі називають гарячекатаний. Широке поширення отримав також спосіб холодного формування виробів - гнуті профілі. Вони поставляються деякими металургійними заводами або виготовляються на заводі металевих конструкцій (останні випускають і зварні профілі).

Економічність будь-якого прокатного профілю залежить від його форми і градації профілів в сортаменті.

Перший вітчизняний сортамент гарячекатаних профілів був розроблений в 1910. Сучасний сортамент відрізняється від початкового і постійно вдосконалюється.

Гарячекатані профілі випускаються по більш ніж 30 каталогах. Нижче наведена коротка характеристика найбільш поширених профілів, які застосовуються при виготовленні металевих конструкцій.

Листовий прокат (див. рис. 1.5).

Товстолистова сталь.

Українські стандарти: товщина: 4-160 мм, ширина: 700-3800 мм, призначення: конструкційне застосування в несучих елементах.

Європейські стандарти (EN 10025 / EN 10130): товщина: аналогічно 3-200 мм (EN 10025-2: сталь S235-S355), ширина: до 3000-4000 мм, типи: гарячекатаний конструкційний прокат (S235, S275, S355). Призначення: балки, колони, обшивки, котли, суднобудування.

Відмінності - товщина та ширина співпадають у більшості випадків. Європейські стандарти більше деталізують марку сталі за механічними властивостями.

Універсальна сталь.

Українські стандарти: товщина: 6-160 мм, ширина: 160-1050 мм. Особливість: прокатні бічні кромки - зменшення трудомісткості виготовлення.

Європейські стандарти: товщина: 5-160 мм, ширина: 100-1250 мм. Призначення: конструкційні профілі, балки, каркаси. Кромки: стандартно обробляються, але «прокатні кромки» не завжди згадуються у EN.

Відмінності - EN приділяє більше уваги контролю механічних властивостей і допускам на товщину та площину. Український стандарт робить акцент на технологічних особливостях кромки для полегшення складання конструкцій.

Тонколистова сталь.

Українські стандарти: товщина: 0,5-4 мм, ширина: 500-3000 мм. Використання: гнуті профілі, настили, гнуто-зварні елементи.

Європейські стандарти EN 10130, EN 10131 [34,35]: товщина: 0,35-3 мм (холоднокатаний), ширина: 500-2000 мм. Призначення: холоднокатаний лист, гнуті профілі, облицювання, настили.

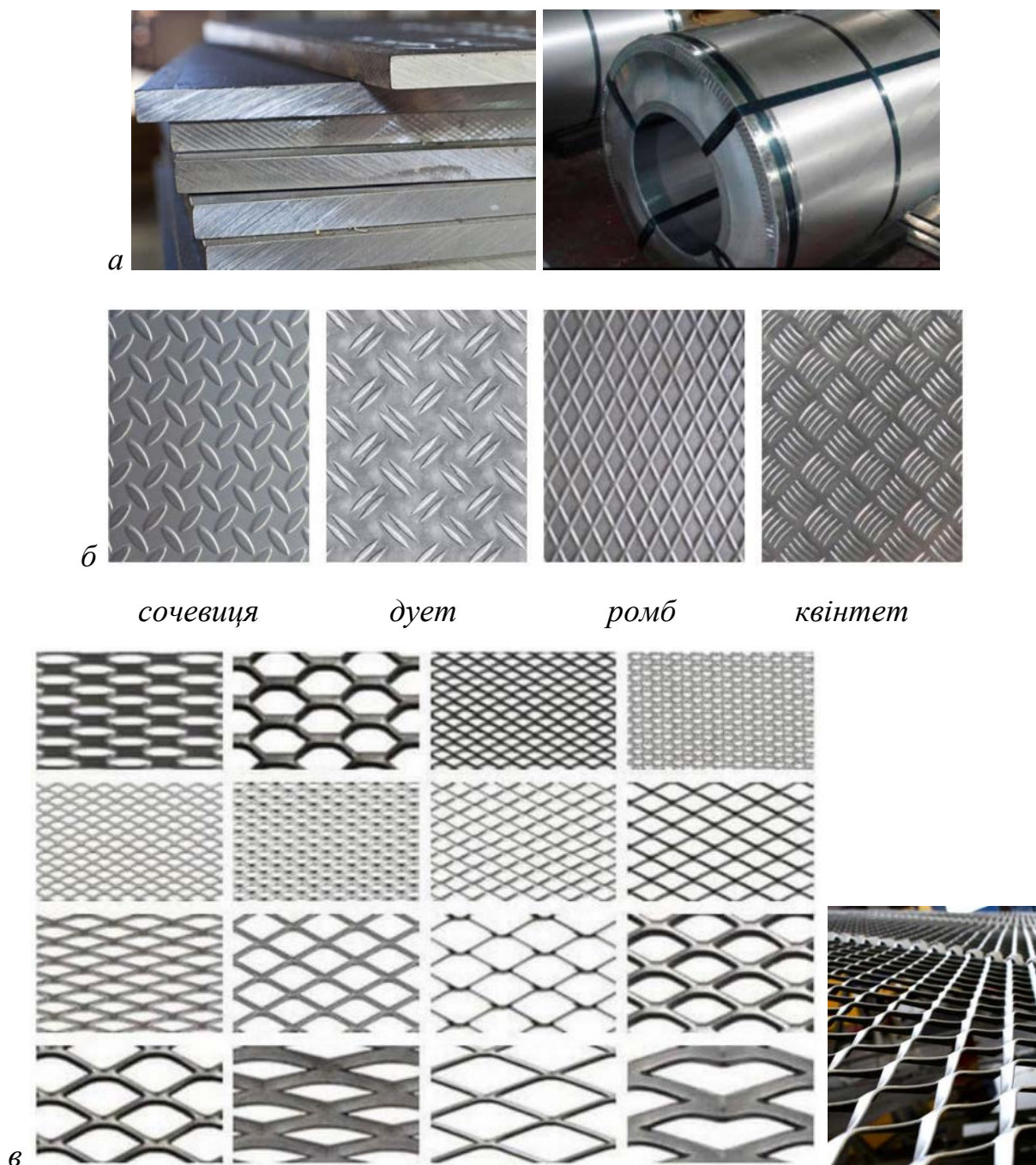


Рис.1.5. Листовий прокат (а), рифлена сталь (б) та просічно-витяжна сталь (в)

Українські норми допускають трохи більші значення товщини та ширини. Європейські стандарти EN більш жорсткі щодо допусків максимально допустимих відхилень від ідеальної площини, а також вимагають вищої точності в частині механічних властивостей матеріалів.

Спеціальні види листового прокату.

Українські стандарти: рифлена сталь, просіяно-витяжні листи. Застосування: майданчики, сходи, настили.

Європейські стандарти EN 10051, EN 10143, EN 10131 [36-38]: рифлені / перфоровані листи: EN 10051 (лист із підвищеною несучою здатністю).

Витяжні - тиснені листи: застосовуються для сходів і майданчиків (EN 10143 - профільовані плити). Стандарти задають розміри та висоти рифлення, товщину та механічні властивості.

Відмінності - Українські стандарти описують призначення та технологічну зручність. Європейські стандарти детально регламентують розміри рифлень, допуски та мінімальні механічні характеристики.

В Україні класифікація листового прокату більше орієнтована на технологію виробництва та розмірні характеристики. Європейські стандарти деталізують механічні властивості, допуски та контроль якості, а також регламентують застосування для конкретних конструктивних елементів.

Кутовий профіль: а) кутники сталеві гарячекатані рівнополочкові по ДСТУ 2251:2018 (див. рис. 1.6,а) кутники сталеві гарячекатані нерівнополочкові (див. рис. 1.6,б) по ДСТУ 8769:2018. Матеріал: гарячекатана сталь.

Кутовий профіль має наступне позначення:

$\perp b \times t$ (мм) - рівнополичковий кутник,

$\perp b_1 \times b_2 \times t$ (мм) - нерівнополичковий кутник.

Габаритні розміри кутників змінюються в інтервалі:

- для рівнополочкових кутників:

$$b = 40 \div 250 \text{ мм},$$

$$t = (1/16 \div 1/18) b.$$

- для кутників з різними поличками:

$$b_1 = 40 \div 200 \text{ мм},$$

$$b_1/b_2 = 1,6,$$

$$t_1 = (1/16 \div 1/18) b_1.$$

Довжина профілю поставляється в межах - 12000 ÷ 18000 мм.

У Eurocode (EN 10056-1 / EN 10025-2) для рівнополичкових гарячекатаних кутників $\angle$ $b \times t$ діапазон сторін: $b = 30-250$ мм приблизно збігається з українськими; товщина t : 3-25 мм - залежно від бічної сторони; сталь: S235, S275, S355. Допуски на товщину, ширину та прямолінійність регламентуються EN 10056-2. Рекомендована довжина: 6-12 м для транспортування часто менше, ніж в Україні.

Відмінності: у Eurocode більш чіткі механічні властивості сталі; допуски на прямолінійність і відхилення сторін більш жорсткі, довжина стандартна для транспортних обмежень, українські кутники можуть поставлятися довшими.

У Eurocode застосовуються нерівнополичкові кутники L $b_1 \times b_2 \times t$ (EN 10056-1). Співвідношення сторін у Європі: $b_2/b_1 = 1,2-2,0$ (збігається). Допуски на товщину і ширину регламентуються EN 10056-2. Сталь: S235, S275, S355.

Стандарти Eurocode надають більш деталізовану класифікацію сталі за її механічними та фізичними властивостями. Українські стандарти, натомість, роблять акцент на геометричних параметрах, зокрема на співвідношенні сторін профілю ($b_1 : b_2 = 1,6$).

Двотаври з ухилом полиць (див. рис. 1.6,б) також відомі як двотаври з конусними полицями за українськими стандартами ДСТУ 8768:2018 мають такі основні характеристики. Ці профілі позначаються номером, що відповідає їх висоті в сантиметрах. Наприклад, двотавр №10 має висоту 100 мм. Висота від 100 мм до 600 мм. Ширина полиць залежить від висоти профілю, але зазвичай менша порівняно з шириною полиць у двотаврів з паралельними гранями. Мінімальна товщина стінки у великих двотаврів може досягати $1/55$ висоти профілю. Двотаври з ухилом полиць застосовуються в конструкціях, де важлива економія матеріалу при збереженні необхідної жорсткості, таких як: легкі балки в будівництві, конструкції, що піддаються переважно навантаженням в одній площині, елементи, де важлива знижена маса при достатній міцності.

Інші двотаврові профілі. Залежно від співвідношення головних розмірів - висоти двотавра і ширини полиці (b і h) двотаври з паралельними гранями полиць поділяються на балкові, широкополочкові, колонні (див. рис. 1.6,в):

- балкові двотаври мають в позначенні індекс Б (І 50Б1: І 50Б2 і т.д.) перша цифра - позначає висоту h
- широкополочкові позначаються літерою Ш (І 50Ш1; І 50Ш2 і т.)
- колонні двотаври в позначенні мають букву К (І 40К1 або І 40К2), висота колонних двотаврів дорівнює $h = 200 \div 400$ мм; співвідношення $b = h$.
- для двотаврів додаткової серії додається буква Д до індексу профілю (наприклад, БД, ШД), щоб відрізнити додаткові елементи від основних серій.

Висота двотаврів залежить від серії:

- балкові (Б): приблизно 100-500 мм;
- широкополочкові (Ш): приблизно 100-600 мм;
- колонні (К): приблизно 200-1000 мм.

В межах одного номера двотаври відрізняються один від одного шириною полицки.

Монорельсові двотаври (ДСТУ 8807:2018) використовуються як основні несучі елементи в монорельсових кранових коліях та підкранових балках. Мають підвищену жорсткість і точність геометричних розмірів у порівнянні зі стандартними двотаврами. Позначаються буквою «М» у маркуванні профілю.

ДСТУ 9295:2024 «Двотаври сталеві зварні» встановлює технічні вимоги та сортамент для сталевих зварних двотаврів з межею текучості до 460 МПа, призначених для використання у будівельних конструкціях. Зварні двотаври використовуються там, де стандартні гарячекатані профілі не відповідають конструктивним вимогам (нестандартна висота, ширина, товщина полиць). Дозволяють економити метал і створювати профілі великої висоти, недоступної у гарячекатаному сортаменті.

Українські двотаври мають буквені індекси (Б, Ш, К), тоді як Eurocode використовує серії IPE, HEA, HEB, HEM (EN 10365 / EN 10034 / EN 10025).

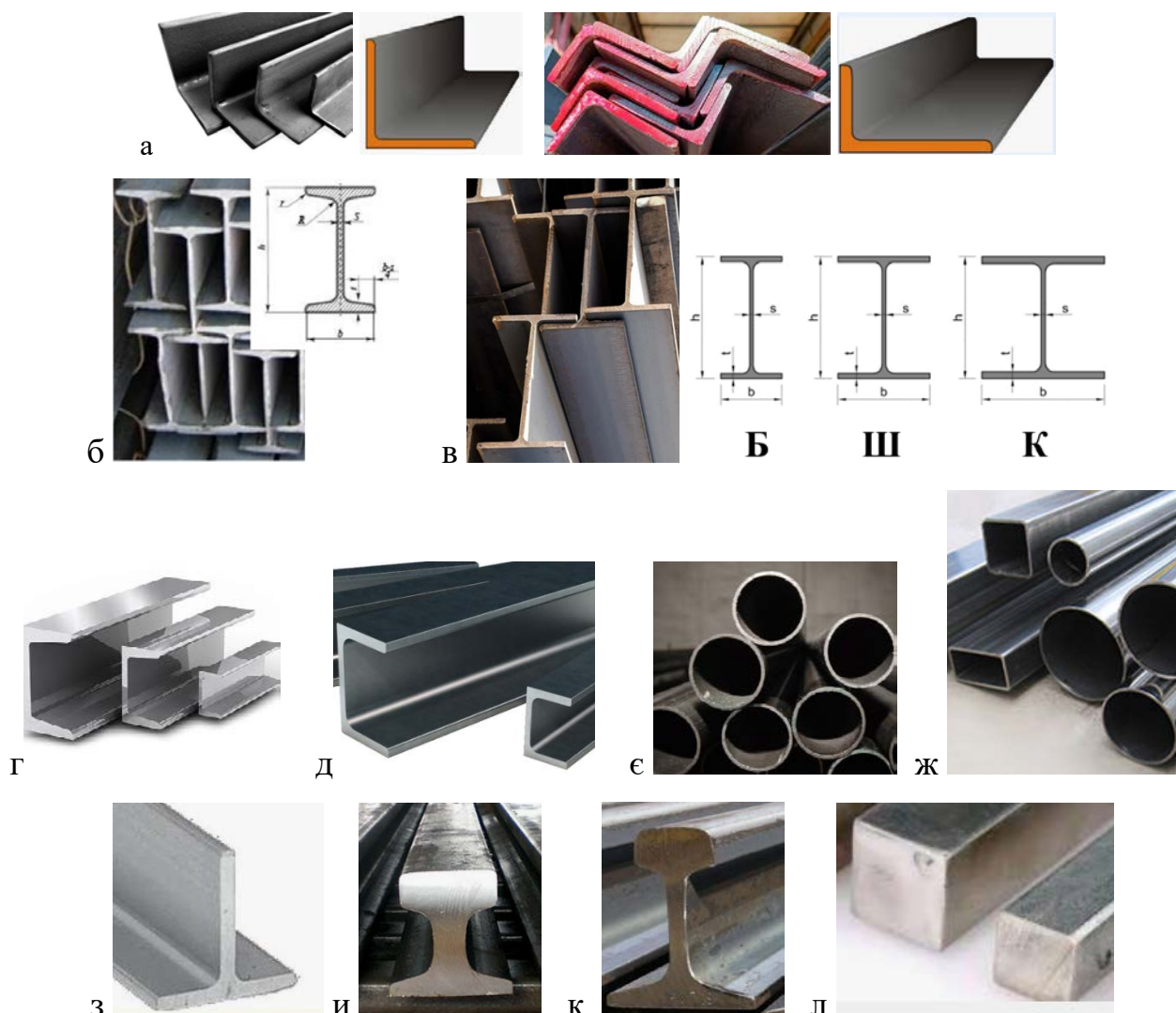


Рис. 1.6. Профілі: кутники рівнополічкові і нерівнополічкові (а); двотаври з похилими гранями полиць (б); двотаври з паралельними гранями «Б», широкополічкові «Ш», колонні «К» (в); швелери з похилими «У» (г) і паралельними гранями полиць «П» (д); труби гарячекатані (є) та електрозварні (ж); таври (з); рейки кранові (и) та залізничні (к); квадрат (л)

Європейські стандарти класифікують двотаври серіями. Балкові (ІРЕ) - стандартні балки перекриттів і каркасів; висота 80-600 мм, ширина полиць 46-210 мм.

Широкополічкові (НЕА) - балки з широкими полицями для кращого опору згину; висота 100-1000 мм, ширина полиць 96-300 мм.

Колонні (НЕВ) - колони та несучі опори; висота 100-1000 мм, ширина полиць 100-300 мм.

Колонні (НЕМ) - колони з широкими поясами для підвищеної стійкості; висота 100-1000 мм, ширина полиць 120-360 мм.

Допуски на товщину полиць і стінок, прямолінійність та паралельність регламентуються EN 10034. Матеріал - гарячекатана сталь марок S235, S275, S355. Довжина поставки зазвичай 6-12 м.

Висота в Україні 200-1000 мм (для колон 200-400 мм), у Eurocode 100-1000 мм (IPE до 600 мм, HEA/HEB/HEM до 1000 мм).

Ширина полиць в Україні регламентується співвідношенням b/h (балкові $b < h$, широкополочні $b \sim h$, колонні $b \geq h$, $b/h > 1$). Додатково, для визначення товщини полиць, іноді використовують градацію цифрами 1, 2, 3 (від тонких до товстих полиць).

За Eurocode (EN 1993 + EN 10365) ширина полиць строго регламентована для кожної серії:

- для IPE, IPN, HEA, HEB, HEM існують чіткі номінальні розміри полиць, що відповідають жорсткості і призначенню профілю.
- відхилення від номінальних розмірів допускаються лише в межах нормованих допусків.

Допуски: Eurocode регламентує прямолінійність, паралельність полиць і товщину; ДСТУ допускає більшу гнучкість у виробництві.

Швелери сталеві гарячекатані ДСТУ 3436-96, ДСТУ 8806:2018 поділяють на швелери з похилими гранями полиць «У» (рис. 1.6,г) та з паралельними гранями полиць «П» (рис. 1.6,д). Швелери як і двотаври, мають номери, які дорівнюють їх висоті в сантиметрах. Прокочуються швелери від 6 до 40-двох типів: з похилими внутрішніми і паралельними гранями полиць.

Позначення: [№20 - номер швелера позначає його висоту h в см ($h=40\div 400$ мм; співвідношення $t/h \approx 1/55$). Таке співвідношення між висотою швелера і товщиною стінки призначається виходячи з вимоги забезпечення місцевої стійкості стінки. Швелери виготовляють довжиною 6 м, 9 м, 12 м. Найбільш поширені довжини поставки - 6 м і 12 м.

Великою перевагою швелера є наявність вільної стінки, що дозволяє безперешкодно кріпити їх до інших елементів. Використовуються швелера в перерізах балок, колон або в складі важких стрижневих конструкцій (елементи мостів, рами в будівлях з великими прольотами і т.д.).

Особливість швелерів з паралельними гранями полиць (П) - внутрішні грані полиць розташовані строго паралельно, на відміну від з ухилом полиць. Позначення - літера «П» (наприклад, Швеллер 20П). Висота $h = 50-400$ мм; ширина полиць $b = 32-115$ мм; товщина стінки $s = 4,4-15$ мм.

Переваги швелерів з паралельними гранями полиць (П):

- зручніші для монтажу й стикування з іншими елементами;
- більш точна геометрія;
- краще сприймають зварювання й болтові з'єднання.

Швелери в Eurocode EN 10365 [39] - гарячекатані швелери (U-профілі / channels) стандартизовані як UPE, UPN: UPE - швелери з паралельними гранями полиць, UPN - швелери з похилими гранями полиць.

Номер серії зазвичай збігається з висотою профілю (h) в міліметрах, наприклад, UPE 200 - висота 200 мм. Габарити: висота $h = 80-400$ мм (залежно від серії), ширина полиць $b = 40-100$ мм, товщина t залежить від серії та умов стійкості, $t/h = 1/50-1/60$ (аналог українських профілів). Довжина поставки: зазвичай 6-12 м.

Українські гарячекатані швелери майже повністю відповідають серіям UPE/UPN Eurocode. Основна різниця - формат позначення.

Труби. Випускають два види трубчастих профілів: гарячекатані (рис. 1.6,є) за ГОСТ 8732 - 78 - ДСТУ 8938:2019 - від 25x2,5 (діаметрами 25 мм при товщині перетину 2,5 мм) до 550x75 мм; електрозварні (ГОСТ 10704-91 ДСТУ EN 10217 зварні сталеві труби).

ДСТУ EN 10219 [27-28] холодногнуті профілі і труби - від 8x1 мм до 1620x16 мм. Прийнято наступне позначення для труби $\varnothing D \times t$, де D - зовнішній діаметр труби; t - товщина труби.

Безшовні труби марки Ст.20 з зовнішнім діаметром від 25 до 550 мм застосовуються для радіовеж, опор ЛЕП, теплиць, пересувних лісів.

Електрозварні труби великого діаметра із зовнішнім діаметром від 426 до 1420 мм використовуються для газопроводів.

Максимальна відправна довжина труби складає 12000 мм. Завдяки симетричності перерізу і великій його жорсткості труби є економічним профілем для елементів, що працюють на центральний стиск, вони мають високу корозійну стійкість за умови герметизації внутрішніх поверхонь. Але до недоліків цього профіля необхідно відповісти наявність конструктивних і технологічних труднощів при вирішенні вузлів сполучення елементів з труб та їх великий дефіцит.

Гарячекатані труби підпадають під EN 10210 (зварні та цільнотягнуті гарячекатані профілі для конструкцій). Діаметри та товщини регулюються стандартом EN 10210-1/2 (наприклад, $D = 21,3-610$ мм, $t = 2,6-50$ мм). Сталь: S235, S275, S355, S420, S460, з механічними характеристиками, що регламентуються EN 10210-2.

Таври сталеві гарячекатаний з паралельними гранями полиць (див. рис. 1.6,з) поділяються на: балкові - Б; широкополичкові - Ш (ДСТУ EN 10055:2006). Позначення аналогічні позначенням, які прийняті в двотаврах з паралельними гранями полиць - перші дві цифри - висота h , букви - тип тавра, цифри 1,2,3 - градація товщини. Область раціонального застосування таких таврів це пояса ферм, зварні підкранові балки, ребра жорсткості $b=150\div 400$ мм; $h= 100\div 500$ мм.

У Єврокодах/EN немає окремої серії “Т-профілів”, як це є в деяких національних стандартах. Т-профіль зазвичай отримують як половину І профілю (двотавра) або з гарячекатаного листа з паралельними полицями.

Рейкова сталь спецпризначення (ДСТУ 4344:2004, EN 13674) - для підкранових колій (рис. 1.6,и), транспортних систем (рис. 1.6,к). Для підкранових колій використовуються кранові рейки профілів типу Кр50, Кр60, Кр70, Кр80, Кр100, Кр120, Кр140. Рейки застосовуються як напрямні елементи для підвісних та мостових кранів, забезпечують надійність і безпеку руху крана по колії.

Порівняно менше застосування знаходять такі профілі, як квадрат (рис. 1.6,л) від 40х40 до 120х120 мм; монорейки для сприйняття навантажень від підвісних кранів малої вантажопідйомності та кран - балок (наприклад 24М, 30М).

Крім прокатних профілів, в даний час, в будівництві широко застосовуються **гнуті штамповані профілі** (19771-74; 19772-74; 8278-75 - ДСТУ 2254-93, ДСТУ 2255-93, ДСТУ 8806:2018). Гнуті профілі виготовляють з листової сталі холодним гнуттям на спеціальних станах. Профілі можуть бути відкритими або замкнутими (рис. 1.7).

Холодногнуті профілі (ДСТУ Б В.2.6-9:2008, EN 10162:2003) - швелери, двотаври, Z- та С-профілі, що формуються без нагрівання.

Холодногнуті профілі виготовляються на роликівих станах, зокрема заводом «Запоріжсталь», із листової сталі товщиною від 2 до 6 мм. Сортамент включає: гнуті швелери, коритоподібні профілі, С-подібні профілі, гнуті рівнополочкові та нерівнополочкові кутники, фасонні профілі.

Ці профілі застосовують як розпірки та в'язі довжиною до 12 м, а також для елементів світлових ліхтарів, фахверку та віконних прорізів.

Технічні вимоги до холодногнутих профілів наведені в ДСТУ Б В.2.6-9:2008 (гармонізований з EN 10162:2003).

Гнуті штамповані профілі. Кутники сталеві гнуті рівнополочкові (рис. 1.7,а) по ДСТУ 2254-93 і кутники сталеві гнуті нерівнополочкові (рис. 1.7,б) по ДСТУ 2255-93; сталеві гнуті С - образні по ГОСТ 8282-83 ДСТУ EN ISO 15614-1:2017.

Швелери сталеві рівнополочкові (рис. 1.7,в) по ДСТУ 8806:2018 і нерівнополочкові (рис. 1.7,г) ДСТУ 8808:2018; прямокутні (рис. 1.7,д) і квадратні труби (рис. 1.7,є) по ТУ 14-2-456-82; «С-профілі» (рис. 1.7,ж), омега-профілі (рис. 1.7,з) та інші, які виготовляються за допомогою холодної штамповки з тонколистового прокату на спеціальних пресах. Максимальна товщина елементів складає $t \leq 8$ мм. Сортамент гнутих профілів постійно удосконалюється.

Застосування гнутих профілів дає економію стали до 15% і знижує трудомісткість виготовлення, їх широко використовують в несучих і огорожувальних конструкціях.

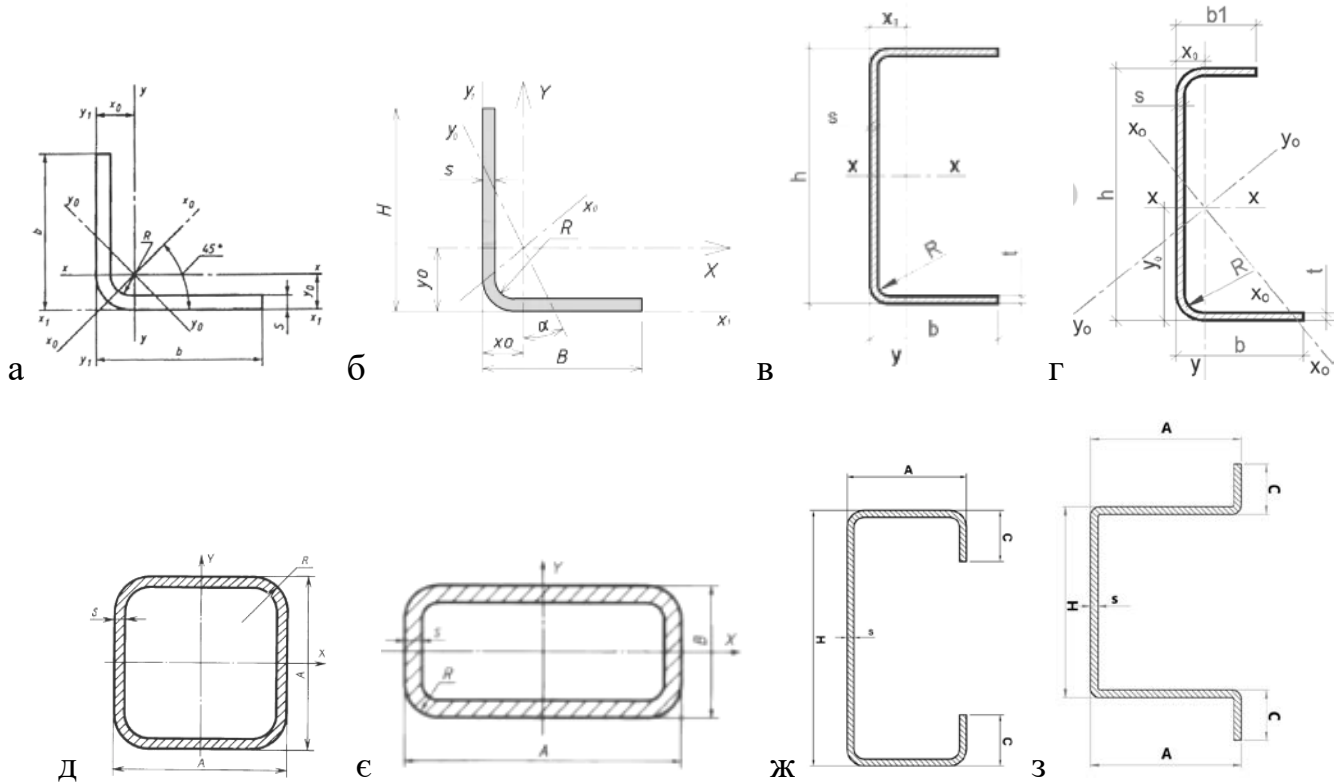


Рис. 1.7. Гнуті профілі:

Рівнополичкові (а) і нерівнополичкові (б) кутники; швелери рівнополичкові (в) і нерівнополичкові (г), прямокутні (д) і квадратні труби (е), «С-профілі» (ж), омега-профілі (з)

У Єврокодах/EN немає прямої відповідності зазначеним ДСТУ, але є загальні положення для холодногнутих та штампованих профілів із листової сталі:

1. EN 10219 [27,28] - холодногнуті прямокутні та квадратні труби зі сталі. Використовуються для каркасних конструкцій, колон, ферм. Холодне формування з рулонної сталі.

2. EN 10346 / EN 10326 / EN 10327 - холоднокатані листи та стрічки. Матеріал для холодної згинання. Сталі: S235, S275, S355.

3. EN 1993-1-3 [4] - основний стандарт із проектування холодногнутих тонкостінних сталевих профілів.

Особливості Eurocode для холодногнутих профілів - форма профілю: С, Z, U, L, Sigma та ін. Товщина листа: тонкостінні, зазвичай до 6-10 мм.

Зварні профілі доповнюють сортамент прокатних профілів і виготовляються, зазвичай, на заводах металевих конструкцій. Зварні двотаври (рис. 1.8,а) виготовляють з листового прокату висотою до 2000 мм, зі швелера та двох кутників (рис. 1.8,б); передбачається також виготовлення зварних балок з таврів та листової вставки (рис. 1.8,в). На деяких заводах широко використовуються перфоровані двотаври (рис. 1.8,г). Вони виготовляються з листового прокату. Розміри балок можуть бути дуже великими і можуть мати змінний переріз. Зміну перерізу можна виконувати як за рахунок зміни ширини полиць або за рахунок зміни висоти стінки перерізу.

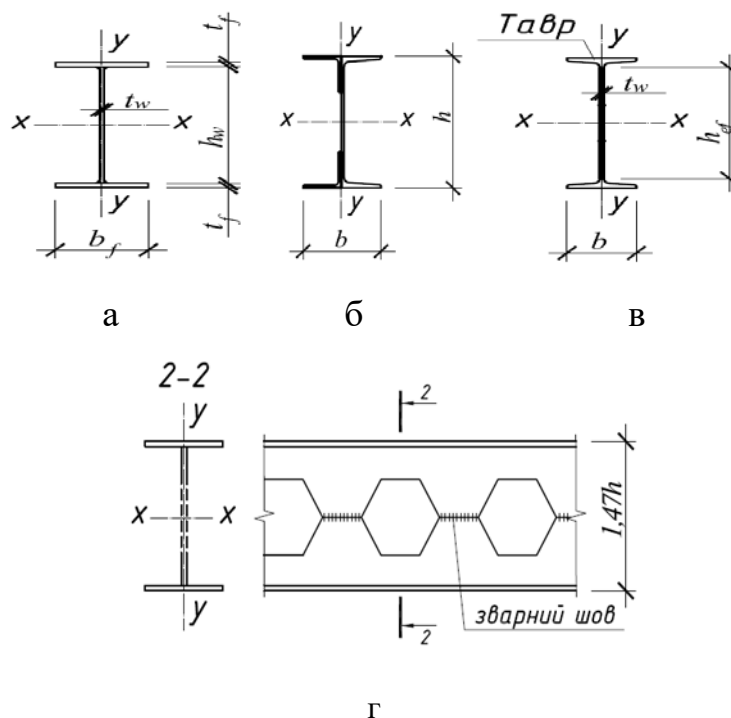


Рис. 1.8. Зварні профілі: двотаври симетричні (а) і несиметричні (б) зі швелера і кутників; з таврів і листа (в); перфорована балка (г)

Зварні профілі регулюються EN 1993-1-1 [2], EN 1993-1-8 [9] - з'єднання зварних елементів; EN 1993-1-5 [6] - складові та змінні перерізи.

1.5. Зварювальні матеріали призначаються відповідно до вимог ДБН В.2.6-198-2014

При виготовленні будівельних конструкцій застосовується дугова, електрошлакова, плазмова та газокиснева види зварки. Але найбільш поширеною в будівництві є безумовно дугова зварка, яка в залежності від способу виконання зварки поділяється на ручну, механізовану (напівавтоматичну) або автоматичну зварку. Основні вимоги, правила та рекомендації щодо технології дугового зварювання наведено у [21,31-33]. При ручному зварюванні (див. рис. 1.9,а) зварник вручну контролює процес зварювання і якість зварного шва залежить, в першу чергу, від кваліфікації зварника. Зварний шов формується за рахунок електричної дуги, яка виникає між електродом та зварювальними елементами. При цьому електрод розплавляється і разом з ним розплавляється покриття електроду і це створює газовий та шлаковий захист зварювальної ванни. Для зварних з'єднань елементів сталевих конструкцій слід застосовувати електроди за рекомендаціями додатка Д (таблиця Д.1) [1].

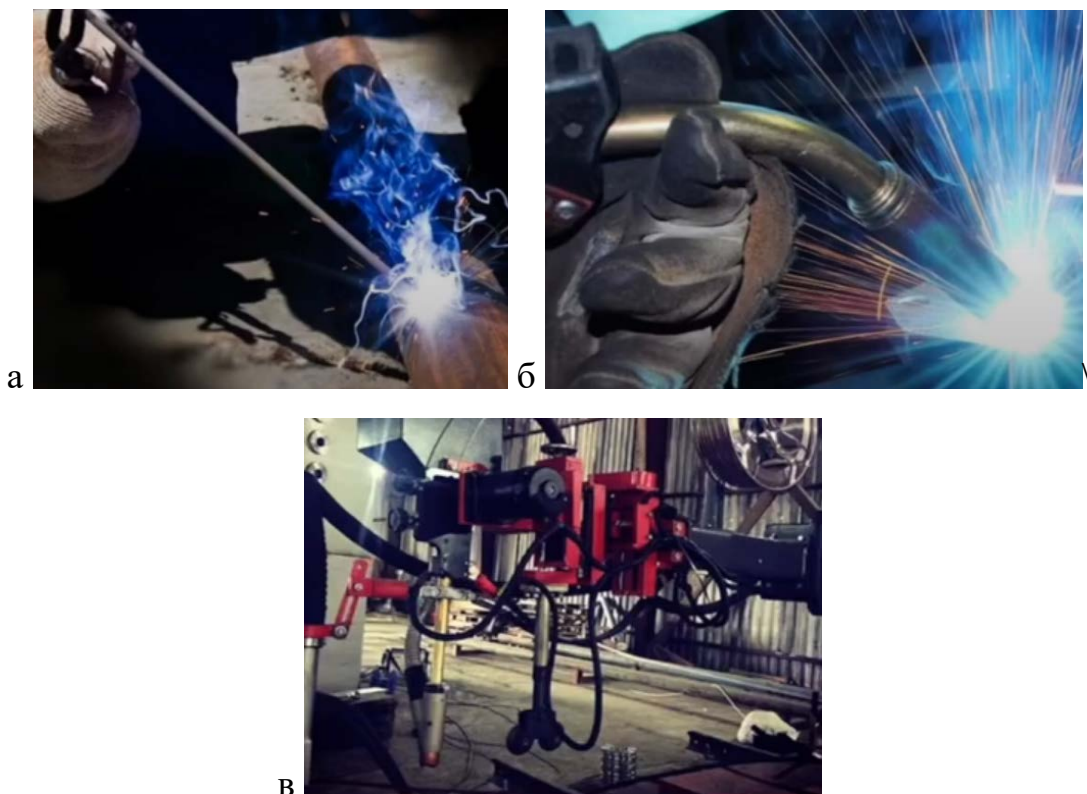


Рис. 1.9. Ручне зварювання (а), механічне (напівавтоматичне) зварювання (б), автоматичне зварювання (в)

Механічне (напівавтоматичне) зварювання (див. рис. 1.9,б) це спосіб, за яким замість електрода використовується зварювальний дріт. Він подається до місця зварювання автоматично, а зварювальний апарат, в цілому, переміщується вручну. Цей вид зварювання поширено при виготовленні сталевих конструкцій та під час монтажу будівельних конструкцій. До переваг даного виду зварювання можна віднести можливість виконувати зварні шви різної конфігурації та різного розташування у просторі.

При автоматичному зварюванні (див. рис. 1.9,в) забезпечується висока якість з'єднань. Зварювальний дріт і переміщення зварювального апарату здійснюється автоматично.

До даного виду зварки відносяться.

Дугова зварка під флюсом при якій дуга горить між електродом та матеріалом, який зварюється. Флюс захищає зварний шов від контакту з зовнішнім середовищем та стабілізує процес горіння електричної дуги. Це і обумовлює отримання високоякісного зварного шва при даному виді зварки. До недоліків даного виду зварки необхідно віднести необхідність використання додаткового обладнання для засипки, утримання та прибирання флюсу.

Зварка у середовищі захисного газу. При зварюванні використовуються або вуглекислий газ, або суміш його з аргоном. Зварка виконується або за допомогою дроту суцільного перерізу, або порошковим дротом. Основними перевагами цього засобу є можливість виконання шва у всіх просторових положеннях, та висока продуктивність, але цей процес суттєво залежить від зовнішнього середовища і потребує спеціальної організації робочого місця.

Електрошлакова зварка - це один з різновидів зварки під шаром флюсу; він використовується для зварювання товстолистових (товщини більш 20 мм.) конструкцій. Зварка здійснюється за рахунок утворення високотемпературної шлакової ванни, в якій електродний матеріал плавиться і утворює з оплавленим металом зварний

шов. Цей вид сварки є високоефективним, але потребує високо кошторисного обладнання.

Зварка порошковою проволокою - поєднує всі переваги наведених вище засобів зварки. Вона дозволяє виконувати зварні шви в різних положеннях у просторі та є високопродуктивною.

Стикові з'єднання (див. рис. 1.10) дозволяють забезпечувати високу міцність (не менш міцності основного металу) та щільність і використовуються в конструкціях, в яких необхідно забезпечити щільність. До даного класу конструкцій відносяться трубопроводи, кожухи доменних печей, апарати хімічної та харчової промисловості бункери, силоси та інше.

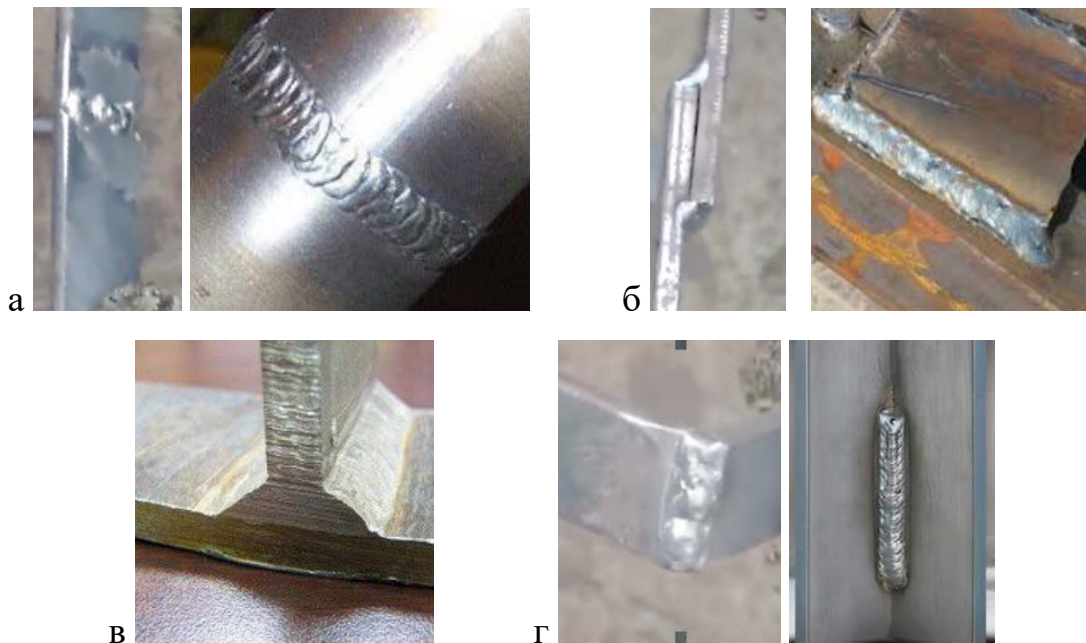


Рис. 1.10. Види зварних з'єднань

а) стыковые; б) напускные; в) тавровые г) кутовые

В цих швах рівномірно розподіляються сили при передачі навантажень, зручно контролюється якість з'єднання. В залежності від товщини деталей, які зварюються, шви можуть виконуватись без обробки кромки або з обробленням кромки, які за конфігурацією, знову таки, залежать від товщини прокату та виду зварки (ручна чи автоматична). Найбільш поширені види обробки кромки наведено на рис 1.11.

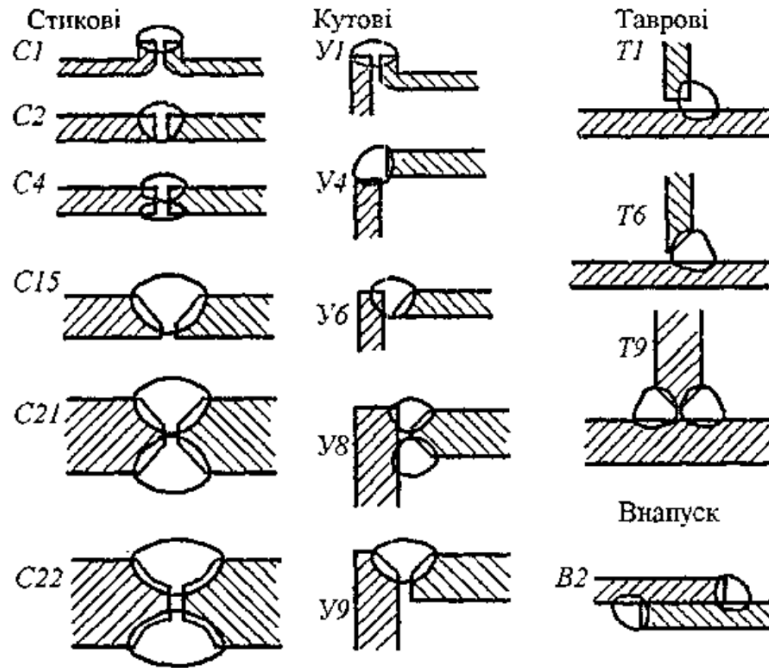


Рис. 1.11. Види обробки кромки та позначення основних зварювальних з'єднань

Стикові шви при товщині більш ніж 8 мм. виконуються у два і більш проходів з однієї та другої сторони (зварка і підварка), що дозволяє знизити градієнт зварних напружень.

Всі інші види з'єднань - напускне; таврове; кутове спрощені в обробці, але створюють високий рівень концентрації напружень в матеріалі конструкції.

Види та позначення основних зварювальних з'єднань наведено на рис. 1.11. Шви стикового типу використовуються для з'єднання деталей товщиною: **C1** 1-3 мм; **C2** 1-6 мм; **C4** 2-8 мм; **C15** - 3-50 мм; **C21** - 12-60 мм; **C22** - 30-100 мм.

Кутові шви: **Y7** - 14 мм; **Y4** - 1-30 мм; **Y6** - 4-26 мм; **Y8** - 12-60 мм; **Y9** - 12-60 мм.

Таврові шви: **T1** - 2-6 мм; **T6** - 4-26 мм; **T9** - 12-60 мм.

Шви внапуск типу **B2** - 2-60 мм.

Стикові, кутові і таврові типи швів, в залежності від товщини листів, виконують з попередньою обробкою скосів (**C15**, **C21**, **Y6**, **T6**), з відбортованими кромками (**C1**, **Y2**) чи без обробки (**C2**, **Y4**, **T1**, **B2**).

Зварні з'єднання, в залежності від взаємного положення елементів в конструкції, поділяються на:

- стикові, коли з'єднуються два елементи, які розташовані або в одній площині, або на одній поверхні (рис. 1.12,а);
- кутові, коли з'єднуються два елементи, які розташовані під прямим кутом і зварені у місці дотику їх країв (рис. 1.12,г);
- напускні, коли зварювальні елементи розташовані паралельно і перекривають один одного (рис. 1.12,б);
- таврові, коли до бокової поверхні одного елемента приєднується торцем другий елемент (рис. 1.10,в).

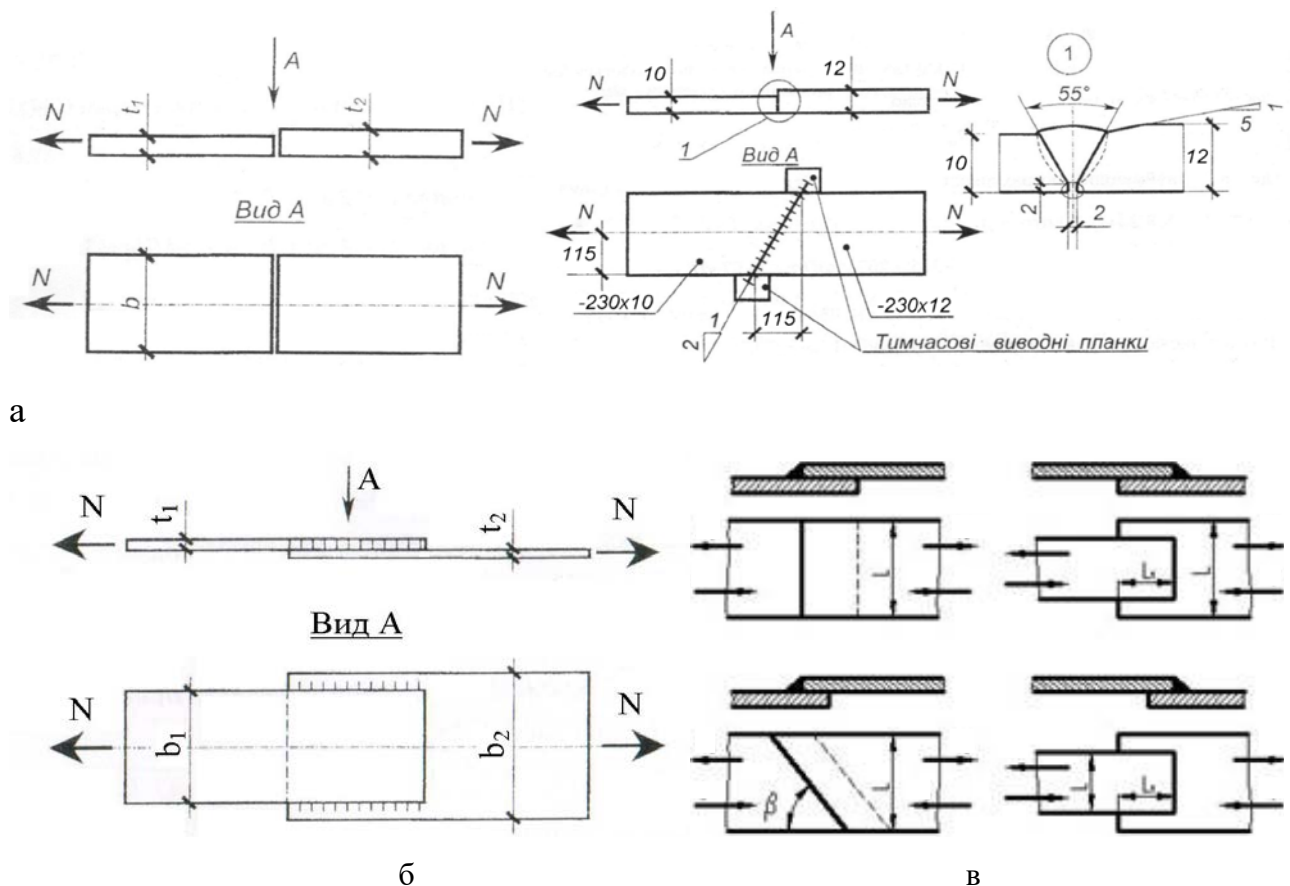


Рис. 1.12. Види зварних швів: стикові (а); кутові флангові (б); кутові лобові (в)

За розташуванням у просторі шви розподіляються на: нижні (рис. 1.13,а), вертикальні (рис. 1.13,б), горизонтальні (рис. 1.13,в), стельові (рис. 1.13,г), «у човник» (рис. 1.13,д). Найбільш зручно виконувати стикові шви у нижньому положенні а ку-

тові шви «у човник». Саме у таких умовах значно легше забезпечується висока якість зварних з'єднань.

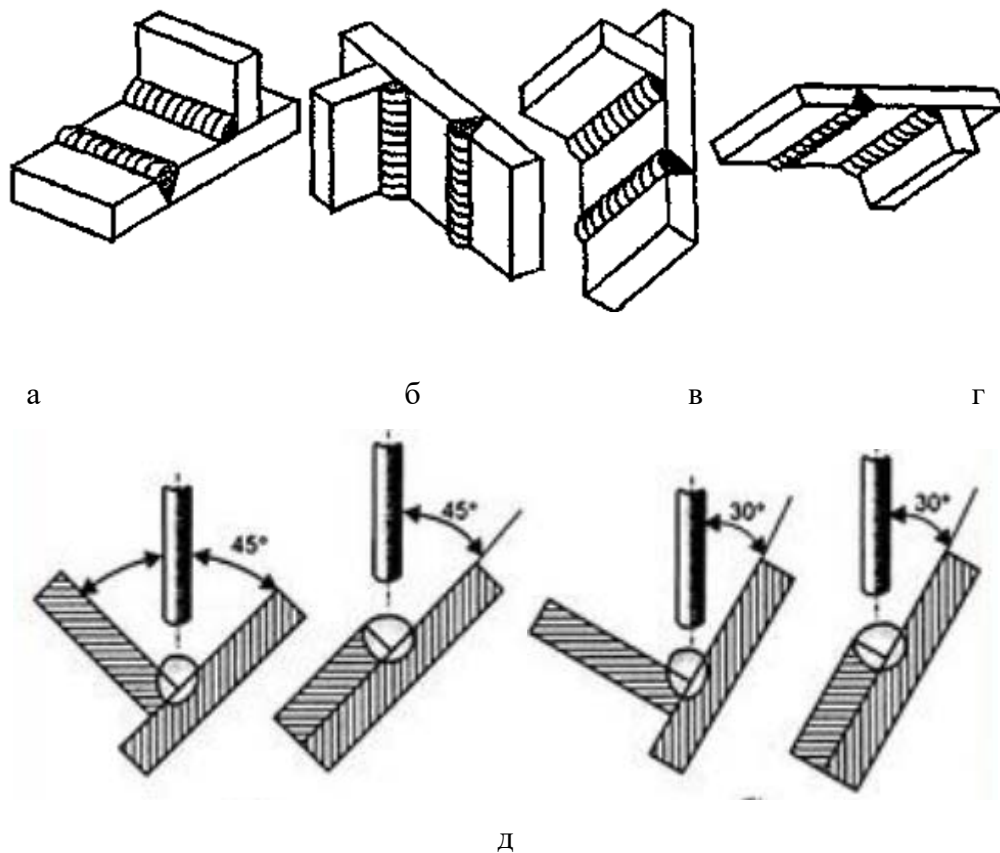


Рис. 1.13. Розташування швів у просторі.

а) нижні, б) вертикальні, в) горизонтальні, г) стельові, д) «у човник»

За призначенням зварні з'єднання поділяються на робочі та зв'язуючі (монтажні) з'єднання. Робочими вважаються з'єднання, які сприймають головні внутрішні зусилля, що визначаються за розрахунком і руйнування яких може привести до руйнування всієї конструкції.

Зв'язуючі з'єднання не сприймають робочі зусилля, а тільки фіксують конструктивні елементи у проектному положенні. Вони призначаються конструктивно з урахуванням відповідних вимог.

За місцем виконання зварні з'єднання поділяються на заводські та монтажні (це з'єднання, які виконуються на будівельному майданчику під час монтажу конс-

трукцій). Заводські шви, як правило, виконуються в більш прийнятних умовах, що забезпечує більш високу якість з'єднань.

За характером виконання шви поділяються на: суцільні та переривчасті зварні шви (див. рис. 1.14)

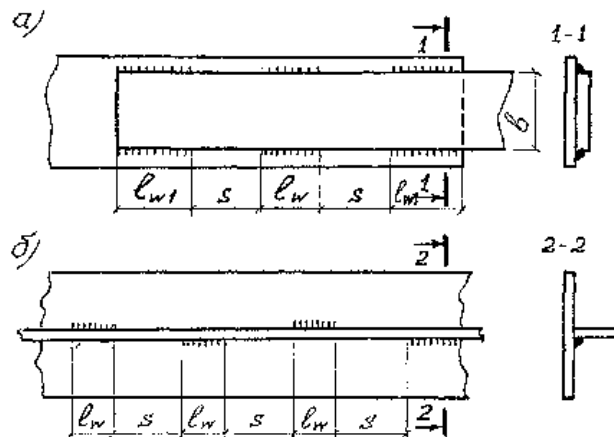


Рис. 1.14. Схема переривчатих кутових зварних швів:

а - у напускному з'єднанні; б - у тавровому з'єднанні

Суцільним називається шов, що виконується без розривів по всій довжині стику.

Характеристика:

- забезпечує рівномірну передачу зусиль між елементами;
- має високу герметичність (не пропускає рідини чи газу);
- використовується у відповідальних елементах конструкцій, де потрібна повна міцність та жорсткість з'єднання.

Недоліки: більша витрата зварювального матеріалу, підвищені деформації від зварювальних напружень.

Приклади застосування: з'єднання елементів, що працюють під значними навантаженнями; стики, де необхідна герметичність (резервуари, трубопроводи, гідротехнічні споруди).

Шов, що складається з окремих відрізків (сегментів), між якими залишаються проміжки без зварювання - переривчатий.

Основні параметри: довжина одного відрізка шва (звичайно 40-150 мм); крок шва (сума довжини шва та проміжку); співвідношення довжини шва до проміжку встановлюється нормами (наприклад, не менше 1:1).

Характеристика:

- зменшують витрату електродів і трудомісткість робіт.
- знижують деформації від зварювання.
- достатні для передачі помірних зусиль у конструкціях.
- недоліки: менша герметичність; підвищена концентрація напружень на початку та кінці швів.

Приклади застосування: з'єднання ребер жорсткості зі стінками балок; допоміжні та другорядні елементи конструкцій; місця, де не потрібна герметичність.

Вибір між суцільним і переривчастим швом залежить від:

- розрахункових зусиль у з'єднанні;
- вимог до герметичності;
- класу відповідальності конструкції;
- економічної доцільності.

Згідно з нормами проєктування (ДСТУ-Н Б В.2.6-193, Єврокод 3):

- суцільні шви обов'язкові в несучих і герметичних з'єднаннях та забезпечують максимальну міцність і герметичність, але є більш витратними та викликають значні деформації..
- переривчасті шви допускаються у другорядних елементах, де діють невеликі зусилля або потрібна економія матеріалу; вони економічніші та зручніші у виконанні, проте застосовуються лише там, де не потрібна герметичність і повна передача зусиль.

Типи зварних швів за Єврокодами.

Стикові (butt welds) виконуються при повному проплавленні (full penetration).

Розрахунок простий: вважається, що шов має ту ж міцність, що і основний метал.

Кутові (fillet welds) найпоширеніші. Розрахунок ведеться через ефективну товщину шва. Несуча здатність визначається по зусиллях у наступних напрямках: поз-

довжньому (shear parallel to weld axis); поперечному (shear transverse); під кутом; крім цього використовується векторне складання.

Зварні шви не розраховують на розтяг у площині металу шва - перевіряється лише зріз і стиснення.

У Єврокодах застосовується векторна перевірка напружень, більший акцент на втомну міцність і довговічність.

1.6. Болтові з'єднання

На рис. 1.15 наведені елементи болтового з'єднання: деталь, болт, гайка, шайба; умовне зображення на кресленнях та позначення звичайних болтів у заводських та монтажних з'єднаннях.

Даний вид з'єднання поділяється на з'єднання на звичайних болтах (див. рис. 1.16,а) та з'єднання на високоміцних болтах (див. рис. 1.16,б).

З'єднання на звичайних болтах можуть використовуватись в якості монтажних з'єднань на будівельному майданчику, що дозволяє спростити і таким чином здешевити процес монтажу, а також і в робочих з'єднаннях в тих випадках, коли вузли з'єднання елементів в конструкції запроєктовані по шарнірній схемі. З'єднання з застосуванням високоміцних болтів може виконуватися як за схемою звичайного болтового з'єднання, так і за схемою фікційного з'єднання.

Міцність звичайного болтового з'єднання обумовлюється міцністю самих болтів, або міцністю деталей, які з'єднуються. Міцність фрикційного типу з'єднань забезпечується силами тертя, які виникають між сумісними поверхнями з'єднувальних елементів. Болти у з'єднаннях фрикційного типу знаходяться під впливом тільки зусиль їх затяжки. Для з'єднань такого типу використовують тільки високоміцні болти. Такі з'єднання, як правило, повинні забезпечувати міцність, що дорівнює міцності основного металу елементів і конструкцій, як для з'єднання елементів в конструкції, так і в вузлах з'єднання самих конструкцій.

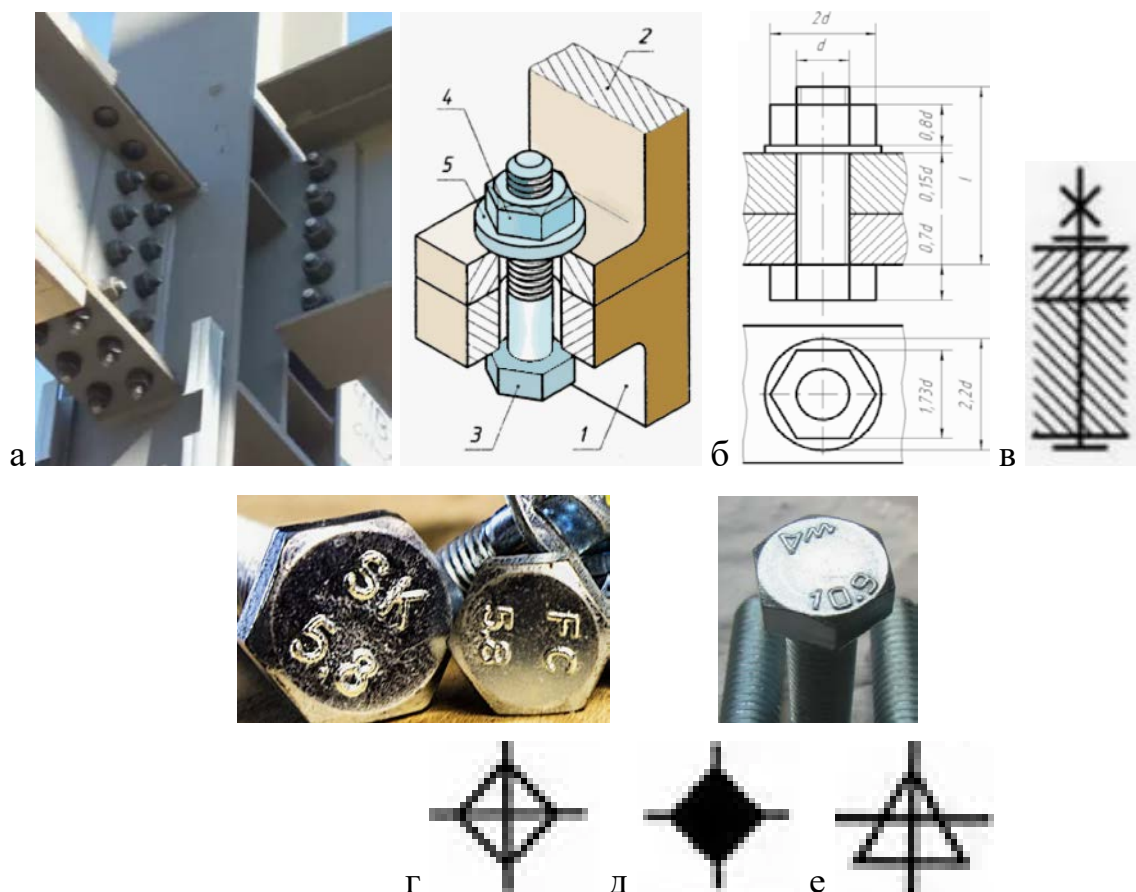


Рис. 1.15. Болтові з'єднання (а): деталь (1,2), болт (3), гайка (4), шайба (5); конструктивне креслення (б); умовне зображення на складальних кресленнях (в); позначення звичайних болтів у заводських та монтажних з'єднаннях (г), тимчасових болтів у монтажних з'єднаннях (д), високоміцних болтів (е)

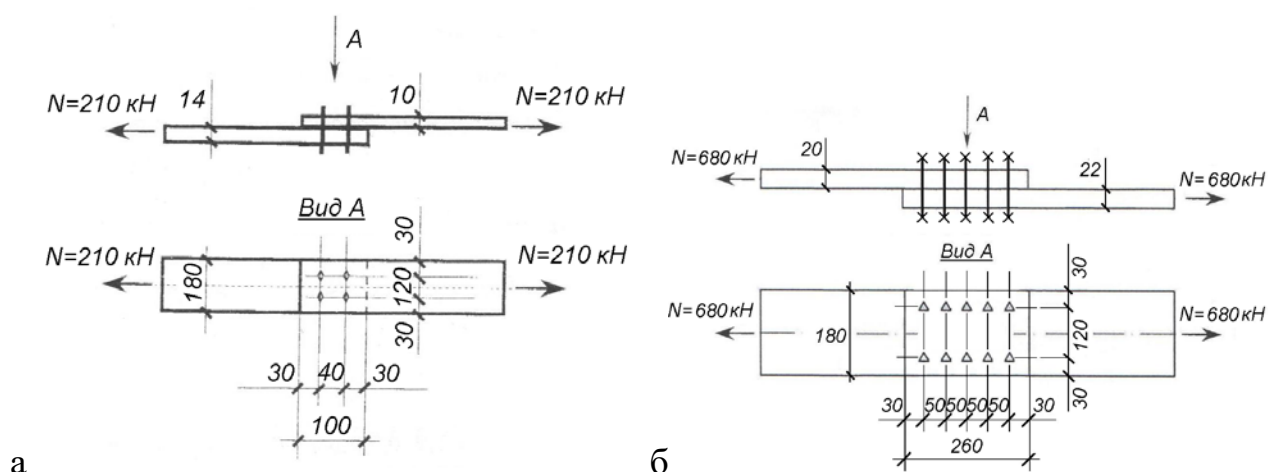


Рис. 1.16. Схема з'єднання на звичайних болтах (а), з'єднання на високоміцних болтах (б)

Переваги болтових з'єднань, головним чином, полягають у відсутності залишкових напружень і деформацій, що відрізняє їх від зварних з'єднань. Саме цей факт обумовлює те, що у найбільш відповідальних конструкціях, які сприймають динамічні навантаження та впливи застосовуються болтові з'єднання.

Недоліки болтових з'єднань пов'язані зі збільшенням трудоемкості виготовлення конструкцій та збільшенням ваги конструкцій на 10-15% за рахунок появи додаткових елементів для з'єднання (збільшення ваги зварних конструкцій за рахунок зварних швів складає 1%).

Класифікація болтів та гайок для болтових з'єднань на звичайних болтах.

В болтових з'єднаннях звичайного типу в якості з'єднувальних елементів використовуються болти, гайки та шайби. В будівельних конструкціях, як правило, використовуються болти діаметром $d = 16 \div 48$ мм. Площа перерізу брутто та нетто даного класу болтів наведена в табл.1.4. Для болтових з'єднань елементів сталевих конструкцій слід застосовувати: сталеві болти і гайки, що задовольняються вимогам ДБН В.2.6-198:2014 п. 6.2.3, 6.2.6 і 6.2.7. Всі болти мають певний клас міцності та точності. За класом міцності використовуються болт 5.5, 6.6, 8.8, 10.9 і 12.9, де перша цифра помножена на 100 - це тимчасовий опір сталі у МПа, з якого виготовляється болт, а друга цифра це коефіцієнт (0,5; 0,6; 0,8 і 0,9), на який необхідно помножити тимчасовий опір сталі з якого виготовляється болт, щоб отримати значення межі текучості цієї сталі.

Літерами А, В і С позначається клас точності болтів. А - це високоточний звичайний болт, під який діаметр отвору відповідає діаметру болта, який збільшується на 1 мм, а отвори під болти класу В і С мають розмір на 2-3 мм більше чим діаметр болта.

Болти класу В виготовляються механічним засобом, а клас С виготовляються штамповкою і ці болти ще мають назву «чорні болти». Болти класу точності А слід застосовувати для з'єднань, у яких отвори просвердлені на проєктний діаметр у зібраних елементах або за кондукторами в окремих елементах і деталях, або просверд-

лені чи продавлені на менший діаметр в окремих деталях з подальшим розсвердлюванням до проєктного діаметру у зібраних елементах.

Таблиця.1.4

Площі перерізів болтів, см^2 , за ГОСТ 1759.4 ДСТУ 3846:2016. Болти та гвинти різьбові. Технічні умови. ДСТУ ISO 898-1:2015 Болти, гвинти та шпильки з метричним різьбленням

d , мм	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
A_b	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
A_{bn}	1,57	1,92	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,16	11,20	14,72
1. Площі перерізу болтів діаметром понад 48 мм слід приймати за ГОСТ 24379.0. 2. Розміри, наведені в дужках, не рекомендується застосовувати, в конструкціях, окрім опор повітряних ліній (ПЛ), відкритих розподільчих пристроїв (ВРП) та контактних мереж (КМ).										

Болти класів точності В і С у багато болтових з'єднаннях слід застосовувати для конструкцій із сталі з межею текучості до 390 Н/мм^2 (МПа).

В Таблиця1.5. наведені рекомендації по вибору класу міцності болтів в залежності від умов їхнього застосування та в залежності від умов їх роботи.

Гайки у болтових з'єднаннях слід застосовувати згідно з ГОСТ 5915 ДСТУ 3916-97 «Гайки шестигранні. При цьому необхідно приймати клас міцності гайок відповідно до класу міцності болтів, а саме: 5 - при 5.6, 5.8, 6.6; 8 - при 8.8; 10 - при 10.9.

У тих випадках, коли болти працюють тільки на зріз допускається приймати клас міцності гайок 4 при класах міцності болтів 5.6, 5.8, 6.6; 6 - при 8.8; 8 - при 10.9.

Для запобігання самовідгвинчуванню гайок у болтових з'єднаннях слід застосовувати шайби. Основні типи шайб, які використовуються у болтових з'єднаннях: круглі згідно з ГОСТ 11371 ДСТУ 2479-94, на скошених поверхнях - косі, згідно з

ГОСТ 10906 та пружинні нормальні згідно з ГОСТ 6402 ДСТУ 2918-94 «Шайби пружинні або дві гайки.

Таблиця 1.5

Клас міцності болтів і вимоги до них за ГОСТ 1759.4 ДСТУ 3846:2016 Болти та гвинти різьбові. Технічні умови. ДСТУ ISO 898-1:2015 Болти, гвинти та шпильки з метричним різьбленням у конструкціях

не розраховуються на витривалість		розраховуються на витривалість	
при роботі болтів на			
розтяг або зріз	зріз	розтяг або зріз	зріз
5.6	5.6	5.6	5.6
6.6	6.6	6.6	6.6
8.8	8.8	8.8	8.8
10.9	10.9	10.9	10.9
-	12.9	-	12.9

При виконанні монтажних з'єднань на болтах класів точності А, В і С голівки і гайки болтів повинні щільно стикатися з площинами елементів конструкцій і шайб. Для цього під голівки і гайки постійних болтів повинні обов'язково ставитись круглі шайби, не більше двох під гайку і однієї під головку. В місцях примикання головки або гайки до похилих площин необхідно використовувати косі шайби. У всіх випадках різьба болта повинна знаходитися ззовні отвору з'єднаних елементів, а гладка частина стрижня болта не повинна виступати за межі шайби.

Згідно з вимогами ДБН В.2.6-198:2014 [1] та ДСТУ EN 1993-1-8 [9] після закручування гайки на болті повинна залишатися хоча б одна повна нитка різьби, яка виступає за гайку, щоб гарантувати надійність з'єднання. Закріплення гайок на постійних болтах повинно здійснюватися відповідно до вказівок технічної документації шляхом постановки контргайок або пружинних шайб. Якість затягування постійних болтів повинна перевірятися шляхом обстукування молотком вагою 0,5 кг, при цьому, болт не повинен тремтіти або переміщатися, а щільність стягування перевіряється

щупом завтовшки 0,3 мм і він не повинен входити в зазори між деталями з'єднання безпосередньо поблизу болтів. Допускається проходження щупа між деталями з'єднання на глибину до зони розташування шайби. Болти і гайки повинні мати маркування згідно з вимогами діючих нормативних документів.

Отвори під болти виконуються продавлюванням, свердлінням, продавлюванням з послідовним розсвердлюванням.

Співвідношення між номінальними діаметрами болтів класу точності В і С, а також високоміцних і відповідними їм номінальними діаметрами отворів наведені в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Співвідношення між номінальними діаметрами болтів класу точності В і С, а також високоміцних і відповідними їм номінальними діаметрами отворів

Металовироби і отвори	Номінальний діаметр, мм					
Стержні болтів класу точності В, С, а також високоміцних	12	16	20	24	30	36
Отвори для болтів:						
- звичайної міцності	15	19	23	28	33	39
- високоміцних	-	-	21	25	31	-
	-	-	23	28	33	-
	-	-	25	30	35	-
діаметр отвору приймається за проєктом						

У таблиці 1.7, в залежності від способу утворення отворів, наведено рекомендовані діаметри, які можна виконувати продавлюванням або свердлінням та граничні відхилення їх від проєктного значення.

Влаштування отворів продавлюванням забороняється застосовувати для сталей з межею текучості понад 350 МПа. Утворення отворів на менший діаметр із наступним розсвердлюванням на проєктний виконується тільки у випадках, передбачених технічною документацією.

Таблиця 1.7

Рекомендовані діаметри, які можна виконувати продавлювання або свердлінням

СПОСІБ УТВОРЕННЯ ОТВОРУ	ДІАМЕТР ОТВОРУ	ГРАНИЧНЕ ВІДХИЛЕННЯ ДІАМЕТРА, ММ
Продавлювання	до 15	+ 0,6
	понад 15 до 23	+ 0,9
Свердління	понад 23	+ 1,2
	до 27	+ 0,6
	понад 27	+ 0,9

У Єврокодах класифікація болтів і гайок для болтових з'єднань на звичайних болтах наведена в EN 1993-1-8:2005 [9], ДСТУ EN 14399-4:2024 [39] та відповідних стандартів на продукцію (ДСТУ EN 15048-1:2019 З'єднання болтові без попереднього напруження. Частина 1. Загальні вимоги, EN 15048-1:2007, IDT; ДСТУ ISO 898-1:2015 Механічні властивості кріпильних виробів з вуглецевої сталі та легованої сталі. Частина 1. Болти, гвинти та шпильки. Механічні властивості та методи випробувань, ISO 898-1:2013, IDT; ДСТУ ISO 898-2:2015 Механічні властивості кріпильних виробів з вуглецевої сталі та легованої сталі. Гайки встановленого класу міцності. Механічні властивості та методи випробувань, ISO 898-2:2012, IDT).

У звичайних з'єднаннях застосовуються болти загального призначення (non-preloaded bolts), які не працюють на попереднє натягування. Класи міцності болтів (за EN ISO 898-1): 4.6; 4.8 - низької міцності (для допоміжних і тимчасових конструкцій); 5.6; 5.8 - середньої міцності (для легких конструкцій, огорожень); 8.8 - найпоширеніші в несучих конструкціях; 10.9 - високої міцності, застосовуються у відповідальних конструкціях. Числове позначення: перша цифра $\times 100$ = тимчасовий опір (R_m , МПа), добуток першої на десяткову частину другої = границя текучості / R_m . За EN ISO 898-2 гайки класифікують відповідно до класів міцності болтів: до болтів 4.6, 5.6, 5.8 - гайки класу 5; до болтів 8.8 - гайки класу 8; до болтів 10.9 - гайки класу 10.

Стандарти для звичайних болтових з'єднань EN 15048-1:2007 визначає вимоги до комплектів (болт + гайка + шайба) для несучих з'єднань. Такі болти не вимагають контролю зусилля затягування, на відміну від високоякісних попередньо напружених.

Класифікація болтів і гайок для з'єднань на високоміцних болтах.

Фрикційні з'єднання, в яких розрахункове зусилля передається через тертя, що виникає на контактних поверхнях з'єднуваних елементів внаслідок натягу високоміцних болтів, слід застосовувати :

- у конструкціях, що безпосередньо сприймають дію рухомих, вібраційних чи динамічних навантажень;
- у болтових з'єднаннях, до яких висувуються підвищені вимоги щодо обмеження деформативності.

У фрикційних з'єднаннях слід застосовувати болти, гайки і шайби відповідно до рекомендацій ДБН.

Болти слід розміщувати згідно з вимогами, наведеними у Таблиця 1.12.3 [1], при цьому залежно від умов складання з'єднання різниця між номінальними діаметрами болта та отвору може складати від 1 до 6 мм.

Фрикційні з'єднання використовуються в стикових та вузлових з'єднаннях конструкцій. Такі з'єднання повинні забезпечувати міцність, що дорівнює міцності основного металу з'єднувальних елементів і конструкцій. Несуча здатність фрикційних з'єднань забезпечується силами тертя, що виникають в з'єднувальних елементах за рахунок контрольованого натягу болтів.

Діаметр болта у фрикційному з'єднанні слід приймати, як правило, не меншим за товщину найтовстішого елемента у з'єднанні.

У проєкті повинні бути вказані марки сталі та механічні властивості болтів, гайок і шайб, а також стандарти, за яким необхідно виконувати натяг високоміцних болтів і яке необхідно приймати таким, що дорівнює $P_b = R_{bh} A_{bh}$.

У фрикційних з'єднаннях поверхні контакту обробляються способом, передбаченим в технічній документації. Це можуть бути дробеметальна або дробеструмене-

ва обробка поверхонь, газополуменева, зачистка сталевими щітками. З поверхонь, що підлягають обробці, необхідно заздалегідь видалити масляні забруднення. Стан поверхонь після обробки і перед збиранням необхідно контролювати і фіксувати в журналі виробництва робіт.

Допустима максимальна різниця між номінальними діаметрами отворів і болтів складає: для фрикційних з'єднань - не більше 6 мм. Забороняється постановка болтів, що не мають на головці заводського маркування тимчасового опору, клейма підприємства-виробника, умовного позначення номера плавки. Високоміцні болти, гайки та шайби перед встановленням в конструкцію повинні бути очищені від бруду, консервуючого мастила і підготовлені так, щоб при натягненні забезпечувались значення коефіцієнтів закручування і виключалось забруднення контактних поверхонь. Гайка повинна вільно (від руки) накручуватися по різьбі болта.

Задане технічною документацією зусилля натягу високоміцних болтів слід забезпечувати закручуванням гайки необхідним розрахунковим крутильним моментом (натяг за моментом закручування), що досягається за допомогою використання спеціальних динамометричних ключів.

Розрахунковий момент закручування M , необхідний для натягу болта, слід визначати за

$$M = k P d, \quad (1.4)$$

де k - середнє значення коефіцієнта закручування, наведене для кожної партії болтів у сертифікаті підприємства-виробника або таке, що визначається при виконанні робіт за допомогою контрольних приладів;

P - розрахункове зусилля натягу болта, наведене в технічній документації;

d - номінальний діаметр болта.

Після контролю натягу і приймання з'єднання всі зовнішні поверхні стиків, включаючи головки болтів, гайки і виступаючі з них частини різьблення болтів повинні бути очищені, погрунтовані, пофарбовані, а щілини в місцях перепаду товщини і зазори в стиках зашпакльовані.

Для фрикційних з'єднань елементів сталевих конструкцій слід застосовувати високоміцні болти із сталі 40X “селект”, що задовольняють вимоги ГОСТ 22356 і ТУ 14-4-1345, а їхні конструкцію і розміри приймати згідно з ГОСТ 22353; гайки і шайби до них - згідно з ГОСТ 22354 і ГОСТ 22355.

Нормативні документи для високоміцних болтів, аналоги ГОСТ 22353, ГОСТ 22356: ДСТУ EN 14399-4 [40], ДСТУ EN ISO 898-1 [41].

Нормативні документи для гайок, аналоги ГОСТ 22354: ДСТУ EN ISO 4032 [42], ДСТУ EN 14399-2 [43].

Нормативні документи для шайб, аналоги ГОСТ 22355: ДСТУ EN ISO 7089 [44]; ДСТУ EN ISO 7090 [45]; ДСТУ EN 14399-3[46].

У Єврокодах питання високоміцних болтів, гайок та шайб для сталевих болтових з'єднань розглядається в EN 1993-1-8 [9]. Високоміцні болти застосовуються для фрикційних і зсувних з'єднань. Основні класи міцності визначаються за стандартом EN ISO 898-1. Найчастіше використовують болти класу 8.8 та 10.9.

Гайки повинні мати клас міцності, який відповідає класу болта. Шайби запобігають пошкодженню опорних поверхонь і забезпечують рівномірний розподіл зусилля.

Клас HV - високоміцні шайби для попередньо напружених з'єднань. Застосовуються разом з болтами класу 8.8 та 10.9. Системи попередньо напружених болтів Єврокоди (EN 14399) вводять поняття HR та HV болтів: HR (High-strength bolt for friction grip joints, regular) - болти для фрикційних з'єднань; HV (High-strength bolt for friction grip joints, heavy-duty) - посилені болти для більш жорстких умов.

Види болтових з'єднань у Єврокодах

1. Зсувні з'єднання - несуть зусилля за рахунок зминання матеріалу отворів.
2. Фрикційні з'єднання (slip-resistant) - сила передається за рахунок тертя при попередньо натягнутих болтах.
3. Комбіновані з'єднання - зсув + розтяг.

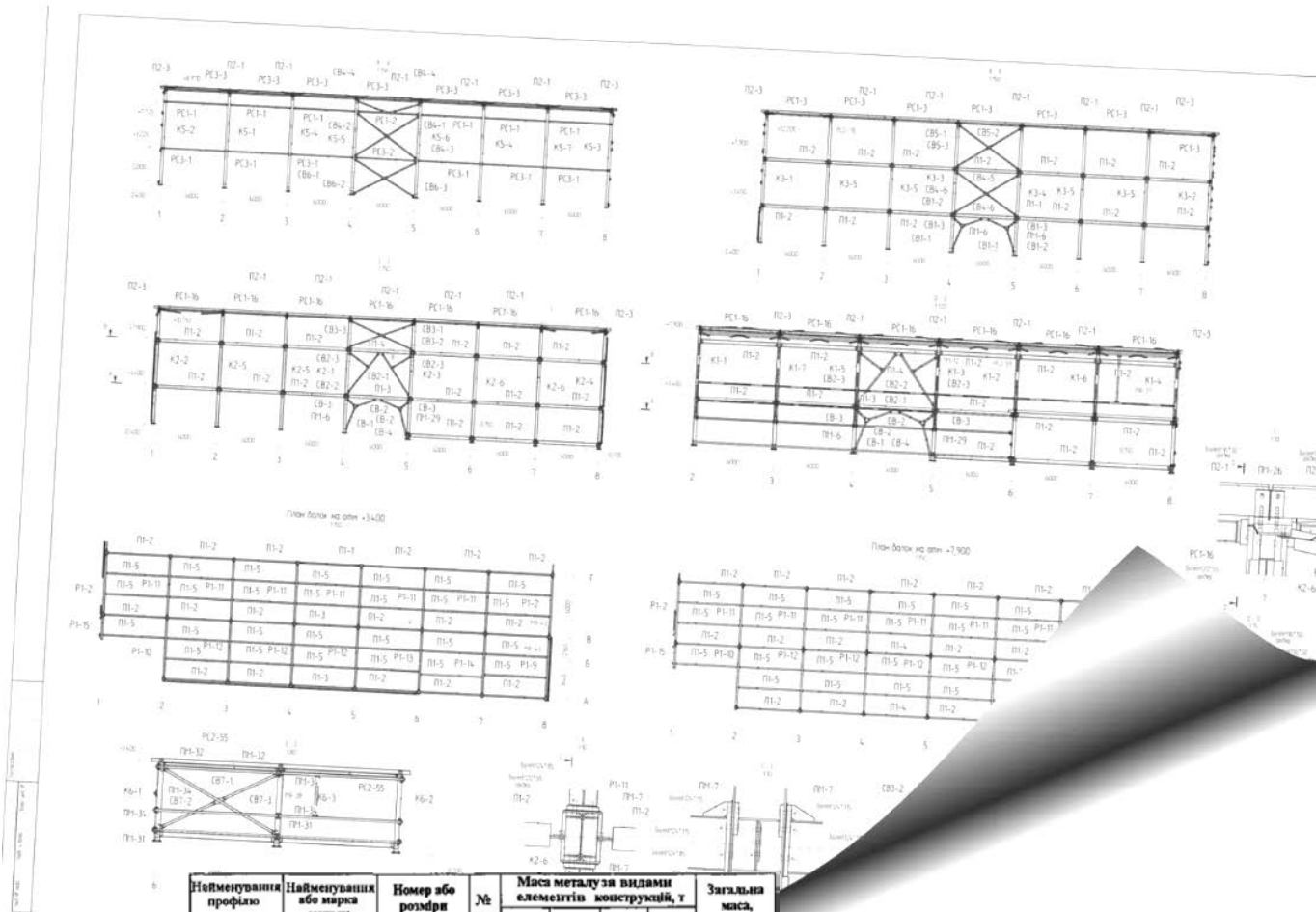
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Який хімічний склад будівельних сталей та яка гранична масова частка вуглецю допускається?
2. Які основні фізичні властивості сталі (густина, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона тощо) використовуються в розрахунках за ДБН та Eurocode 3?
3. Що таке корозійна стійкість сталі? Які види корозії найбільш небезпечні для будівельних конструкцій?
4. Як за ДБН і Eurocode 3 враховується вплив агресивного середовища на вибір марки сталі та захисних заходів?
5. На які три групи поділяються сталі за показниками корозійної стійкості? Наведіть приклади марок сталей для кожної групи.
6. Що таке діаграма розтягу сталі? Чим вона відрізняється для маловуглецевих і низьколегованих сталей?
7. Як у Єврокодах (Eurocode 3) класифікуються сталі? Які гарантійні значення межі текучості та тимчасового опору вони мають?
8. Що означає класифікація перерізів за Eurocode 3 (класи 1–4) та як вона впливає на розрахунок несучої здатності елементів?
9. Які сучасні методи підвищення механічних властивостей сталі застосовуються в будівництві?
10. Що таке хімічний склад сталі і яку роль він відіграє у технології термічного різання та зварювання?
11. Як визначається вуглецевий еквівалент (C_e) і чому він важливий для оцінки зварюваності сталі?
12. Які граничні значення масової частки фосфору та сірки встановлені для низьколегованих сталей за ДБН і EN 10025, та як вони впливають на технологічні властивості?
13. Назвіть середні значення вуглецевого еквівалента для сталей Ст3кп, 10Г2С1 та 12Г2СМФ і поясніть, як це впливає на вибір режимів зварювання.

14. Як у Eurocode 3 (EN 1993) та EN 1011 регламентується оцінка зварюваності сталей та допустимі обмеження на хімічний склад у порівнянні з ДБН?
15. Які теплофізичні константи сталі враховують при розрахунку на пожежостійкість конструкцій?
16. Як хімічний склад впливає на пластичність і ударну в'язкість сталі?
17. Які легуючі елементи найчастіше додають для підвищення корозійної стійкості та механічних властивостей?
18. Як температура впливає на технологічні властивості сталі під час зварювання?
19. Як контролюють хімічний склад сталі на заводах-виробниках для будівельних конструкцій?
20. Що таке сортамент сталевих виробів і як він оформлюється у вигляді стандартів та технічних умов?
21. Які основні стандарти України та Європи регламентують сортамент гарячекатаних і холодногнутих сталевих профілів?
22. Чим відрізняються гарячекатані та холодногнуті профілі за способом виготовлення та застосуванням?
23. Які типи листового прокату виділяють в Україні та Європі, і у чому полягають основні відмінності у вимогах до товщини, ширини та механічних властивостей?
24. Які основні типи кутових профілів застосовуються в Україні, та як вони позначаються?
25. Як у Eurocode регламентуються розміри та механічні властивості кутових профілів, і чим це відрізняється від українських стандартів?
26. Назвіть основні типи двотаврових профілів і поясніть, як позначаються їхні висота, тип і градація товщини в Україні та в Європі.
27. У чому полягають основні відмінності між українськими та європейськими стандартами щодо допусків на прямолінійність, паралельність полиць та ширину двотаврових профілів?
28. Як контролюють сортамент та геометричні розміри виробів на виробництві?

29. Які інноваційні види сталевих профілів використовуються у сучасному будівництві?
30. Які види зварки застосовуються при виготовленні будівельних сталевих конструкцій і який із них є найбільш поширеним у будівництві?
31. Чим відрізняється ручне, механізоване (напівавтоматичне) та автоматичне дугове зварювання за способом подачі електрода/дроту та контролем процесу?
32. Які основні переваги та недоліки зварки під флюсом та зварки у захисному газі?
33. Для чого застосовується електрошлакова зварка і які конструкції є типовими об'єктами її використання?
34. Які є типи зварних з'єднань за взаємним розташуванням елементів у конструкції, та які з них забезпечують найбільшу міцність і щільність?
35. У чому полягають основні відмінності між українськими нормами (ДБН) та Eurocode у підходах до розрахунку зварних швів, особливо щодо стикових і кутових швів?
36. Як визначають допустимі значення товщини шва та довжини прихватки для різних типів сталей?
37. Які матеріали для електродів та дроту застосовують для низьколегованих і високолегованих сталей?
38. Які сучасні технології автоматизованого зварювання використовуються у виробництві будівельних конструкцій?
39. На які два основні типи поділяються болтові з'єднання та в яких випадках застосовуються звичайні болти, а в яких – високоміцні болти?
40. Які переваги та недоліки мають болтові з'єднання у порівнянні зі зварними з'єднаннями?
41. Як визначаються клас міцності та клас точності болтів і гайок, та які співвідношення між ними використовуються в конструкціях? У чому полягають основні відмінності між українськими нормами (ДБН) та Єврокодами щодо класифікації та застосування болтових з'єднань?

РОЗДІЛ 2. ПІДГОТОВКА І РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ



Найменування профілю ГОСТ, ТУ	Найменування або марка металу ГОСТ, ТУ	Номер або розміри профілю	№ з.п.	Маса металу за видами елементів конструкції, т				Загальна маса, т
				1	2	3	4	
Двутаври сталеві гарячекатані ГОСТ 8239-89	С245 ГОСТ 27772-88	І30ШІ	1	000				000
		І20КІ	2	000				000
	Разом:		3	000				000
	С345-3 ГОСТ 27772-88	І40БІ	4	000				000
		І30КІ	5	000				000
	Разом:		6	000				000
Всього профілю:			7					000
Кутники сталеві гарячекатані рівнополічні (ГОСТ 8509-93)	С245 ГОСТ 27772-88	Л100х7	8		000	000		000
		Л125х8	9			000	000	000
	Разом:		10		000	000	000	000



2.1. Оформлення замовлень

Замовлення та договір на виготовлення металевих конструкцій.

1. Прийом замовлення

Замовлення на виготовлення металевих конструкцій завод приймає лише на підставі наряду, виданого об'єднанням, головним комітетом, замовником. На підставі наряду завод укладає договір із замовником.

2. Договір на виготовлення металоконструкцій

Договір - це документ, що визначає:

- обсяг і номенклатуру металоконструкцій, що виготовляються;
- права та обов'язки заводу-виробника і замовника;
- терміни та черговість постачання;
- вартість конструкцій і умови розрахунку;
- умови забезпечення заводу металом та іншими матеріалами;
- технічні вимоги до виготовлення та контролю якості.

3. Підготовка проєкту договору

Після надходження на завод креслень КМ (конструкції металеві) договірне бюро спільно з відділом головного технолога:

- переглядає креслення;
- готує проєкт договору з відображенням обсягу і номенклатури конструкцій;
- визначає терміни постачання;
- визначає технічні умови на виготовлення конструкцій (згідно ДСТУ Б В.2.6-199:2014, EN 1090-2, EN ISO 3834);
- враховує додаткові технічні вимоги замовника;
- встановлює вартість виготовлених металоконструкцій.

4. Сучасні технічні та нормативні вимоги

4.1 Якість та сертифікація. Виробник повинен мати сертифікат відповідності системи управління якістю згідно ISO 9001:2015.

Виготовлення металоконструкцій контролюється відповідно до EN 1090-1:2015, що включає CE-маркування.

Контроль якості зварювання - за EN ISO 3834, включаючи кваліфікацію зварників EN ISO 9606-1.

4.2 Зварні з'єднання.

Типи швів: стикові, кутові, таврові, накладні згідно EN 1993-1-8, ДСТУ Б В.2.6-198:2014.

Розрахунок швів: на зріз і стиснення, повне проплавлення - для стикових швів.

Використання електродів, дротів та флюсів - відповідно до ДСТУ Б В.2.6-198:2014, EN ISO 2560, EN ISO 14171.

Контроль якості швів: візуальний, ультразвуковий та рентгенівський.

4.3. Болтові з'єднання.

Застосовуються звичайні болти (non-preloaded) та високоміцні болти (preloaded) згідно EN ISO 898-1, EN ISO 898-2, EN 15048-1.

Класи міцності болтів: 4.6, 4.8 - для тимчасових конструкцій; 5.6, 5.8 - для легких конструкцій; 8.8 - для несучих; 10.9 - для відповідальних конструкцій.

Гайки підбираються відповідно до класу міцності болта: 5 - для болтів 4.6, 5.6, 5.8; 8 - для болтів 8.8; 10 - для болтів 10.9.

Застосування шайб: круглі - під головку і гайку; косі - на похилих поверхнях; пружинні - для запобігання самовідгвинченню.

Вимоги до отворів: продавлювання, свердління або розсвердлювання - залежно від межі текучості сталі, рекомендовані діаметри та граничні відхилення - згідно Таблиця 1.6-1.7 ДСТУ.

4.4. Матеріали. Сталь конструкційна - відповідно до ДСТУ EN 10025-2:2010, EN 10025-3. Маркування та сертифікація матеріалів обов'язкові.

4.5. Документація та контроль.

Креслення та технічна документація узгоджуються із заводом та замовником. Всі роботи виконуються із дотриманням норм безпеки та екології ISO 14001, OHSAS 18001 / ISO 45001. Додаткові умови договору можуть включати контроль якості, сертифікацію зварних швів, монтажні вимоги, транспортування та зберігання конструкцій.

Сучасний договір на виготовлення металевих конструкцій поєднує традиційні вимоги щодо обсягу, термінів і вартості з сучасними нормами якості, сертифікації та стандартами Єврокоду, що забезпечує високу надійність, безпеку та відповідність міжнародним стандартам.

2.2. Розробка технічної документації

2.2.1. Комплект технічної документації.

На підставі проекту договору та робочих креслень стадії КМ (конструкції металеві) конструкторський відділ розробляє повний комплект технічної документації, необхідної для виготовлення, контролю якості, транспортування та монтажу металоконструкцій. Основними складовими документації є.

а) Робочі креслення стадії КМД (конструкції металеві деталізовані, див. додаток А):

- містять деталізацію кожного елемента конструкції;
- вказують точні розміри, допуски, типи з'єднань та матеріали;
- передбачають всі необхідні маркування для складання на виробництві;
- передбачають відповідність стандартам EN 1090-2, ISO 129-1 для креслень металевих конструкцій.

б) Монтажні схеми (див. рис. 2.1):

- демонструють послідовність складання вузлів та всієї конструкції;
- включають інформацію про типи болтових і зварних з'єднань, момент затягування болтів та допустимі допуски;
- забезпечують зручність монтажу на будівельному майданчику;
- узгоджуються з EN 1090-2:2018, що регламентує монтаж сталевих конструкцій.

в) Листки готових елементів (див. табл. 2.1) на кожне креслення включають:

- перелік деталей, що входять у конкретну конструкцію;
- маркування деталей, масу, обробку поверхні та особливості з'єднань;
- допомагають організувати виробничий процес та складський облік.

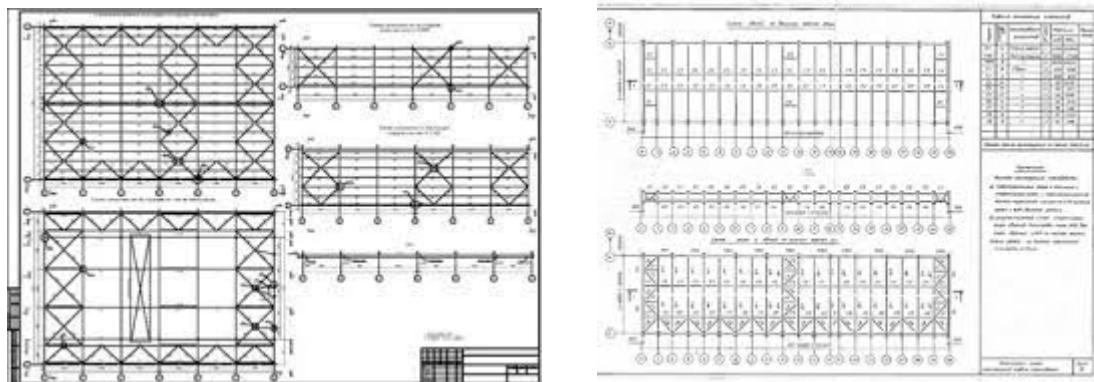


Рис. 2.1. Монтажні схеми металевих конструкцій

Таблиця 2.1

Зміст Листка готових елементів

№ графи	Назва графи	Зміст і вимоги
1	Позначення елемента	Марка або номер елемента, що відповідає позначенню на кресленні (наприклад, К1, Ф2, ПЗ тощо).
2	Найменування	Назва деталі або збірної одиниці: «пластина», «кутник», «швелер», «ребро жорсткості» тощо.
3	Кількість	Кількість однакових деталей у даному елементі.
4	Матеріал	Марка сталі (наприклад, С245, С345, 09Г2С), профіль або лист із зазначенням товщини.
5	Розміри, мм	Основні габаритні розміри елемента: довжина, ширина, товщина або переріз (наприклад, 100×8, 60×60×4).
6	Маса одного елемента, кг	Обчислюється за геометричними розмірами й густиною матеріалу.
7	Загальна маса, кг	Добуток маси одного елемента на кількість.
8	Примітка	Вказують особливості виготовлення, маркування, зварювання, ґрунтування тощо.

Листки готових елементів - це обов'язкові додатки до кожного креслення робочої документації металевих конструкцій, які виконуються згідно з вимогами ДСТУ Б А.2.4-4:2009 (Система проектної документації для будівництва. Робочі креслення металевих конструкцій), а також відповідно до положень ДСТУ ISO

7200:2006 (Основний напис для конструкторських документів), див. приклад у табл. 2.2. Кожне робоче креслення металоконструкцій повинно супроводжуватися Листком готових елементів, який розташовують: або на самому кресленні (як таблицю в правому нижньому куті або вільному полі аркуша); або на окремому аркуші, якщо кількість елементів велика.

Таблиця 2.2

Листок готових елементів (ЛГЕ)

Позначення	Найменування	Кількість	Матеріал	Розміри, мм	Маса 1 шт., кг	Загальна маса, кг	Примітка
K1	Колона	2	Двотавр №30, С245	6000	187,5	375	Зварна, грунт МС- 0179
Ф2	Ферма покриття	4	С345	18000×1200	920	3680	Збірна
ПЗ	Пластина опорна	8	Ст3сп	250×250×12	5,9	47,2	Свердління Ø18
Р4	Ребро жорсткості	16	С245	120×80×8	0,6	9,6	

г) Відомість монтажних болтів (див. табл. 2.3):

- список болтів і кріпильних елементів із зазначенням класу міцності, діаметра, довжини та необхідної кількості;
- включає вимоги до шайб і гайок, моменти затягування та рекомендації щодо перевірки;
- узгоджується з EN ISO 898-1, EN 15048-1.

д) Креслення пакування і відвантаження конструкцій.

Креслення пакування та відвантаження конструкцій є важливою складовою частиною робочої документації для забезпечення безпечного транспортування та зберігання металевих конструкцій. Вони повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.6-200:2014, що регламентує транспортування, складування та підготовку металевих конструкцій до монтажу.

Таблиця 2.3

Відомість монтажних болтів

Параметр / Вузол	Вузол К1	Вузол К2	Вузол К3	Вузол К4	Вузол К5
Тип болтового з'єднання	З'єднання ферм із колоною	З'єднання ригеля з фасонкою	З'єднання розкосів	Опорний вузол балки	З'єднання опорних ребер
Болт (клас міцності, стандарт)	Болт M20×60, 8.8, EN 15048-1	Болт M16×50, 8.8, EN 15048-1	Болт M12×45, 8.8, EN 15048-1	Болт M24×80, 10.9, EN 14399-3 (HV)	Болт M20×70, 8.8, EN 15048-1
D×L, мм	20×60	16×50	12×45	24×80	20×70
Кількість, шт	32	48	56	16	24
Гайка (стандарт, клас міцності)	EN ISO 4032, клас 8	EN ISO 4032, клас 8	EN ISO 4032, клас 8	EN 14399-4, клас 10	EN ISO 4032, клас 8
Шайба (стандарт)	EN ISO 7089	EN ISO 7092	EN ISO 7090	EN 14399-6	EN ISO 7089
Момент затягування, Н·м	230	145	85	460	230
Примітка	Монтаж із контролем моменту	Для сталевих листів t=8–10мм	Тимчасове з'єднання	Високоміцне тертя	Герметизація мастикою

Примітки:

1. Болти та гайки постачати у зібраному комплекті відповідно до ДСТУ EN 15048-1:2014 (несучі з'єднання без попереднього натягу).
2. Високоміцні болти (клас 10.9) згідно ДСТУ EN 14399-3:2016 (HV-система) використовуються для тертя.
3. Перед монтажем перевірити чистоту поверхонь і відсутність мастильних матеріалів.
4. Контроль моменту затягування виконувати динамометричним ключем, допускається контроль кутом повороту.
5. Усі елементи кріплення повинні мати антикорозійне покриття цинкове $\geq 12 \mu\text{м}$ (ISO 4042).
6. У разі монтажу при низьких температурах - використовувати болти класу 8.8 з випробуванням на ударну в'язкість ($-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Основні елементи креслення пакування та відвантаження конструкцій

Показують, як елементи конструкції повинні бути розміщені на транспортному засобі або складі для забезпечення їх стабільності та безпеки під час транспортування.

Розміри та вага конструкцій: вказують точні розміри та масу кожного елемента для правильного планування вантажу та вибору відповідного транспорту.

Методи кріплення та фіксації: описують способи закріплення конструкцій на транспортних засобах або в складських приміщеннях, щоб уникнути їх переміщення або пошкодження.

Позначення вантажних одиниць: вказують індивідуальні маркування або коди для кожної одиниці вантажу для полегшення ідентифікації та обліку.

Інструкції щодо розвантаження: надають рекомендації щодо безпечного розвантаження конструкцій, включаючи використання підйомних механізмів та інші заходи безпеки.

Інформація про пакувальні матеріали: вказують типи та характеристики матеріалів, які використовуються для пакування конструкцій, такі як дерев'яні піддони, стрейч-плівка, брезент тощо.

Позначення осей та орієнтація: описують орієнтацію конструкцій відносно осей транспортного засобу або складу для забезпечення правильного розподілу навантаження.

Ці креслення повинні бути детальними та точними, щоб забезпечити ефективне та безпечне транспортування та зберігання конструкцій. Вони є невід'ємною частиною робочої документації КМ та КМД.

Для детальнішого ознайомлення з вимогами до транспортування та складування металевих конструкцій рекомендується ознайомитися з ДСТУ Б В.2.6-200:2014. Цей стандарт містить детальні вказівки та вимоги щодо пакування, транспортування та складування конструкцій.

Важливо зазначити, що конкретні креслення пакування та відвантаження конструкцій можуть варіюватися в залежності від типу та розміру конструкцій, а також

від специфічних вимог проекту. Тому рекомендується розробляти такі креслення індивідуально для кожного конкретного випадку.

е) Схеми загальних складань.

Схеми загальних складань - це важливий елемент робочої документації, що демонструє взаємне розташування елементів конструкції у вигляді загальних збірок. Вони містять контрольні точки та посилання на деталі, що забезпечує перевірку правильності складання на виробництві.

Взаємне розташування елементів: схеми показують, як окремі деталі та вузли конструкції взаємодіють між собою, їхнє розташування в просторі та способи з'єднання.

Контрольні точки: позначення контрольних точок на схемах дозволяє здійснювати точну перевірку правильності складання конструкції, що є критично важливим для забезпечення її надійності та безпеки.

Посилання на деталі: кожен елемент на схемі має посилання на відповідні деталі або вузли, що дозволяє легко ідентифікувати їх у загальному списку деталей або в інших частинах документації.

Перевірка правильності складання: схеми допомагають на етапі виробництва переконатися, що всі елементи конструкції правильно зібрані, що знижує ризик помилок та дефектів.

Ці схеми є невід'ємною частиною робочої документації КМ та КМД і використовуються для забезпечення ефективного та безпечного процесу складання конструкцій.

ж) Карта розкрою (див. рис. 2.2).

Призначення: планування розкрою металевих листів, профілів, труб або інших елементів на окремі деталі. Забезпечення оптимального використання матеріалів та мінімізації відходів. Контроль відповідності деталей кресленням конструкцій.

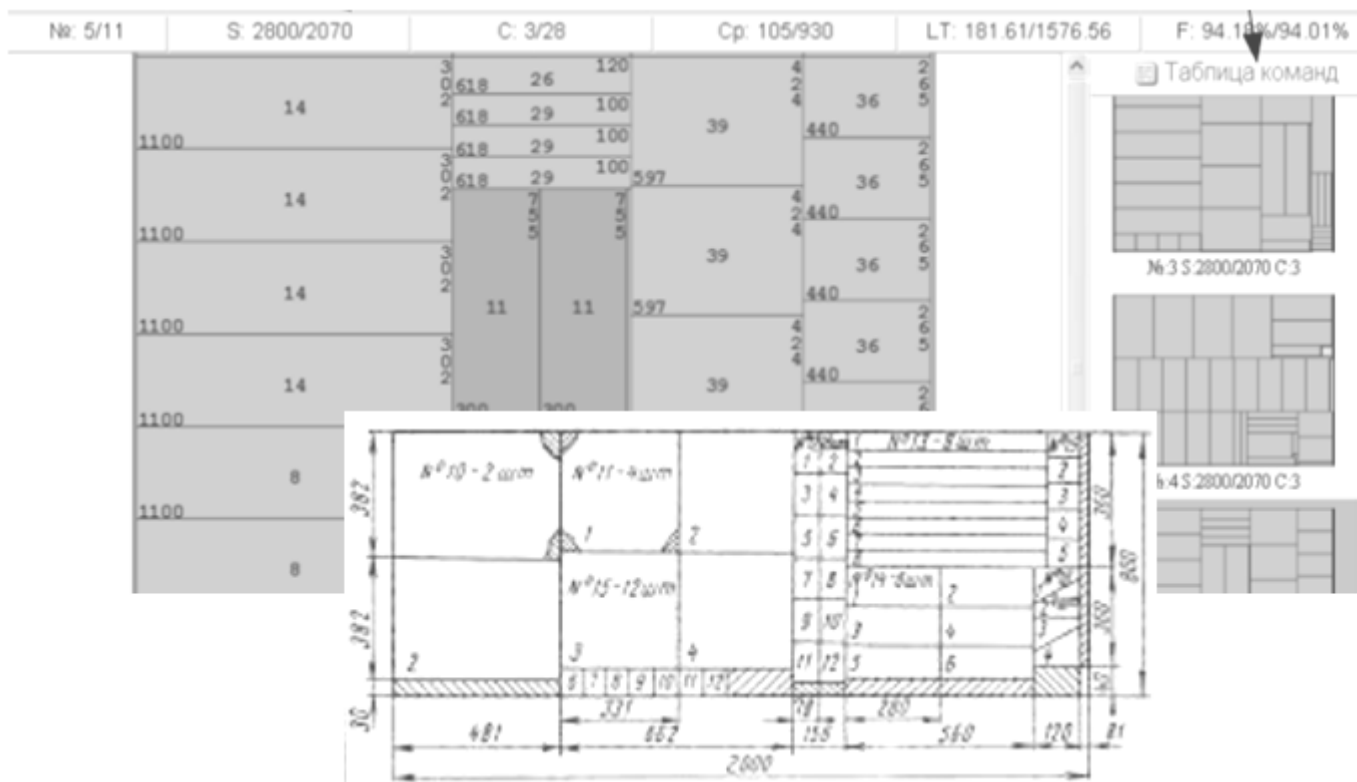


Рис. 2.2. Карта розкрою металевих конструкцій

Склад карти розкрою:

- схеми та ескізи: графічне відображення, як саме деталі розташовуються на заготовці металу;
- розміри деталей: точні довжини, ширини, товщини та кутові вирізи;
- позначення матеріалу: марка сталі, товщина, стандарт;
- кількість деталей: кількість елементів, які потрібно отримати з однієї заготовки;
- напрямок різку: для листового металу - вказівка орієнтації деталей щодо волокон або прокату, щоб врахувати механічні властивості матеріалу;
- відходи та залишки: інформація про частини, що залишаються після розкрою, та можливість їхнього повторного використання.

Призначення на виробництві:

- допомагає слюсарям і зварювальникам отримати деталі з мінімальними відходами;

- використовується для підготовки заготовок для складання вузлів та підвузлів конструкцій;
- забезпечує перевірку точності розкрою перед зварюванням або збіркою.

Візуалізація:

- часто карта розкрою оформлюється у вигляді схем, де на одному аркуші показано розташування всіх деталей на листі металу або на профілі.
- використовуються позначки деталей, які відповідають кресленням КМ/КМД.

Контроль і документація: на карті зазвичай зазначають відповідальних за розкрій, дату виконання та дозволи на виконання.

Служить документом для контролю якості виготовлених деталей.

Рекомендується виконувати за допомогою САПР (CAD/CAM) для автоматизації.

з) Заявочна специфікація металу (див. табл. 2.4):

- перелік необхідних матеріалів із зазначенням марок сталі, товщини, кількості та сертифікатів якості;
- включає інформацію про поверхневу обробку, захисне покриття та додаткові вимоги замовника;
- забезпечує узгодження із постачальниками та виробничим планом.

Направлення та контроль документації.

Уся технічна документація направляється за призначенням згідно з регламентом підприємства (наприклад, Таблиця 2.1), який включає виробничий, монтажний та контрольний відділи.

Вся конструкторська документація, що надходить на підприємство, підлягає ретельному аналізу і перевірці на:

- відповідність креслень робочому проєкту;
- виявлення помилок;
- перевірку технологічності складання та монтажу;
- дотримання сучасних норм якості та безпеки (EN 1090-2, ISO 383, ISO 9001).

РОЗДІЛ 2. ПІДГОТОВКА І РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Для критичних конструкцій може застосовуватись трирівневий контроль: перевірка конструкторським відділом - технологічна перевірка - зовнішня експертиза.

Таблиця 2.4

Приклад заявочної специфікації металу

Параметр / Деталь	К1	К2	К3	К4	К5
Тип матеріалу	Лист	Секція	Труба	Лист	Профіль
Марка сталі	C245	C245	C245	C275	C245
Профіль / Форма	Лист	Двутавров	Квадратна	Лист	Швелер
Розміри, мм	8×2000×6000	200×100×10	60×60×3	10×1500×6000	120×60×6
Довжина, м	6	6	6	6	6
Кількість, шт	12	8	16	10	6
Маса 1 шт, кг	75	150	21	135	70
Загальна маса, кг	900	1200	336	1350	420
Примітка	Для опорних плит	Для ригелів	Для зв'язків	Для обшивки	Для рам

Пояснення до таблиці

Позначення деталі - унікальний код або маркування, що відповідає кресленню КМ.

Тип матеріалу - лист, профіль, труба, секція і т. п.

Марка сталі - стандартна марка відповідно до ДСТУ.

Профіль / Форма - форма елемента (двутавр, швелер, квадратна труба тощо).

Розміри, мм - товщина, ширина, висота/сторона профілю.

Довжина, м - довжина заготовки, з якої буде виготовлена деталь.

Кількість, шт - кількість заготовок або деталей.

Маса 1 шт, кг - розрахунок маси однієї заготовки або деталі.

Загальна маса, кг - маса всіх деталей конкретного типу.

Примітка - додаткова інформація щодо застосування або особливих вимог.

Сучасні рекомендації.

Використовувати електронний документообіг для спрощення відстеження та збереження всіх ревізій креслень.

Впроваджувати BIM-моделі металоконструкцій для узгодження з монтажем і постачанням.

Застосовувати QR-коди та маркування деталей для швидкої ідентифікації на виробництві та будмайданчику.

2.2.2. Виготовлення конструкцій

Сталеві конструкції повинні виготовлятися строго відповідно до креслень стадії КМД (конструкції металеві деталізовані), які розробляються на основі робочих креслень стадії КМ (конструкції металеві). Креслення мають бути повними, точними та зрозумілими, щоб забезпечити правильне виготовлення, монтаж та експлуатацію конструкцій без додаткових уточнень на виробництві.

Усі креслення повинні відповідати сучасним нормам і стандартам:

1. EN 1993-1-1 (Єврокод 3) - основні принципи проектування сталевих конструкцій, включаючи розрахунок на міцність, стійкість та деформації.

2. EN 1090-2:2018 - вимоги до складання та монтажу сталевих конструкцій, забезпечення точності збірки та контролю якості зварних і болтових з'єднань.

3. ISO 129-1 - правила нанесення розмірів, допусків та маркування на кресленнях металоконструкцій.

4. ISO 9001 / ISO 3834 - забезпечення системи контролю якості та процесів виготовлення конструкцій.

Креслення повинні містити:

- точні розміри та допуски для всіх елементів;
- маркування матеріалів та марок сталі;
- типи та розміри з'єднань, включаючи болтові, зварні та фрикційні;
- послідовність складання та монтажу, щоб уникнути помилок під час виробництва та монтажу;

технічні примітки та вимоги замовника, у тому числі щодо поверхневої обробки, фарбування та захисту від корозії.

Виконання креслень у відповідності до вищезазначених стандартів забезпечує:

- точність виготовлення та правильне розташування елементів під час зборки;
- відповідність конструкцій нормативним вимогам щодо міцності, стійкості та безпеки;
- можливість сертифікації конструкцій у відповідності до EN 1090;
- спрощення монтажу на будівельному майданчику та зменшення ризику дефектів і переробок.

Додаткові рекомендації:

Використовувати CAD/BIM моделі для перевірки збірки та уникнення колізій;

Проводити внутрішній аудит креслень перед передачею на виробництво;

Всі зміни та уточнення повинні бути зафіксовані у вигляді рецензій або змін до КМД з дотриманням процедур контролю якості.

2.2.3. Технологічні вимоги до креслень

Креслення металевих конструкцій повинні відповідати не тільки конструкторським, але й технологічним вимогам, що забезпечують ефективне виготовлення, складання та монтаж.

Основні технологічні вимоги:

1. Повнота інформації. Всі розміри, допуски і технічні характеристики елементів повинні бути вказані чітко і однозначно. Зазначаються типи матеріалів, марки сталі, товщина листів, профілі та відповідні стандарти (ДСТУ, EN, ISO). Вказується точне розташування з'єднань (зварних, болтових, фрикційних) з розмірами і конфігурацією швів.

2. Збірка та монтаж. Креслення повинні містити послідовність складання конструкцій на заводі та послідовність монтажу на будівельному майданчику. Позначаються шви, болтові з'єднання та їх затяжка, типи та кількість шайб і контрга-

йок. Вказуються допустимі методи складання і технологічні операції (зварка, свердління, фрезерування, гнуття).

3. Технологічна обробка елементів. Вказуються типи обробки кромek (скоси, фаски, відбортовки), необхідні для зварювання або болтових з'єднань. Позначаються зони фарбування, антикорозійного покриття та термообробки. Для великих і складних елементів - карти розкрою та деталювання для оптимального використання матеріалу.

4. Допуски та посадки. Всі розміри та геометричні характеристики елементів повинні відповідати вимогам EN ISO 129-1 та EN 1090-2. Вказуються допустимі відхилення для отворів, довжин, кутів і товщини матеріалу. Особлива увага приділяється отворах під болти високої міцності та зварним швам, щоб уникнути перекосів при складанні.

5. Контроль якості. На кресленнях повинні бути позначені контрольні точки, які підлягають вимірюванню і перевірці під час виробництва. Вказуються методи контролю (візуальний, вимірювальний, неруйнівний контроль зварних швів). Для складних вузлів - окремі листки або таблиці перевірки з'єднань і складання.

6. Відповідність стандартам і нормативам. Креслення повинні відповідати EN 1993-1-1 (Єврокод 3) для розрахунку конструкцій на міцність і стійкість. Виконання креслень має відповідати EN 1090-2 щодо складання, EN ISO 898 щодо болтів і гайок, а також внутрішнім регламентам підприємства. Всі зміни і корекції повинні бути зафіксовані у вигляді рецензій або змін до КМ/КМД.

7. Зручність для виробництва. Креслення повинні бути читабельними, логічно структурованими та забезпечувати безпомилкове виготовлення деталей. Всі елементи повинні бути марковані для полегшення складання та монтажу. Для великих конструкцій рекомендується використання CAD/BIM моделей для перевірки колізій та точності складання.

2.2.4. Відповідальність за креслення

Організація, яка розробляє креслення стадії КМД (конструкції металеві деталізовані), несе повну відповідальність за розроблені креслення:

1. Відповідність креслень стадії КМД. Креслення КМД повинні точно відтворювати форми, розміри та конфігурацію елементів, визначені на кресленнях стадії КМ. Забороняється внесення змін до креслень без письмового погодження з розробниками стадії КМ.

2. Відповідальність за правильний розрахунок міцності всіх заводських та монтажних з'єднань (зварних, болтових, фрикційних) лежить на організації-розробнику креслень. Міцність і стійкість з'єднань повинні відповідати вимогам EN 1993-1-8 (Єврокод 3, частина про проєктування вузлів) та ДСТУ/EN на відповідні конструктивні елементи.

3. Правильність розмірів елементів та їх узгодження. Креслення КМД повинні забезпечувати точне виготовлення деталей без додаткових виправлень. Всі розміри повинні бути узгоджені між собою і перевірені на технологічну узгодженість складання конструкцій. Особлива увага приділяється отворам під болти високої міцності та положенню зварних швів.

4. Дотримання технологічних вимог монтажу. Креслення повинні забезпечувати можливість монтажу без порушення технологічних регламентів. Всі вимоги до послідовності складання, контролю з'єднань, допусків та застосування стандартних елементів (шайби, контргайки, болти) мають бути враховані.

5. Контроль і погодження змін. Відхилення від креслень КМД допускаються тільки після письмового погодження з організацією, яка розробила стадію КМ. Всі зміни повинні фіксуватися в актах змін або рецензіях для забезпечення відстежуваності та контролю якості.

6. Відповідність стандартам управління якістю. Всі процеси розробки, перевірки та погодження креслень повинні відповідати EN ISO 9001 щодо управління якістю. Організація-розробник зобов'язана вести документацію, що підтверджує перевірку креслень, проведення розрахунків та дотримання вимог стандартів.

2.2.5. Контроль якості при виготовленні

При виготовленні сталевих конструкцій необхідно забезпечити систематичний контроль відповідно до проєктної документації, технологічних карт, плану виконан-

ня робіт та вимог стандартів EN 1090-2 і EN ISO 12944. Контроль здійснюється на всіх ключових етапах виробництва:

1. Виготовлення деталей. Перевірка геометричних розмірів, допусків і форм деталей відповідно до креслень КМД. Контроль матеріалів, марок сталі, сертифікації поставок та відповідності технічним умовам (ДСТУ, EN).

2. Складання під зварювання або болтові з'єднання. Перевірка правильності розташування елементів та їх відповідності технологічним картам та кресленням. Контроль сумісності деталей, точності отворів для болтів і фіксації позицій під зварювання.

3. Зварювання або постановка болтів. Перевірка якості зварних швів (візуально або за допомогою неруйнівних контролів - НКТ). Контроль затяжки болтів, відповідності зусилля попереднього натягу та правильності установки шайб і контргайок.

4. Загальне і контрольне складання. Перевірка геометричної відповідності зібраних конструкцій кресленням КМ і КМД. Виявлення відхилень та усунення дефектів до наступних етапів обробки та фарбування.

5. Попереднє напруження конструкцій. Контроль правильності попереднього натягу болтів високої міцності (якщо застосовуються ці болти). Перевірка відповідності величини напруження розрахунковим значенням за EN 1993-1-8.

6. Підготовка поверхонь під ґрунтування та фарбування. Перевірка чистоти та шорсткості поверхні згідно з EN ISO 12944. Контроль видалення іржі, мастил, пилу та інших забруднень.

7. Нанесення ґрунтовок і фарб. Перевірка товщини покриття, рівномірності та адгезії. Виконання контролю за стандартами EN ISO 2808, EN ISO 4624 (адгезія) та EN ISO 8501 (підготовка поверхні).

8. Нанесення захисних покриттів. Контроль товщини та цілісності лакофарбових та полімерних покриттів. Забезпечення захисту від корозії відповідно до класу експлуатації за EN ISO 12944.

9. Випробування готових конструкцій. Механічні та статичні випробування (за потребою) для перевірки міцності та жорсткості конструкцій. Контроль відповідності розмірів і форми готових елементів кресленням, перевірка з'єднань, зовнішнього вигляду та захисних покриттів.

Всі етапи контролю повинні документуватися у формі журналів контролю якості, протоколів випробувань та актів приймання, що забезпечує прозорість та відповідність вимогам стандартів ISO та Єврокодів.

2.2.6 Вимоги до матеріалів.

1. Марки сталі та якість матеріалів. Всі металеві конструкції повинні виготовлятися з матеріалів, що відповідають вимогам національних стандартів (ДСТУ EN 10025) та європейських стандартів на конструкційні сталі, включно з вимогами до механічних властивостей, хімічного складу та фізико-механічної однорідності. Для спеціальних конструкцій допускається використання сталей підвищеної міцності або сталей з особливими властивостями (корозійностійкі, низькотемпературні), згідно з відповідними стандартами EN 10210, EN 10219.

2. Документація та сертифікація. Якість матеріалів має підтверджуватися сертифікатами постачальника або паспортами якості. У разі сумнівів або вимог замовника можливе проведення лабораторних випробувань: визначення хімічного складу, механічних властивостей, ударної в'язкості, товщини листів, контроль однорідності структури.

3. Відповідність стандартам управління якістю. Всі етапи постачання, приймання та перевірки матеріалів повинні відповідати EN ISO 9001 щодо системи управління якістю та EN 10025 для підтвердження механічних та технологічних характеристик сталі. Для окремих проєктів може застосовуватися додатковий контроль відповідності вимогам EN 10204 (сертифікати типу 2.1, 2.2, 3.1 або 3.2).

4. Лабораторний контроль. Випробування можуть включати:

- контроль міцності на розтяг та визначення межі текучості;
- перевірку ударної в'язкості;
- аналіз хімічного складу (спектрометрія);

- перевірку товщини металу та геометричних розмірів;
- контроль однорідності структури та відсутності дефектів.

5. Примітка щодо відповідності нормам. Використання сертифікованих матеріалів забезпечує відповідність сучасним вимогам до надійності сталевих конструкцій та дозволяє гарантувати довговічність, міцність та безпеку виробів у процесі експлуатації.

2.3. Розробка технологічної документації

При надходженні від конструкторського відділу заводу робочих креслень стадії КМД, відділ головного технолога централізовано розробляє технологічний пакет документів на кожне креслення або групу креслень.

Цей пакет включає.

а) Маршрутна технологія виготовлення деталей (маршрутний супровідний лист, див. табл. 2.5):

- регламентує послідовність і умови виконання виробничих операцій;
- містить опис методів обробки (різання, свердління, зварювання, контроль), допуски та технічні вимоги;
- визначає обладнання, оснастку, режими зварювання і термічної обробки;
- пакет складається відповідно до ДБН В.2.6-198:2014 У ЧАСТИНІ РОЗДІЛУ 1, ДСТУ Б В.2.6-199:2014 У ЧАСТИНІ РОЗДІЛУ 2, ДСТУ Б В.2.6-200:2014 У ЧАСТИНІ РОЗДІЛУ 3 та міжнародних норм EN 1090-2.

б) Супровідні листи на метал (див. табл. 2.6):

- зазначають сортамент, марку сталі, сертифікати постачальника;
- регламентують вимоги щодо контролю якості вхідного матеріалу;
- підтверджують відповідність сталі стандартам ДСТУ EN 10025 (для гарячекатаних виробів) та, у разі необхідності, EN 10204 (тип сертифікату).

Таблиця 2.5

Приклад структури маршрутного супровідного листа

Операція	Цех / Відділ	Обладнання	Виконавець	Контроль якості	Час виконання
Розкрій металу	Листопрокатний	Гільютина / Лазер	Слюсар-оператор	Візуальний контроль розмірів	1 год
Згинання / гнуття	Секційний цех	Гнуття на прес-формі	Технолог	Вимір кутів та розмірів	0.5 год
Зварювання вузлів	Зварювальний цех	Зварювальний апарат MIG/MAG	Зварник	Неруйнівний контроль (візуальний, ультразвук)	2 год
Механічна обробка	Механо-обробний цех	Фрезер / Свердлильний верстат	Токар / Фрезерувальник	Контроль точності та допусків	1 год
Термічна обробка / загартування	Термічний цех	Піч	Оператор	Контроль температури і часу	1.5 год
Антикорозійне покриття	Цех фарбування	Камера фарбування / Гальваніка	Фарбувальник	Перевірка товщини покриття $\geq 12 \mu\text{m}$	1 год
Контроль готової деталі	Відділ контролю	Штангенциркуль, рулетка	Контролер	Вимірювання ключових розмірів	0.5 год
Маркування та пакування	Відділ комплектації	Пакувальний верстат / Клейма	Оператор	Візуальний контроль	0.5 год
Відвантаження / транспортування	Логістика	Вантажні механізми	Логіст	Перевірка комплектності	-

Пояснення до таблиці

Послідовно наведені операції. Операція - вид виробничої дії (розкрій, зварювання, фарбування тощо).

Цех / Відділ - місце виконання операції.

Обладнання - верстати, установки або інструменти для виконання операції.

Виконавець - прізвище або посада робітника.

Контроль якості - метод перевірки правильності виконання.

Час виконання - нормативний час операції.

Примітка - додаткові інструкції, вимоги до допусків, матеріалів тощо.

Таблиця 2.6

Приклад супровідного листа на метал

Параметр / Деталь	К1	К2	К3	К4	К5
Марка сталі	C245	C245	C245	C275	C245
Тип матеріалу	Лист	Двутаврова секція	Квадратна труба	Лист	Швелер
Розміри	8×2000×6000	200×100×10	60×60×3	10×1500×6000	120×60×6
Довжина / Кількість	12 шт	8 шт	16 шт	10 шт	6 шт
Маса, кг	900	1200	336	1350	420
Відповідальний	Оператор складу	Оператор складу	Оператор складу	Оператор складу	Оператор складу
Примітка	Для опорних плит	Для ригелів	Для зв'язків	Для обшивки	Для рам

Основні поля супровідного листа

Позначення деталі - код елемента за кресленням.

Марка сталі - відповідно до ДСТУ.

Тип матеріалу - лист, профіль, труба, секція тощо.

Розміри - товщина, ширина, висота або сторона профілю.

Довжина / Кількість - розмір заготовки та кількість штук.

Маса, кг - маса окремої деталі або заготовки.

Відповідальний - прізвище або посада особи, яка контролює рух матеріалу.

Примітка - додаткові відомості, наприклад, призначення деталі або умови зберігання.

в) Відомості напівфабрикату (див. табл. 2.7):

- містять перелік і кількість матеріалів, необхідних для виготовлення деталей;
- включають дані про розкрій листового прокату, використання профільного прокату, труб, сортових сталей;

РОЗДІЛ 2. ПІДГОТОВКА І РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

- дозволяють вести облік матеріалів та контролювати коефіцієнт використання металу.

Таблиця 2.7

Відомість напівфабрикату

Параметр / Деталь	К1	К2	К3	К4	К5
Тип матеріалу	Лист	Профіль	Труба	Лист	Профіль
Марка сталі	C245	C245	C245	C275	C245
Профіль / Форма	Лист	Двутаврова	Квадратна	Лист	Швелер
Розміри, мм	8×2000×6000	200×100×10	60×60×3	10×1500×6000	120×60×6
Довжина, м	6	6	6	6	6
Кількість, шт	12	8	16	10	6
Маса 1 шт, кг	75	150	21	135	70
Загальна маса, кг	900	1200	336	1350	420
Примітка	Заготовки для опорних плит	Заготовки для ригелів	Заготовки для зв'язків	Заготовки для обшивки	Заготовки для рам

Пояснення до таблиці

Позначення деталі - код або маркування деталі за кресленням.

Тип матеріалу - лист, профіль, труба, секція тощо.

Марка сталі - відповідно до стандартів ГОСТ/ДСТУ.

Профіль / Форма - форма заготовки (лист, швелер, двутавр тощо).

Розміри, мм - товщина, ширина, висота або сторона профілю.

Довжина, м - довжина заготовки.

Кількість, шт - кількість заготовок.

Маса 1 шт, кг - маса однієї заготовки.

Загальна маса, кг - сумарна маса всіх заготовок.

Примітка - додаткова інформація (призначення, особливості обробки).

г) Робочі наряди на виготовлення деталей, складання та зварювання
(див. табл. 2.8):

- включають технологічні інструкції для робітників, порядок виконання операцій;
- містять вимоги до якості зварювання, контрольних операцій (візуальний, ультразвуковий, магнітопорошковий контроль тощо);
- регламентують дотримання правил охорони праці та безпеки при роботах;
- повинні відповідати вимогам EN 1993-1-8 (з'єднання та зварювання), EN ISO 3834 (якість зварювального виробництва) та внутрішнім регламентам підприємства.

Вся технологічна документація узгоджується між конструкторським та технологічним відділами, затверджується головним інженером і є обов'язковою для виконання в усіх виробничих цехах підприємства.

ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції» встановлює вимоги до складу та розподілу конструкторської і технологічної документації між відповідними підрозділами підприємства. Це необхідно для забезпечення контролю якості, відстежуваності та технологічності виготовлення.

У таблиці 2.9 і 2.10 наведено розподіл документів за відділами та цехами, що визначає, які документи повинні бути доступними кожному підрозділу.

Таблиця 2.8

Структура робочого наряду

Етап / Операція	Позначення деталі	Цех / Відділ	Обладнання	Виконавець	Контроль якості	Час виконання
Розкрій металу	K1	Листопрокатний	Гільйотина / Лазер	Слюсар-оператор	Візуальний контроль розмірів	1 год
Механічна обробка	K1	Механо-обробний цех	Фрезер / Свердильний верстат	Токар / Фрезерувальник	Контроль точності та допусків	1 год
Згинання / гнуття	K2	Секційний цех	Прес-форма для гнуття	Технолог	Вимір кутів і розмірів	0.5 год
Зварювання вузлів	K1-K2	Зварювальний цех	Зварювальний апарат MIG/MAG	Зварник	Неруйнівний контроль (візуальний, ультразвук)	2 год
Термічна обробка / загартування	K3	Термічний цех	Піч	Оператор	Контроль температури і часу	1.5 год
Антикорозійне покриття	K1-K3	Цех фарбування	Камера фарбування / Гальваніка	Фарбувальник	Перевірка товщини покриття ≥ 12 μm	1 год
Складання вузлів	K1-K3	Відділ складання	Столи для складання	Слюсар	Візуальний контроль	1 год
Контроль готової деталі	K1-K3	Відділ контролю	Штангенциркуль, рулетка	Контролер	Вимірювання ключових розмірів	0.5 год
Маркування та пакування	K1-K3	Відділ комплектації	Пакувальний верстат / Клейма	Оператор	Візуальний контроль	0.5 год

Європейські норми

EN 1090-2 регламентує порядок передачі та розподіл робочої та монтажної документації між учасниками процесу (виробником, контролюючими органами, замовником). Вимога щодо доступності схем, специфікацій, карт розкрою та інших документів у відповідних відділах є складовою системи забезпечення якості відповідно до цього стандарту.

Таким чином, відповідність між українськими ДБН і європейськими нормами досягається через узгодження комплексу документації та її розподілу, що створює умови для прозорого контролю, ефективного виробництва та безпечного монтажу.

Таблиця 2.9

Розподілення технічної документації між відділами й цехами заводу

Одержувач технічної документації	Робочі креслення КМД	Монтажні схеми	Лист готових елементів	Відомість монтажних болтів	Креслення на пакування та відвантаження	Схеми загальних складань	Карта розкрою	Аркуш складу
Виробничо-диспетчерський відділ (ВДВ)		1	1	1				1
Відділ головного технолога (ВГТ)	2					1	1	
Відділ технічного контролю (ВТК)	1					1		
Відділ збуту			1					
Відділ постачання				1				
Цех зберігання та підготовки металу								1
Заготівельні цехи	1						1	1
Цехи складально-зварювальні	1		1			1		
Цех фарбування і відвантаження конструкцій	1		1					
Замовник	4	3		3				

Таблиця 2.10

Розподілення технологічної документації

Одержувач технологічної документації	Маршрутний супровідний лист	Супровідний лист	Відомість напівфабрикату	Наряди	Диспетчерський пункт	Технологічна карта на складання	Технологічна карта на зварювання	Міжцехові послуги	Заявка на технологічну оснастку	Індивідуальний технологічний процес
Цех зберігання й підготовки металу		1								
Заготівельні цехи	+	2		+	1			1	1	+
Склад напівфабрикату			2							
Складально-зварювальні цехи			2			+	+		1	+
Механоскладальний цех								1		
Інструментальний цех									1	

Коментарі:

Маршрутний супровідний лист та супровідний лист - присутні в заготівельних цехах і складах, що відповідає нормам для контролю технологічного процесу та переміщення матеріалів.

Відомість напівфабрикату вказана лише для складу напівфабрикату - логічно, оскільки це основне місце зберігання.

Технологічні карти на складання і зварювання передбачені для складально-зварювальних цехів, що узгоджується з вимогами EN 1090-2.

Заявки на технологічну оснастку та індивідуальні технологічні процеси логічно присутні у заготівельних, складально-зварювальних, механоскладальних та інструментальних цехах.

Наряди і диспетчерський пункт присутні у заготівельних цехах - відповідає організації виробничих процесів.

Позиція міжцехових послуг у заготівельних і складально-зварювальних цехах також коректна, оскільки ці служби координації забезпечують взаємодію між цехами.

Розробка та розподіл технологічної документації

Склад технологічної документації:

1. Технологічні карти на складання і зварювання - включають робочі наряди, вимоги до якості та безпеки праці, послідовність виконання операцій.

2. Міжцехові послуги механоскладального цеху - визначають перелік робіт з виготовлення деталей, що потребують складної механічної обробки (фрезерування, токарна обробка, свердління тощо).

3. Диспетчерський лист - регламентує планування, контроль термінів та узгодження виконання виробничих завдань між підрозділами.

4. Заявка на технологічне оснащення - містить перелік необхідних інструментів, пристосувань та спеціального обладнання, яке забезпечує правильність і безпечність процесів складання та зварювання.

Особливі випадки

Якщо процес складання і зварювання відрізняється від типової технології, відділ головного технолога (ВГТ) розробляє індивідуальний технологічний процес з урахуванням специфіки виробу.

У таких випадках виконуються також креслення спеціального оснащення для забезпечення правильності та безпеки робіт.

Розподіл документації

Усі первинні документи розсилаються у відповідні цехи та відділи у кількості, визначеній у таблиці 2.2. Такий порядок відповідає вимогам:

ДБН В.2.6-198:2014 щодо організації виробничої документації;

EN 1090-2 щодо забезпечення якості технологічних процесів.

Маршрутна технологія виготовлення деталей

Маршрутна технологія виготовлення деталей передбачає складання спеціального документа - маршрутного супровідного листа, в якому фіксуються основні дані для виготовлення та контролю деталей.

У маршрутному супровідному листі зазначають

1. Порядок виконання технологічних операцій (послідовність обробки).

2. Розміри виготовлених деталей, їх кількість та масу.

3. Обсяги робіт за кожною операцією.

4. Марку металу та інші матеріальні характеристики.

Практика промислових підприємств показує, що на одне креслення розробляють від 2 до 12 маршрутних супровідних аркушів, залежно від складності деталі та технології її виготовлення.

Принцип розробки маршрутного супровідного листа

Маршрутний супровідний лист (МСЛ) є ключовим документом для організації виробничого процесу виготовлення металевих деталей. Його принципова особливість полягає у наступному:

1. Формування партії деталей

У МСЛ заносять партію деталей одного профілю, які виготовляються за однією і тією ж технологією та з використанням однієї марки сталі.

Це дозволяє оптимізувати процес виробництва та спростити облік матеріалів і операцій.

2. Заповнення документа

Лист заповнюється вручну на етапі підготовки виробництва.

Всі основні дані щодо операцій, розмірів, маси деталей, марок металу та обсягів робіт фіксуються у відповідних графах.

3. Розподіл і використання

У машбюро заводу з готових МСЛ виконується друк або передрук :

Ліва частина листа призначена як супровідний документ на метал, який супроводжує матеріал на складі та в цехах.

Права частина розділяється на робочі наряди, по одному екземпляру на кожну операцію технологічного маршруту, що забезпечує чітке керування виробничим процесом та контроль виконання.

4. Кількість примірників

Робочі наряди виготовляються в кількості, що дорівнює кількості операцій у технологічному маршруті, щоб кожний цех або дільниця отримувала свій екземпляр для виконання робіт.

Такий підхід дозволяє забезпечити послідовність виконання операцій, контроль за використанням матеріалів та точність виготовлення деталей, що відповідає сучасним вимогам виробничих стандартів, зокрема ДБН та EN 1090-2.

Виписка та оформлення нарядів

Робочі наряди є основним документом для організації виконання окремих виробничих операцій у цехах. Вони оформлюються на конкретний обсяг робіт для кожної операції окремо.

1. Структура наряду

Ліворуч угорі зазначається попередня операція, яка передувала виконаній.

Праворуч угорі вказується операція, на яку виписано наряд - основна поточна робота.

Праворуч унизу фіксується наступна операція, що забезпечує послідовність виконання технологічного процесу.

2. Передача для розцінки

Заповнені наряди передаються у Відділ технічного і технологічного забезпечення, де здійснюється розцінка робіт відповідно до діючих норм та тарифів.

Це дозволяє визначити вартість робіт по кожній операції та загальний обсяг замовлення.

3. Складання диспетчерського листа

Після розцінки технолог складає диспетчерський лист, у якому:

- фіксуються всі маршрутні супровідні аркуші на дане креслення;
- відображається повний обсяг робіт по операціях;
- визначається порядок виконання всіх операцій.

Диспетчерський лист забезпечує координацію виробничого процесу між цехами, контроль за виконанням робіт та своєчасне постачання матеріалів, що відповідає вимогам сучасних стандартів EN 1090-2 та ДБН В.2.6-198:2014 щодо управління виробництвом сталевих конструкцій.

Відомість напівфабрикату

Відомість напівфабрикату складається технологом і є обов'язковим документом для обліку матеріалів та планування виробництва.

1. Зміст відомості:

- перелік усіх деталей, що входять до складу конкретного креслення КМД;
- кількість деталей кожного типу;
- маса кожної деталі та загальна маса виробу.

2. Кількість примірників:

Відомість складається у трьох примірниках:

- перший - для цеху заготівлі;
- другий - для цеху складання та зварювання;
- третій - для відділу технічного контролю (ВТК) або архіву заводу.

3. Призначення документа:

- забезпечує контроль наявності всіх деталей перед початком виробництва;
- використовується для планування закупівлі та витрат матеріалів;
- служить основою для маршрутних листів та робочих нарядів.

Відповідає сучасним практикам EN 1090-2 щодо контролю матеріалів і технологічного процесу.

Завершення розробки

Після повної розробки та перевірки всіх елементів технологічної документації (маршрутні листи, наряди, відомості напівфабрикату, карти розкрою, монтажні схеми тощо) вона одночасно передається до відповідних цехів заводу для подальшого виконання виробничого процесу.

1. Цех заготівлі (ВДВ) - отримує всю документацію, необхідну для підготовки та обробки матеріалів.

2. Складально-зварювальний цех - отримує креслення КМД, монтажні схеми, відомості монтажних болтів, наряди на зварювання та складання.

3. Відділ технічного контролю (ВТК) - отримує копії всіх документів для організації контролю якості на кожному етапі виробництва.

4. Виробничо-диспетчерський відділ - отримує диспетчерські листи та маршрутні аркуші для планування та координації всіх операцій.

Передача документації здійснюється згідно з внутрішніми регламентами заводу та вимогами ДБН В.2.6-198:2014 і EN 1090-2, що гарантує:

- своєчасне виконання виробничих операцій;
- контроль технологічності процесів;
- відповідність кінцевого виробу вимогам проєктної документації;
- дотримання стандартів якості та безпеки.

2.4. Вхідний контроль, збереження металопрокату, зварювальних, лакофарбових матеріалів і металовиробів

2.4.1 Перевірка і підготовка сталевого прокату

Увесь сталевий прокат та гнуті профілі (далі - «сталь») перед використанням у виробництві повинні проходити ретельну перевірку на відповідність чинним нормативним документам, таким як:

- ДСТУ - державні стандарти України;
- ДБН - державні будівельні норми;
- EN-стандарти - європейські стандарти, зокрема EN 10025 для сталевих сортів і EN ISO 12944 щодо захисту від корозії;
- технічні умови постачальника.

Матеріали мають бути:

- розсортовані за профілями, марками сталі та плавками;
- маркувані для ідентифікації та відстежуваності;
- розкладені з урахуванням зручності подачі у виробництво та контролю якості.

Перед подачею на виробництво сталь підлягає:

- виправленню, при необхідності, для забезпечення прямолінійності та відповідності геометричним розмірам;

- очищенню від окалини, іржі, мастил, вологи, снігу, льоду та інших забруднень;
- попередньому захисту від корозії за допомогою грунтовки, що сумісна з подальшим зварюванням та фарбуванням, відповідно до EN ISO 12944.

Контроль і підготовка прокату забезпечують:

- відповідність матеріалів проєктним вимогам;
- безпечне та технологічно ефективне складання і зварювання конструкцій;
- довговічність і надійність готових металевих конструкцій.

2.4.2 Зберігання матеріалів

Усі матеріали, включно зі сталевим прокатом, гнутими профілями та комплектуючими елементами, повинні зберігатися відповідно до вимог ДБН Г.1-4-95 та з урахуванням рекомендацій стандартів EN 1090 для забезпечення їх якості перед виготовленням конструкцій.

Основні вимоги до зберігання матеріалів:

1. Роздільне зберігання матеріалів різних марок сталі та сортamentів для запобігання змішуванню та помилок при виробництві.
2. Покриття та захист від корозії : металеві елементи, що зберігаються на відкритому повітрі, повинні мати тимчасове захисне покриття (грунтовка, мастильні матеріали або плівка), сумісне з подальшим зварюванням і фарбуванням.
3. Вентиляція та осушення: склади і відкриті майданчики повинні бути обладнані для запобігання накопиченню вологи, конденсату, снігу та льоду.
4. Підставки та підкладки: металеві конструкції повинні укладатися на дерев'яні або металеві підкладки, щоб уникнути прямого контакту з ґрунтом або вологими поверхнями.
5. Маркування та інвентаризація : усі матеріали повинні бути чітко промарковані, а їх кількість, марка сталі і плавка фіксовані у відповідній обліковій документації.

6. Контрольний огляд : перед подачею у виробництво матеріали повинні проходити візуальний огляд на наявність дефектів, іржі, забруднень або механічних пошкоджень.

Дотримання цих вимог забезпечує:

- збереження якості та геометричної точності металевих елементів;
- зменшення корозійних пошкоджень до моменту виготовлення;
- технологічну готовність до подальшого складання, зварювання та фарбування конструкцій;
- відповідність вимогам EN 1090 щодо контролю якості матеріалів на виробництві.

2.4.3 Контроль при надходженні прокату

При отриманні сталевого прокату та гнутих профілів у виробника необхідно здійснити вхідний контроль, що включає такі процедури:

1. Перевірка кількості та відповідності масі. Порівняння фактичної кількості і ваги прокату з теоретичною вагою, зазначеною в документації постачальника та у проєктній документації.

2. Перевірка сортаменту та марки сталі. Зіставлення отриманих матеріалів із проєктними кресленнями та специфікаціями. Перевірка сертифікатів або паспортів постачальника на відповідність ДСТУ EN 10025 та інших стандартів на сортамент і марку сталі.

3. Маркування та ідентифікація. Наявність клейм, бірок або інших засобів ідентифікації матеріалу від постачальника. Відповідність маркування на прокаті зазначеній у супровідній документації.

4. Візуальний контроль на дефекти. Оцінка стану поверхні на наявність тріщин, раковин, розшарувань, вм'ятин або інших механічних деформацій. Порівняння виявлених дефектів із граничними значеннями, встановленими ДСТУ EN 10025 та EN 10162.

5. Реагування на відхилення. У разі виявлення невідповідностей або дефектів складається рекламацийний акт відповідно до вимог ДСТУ ISO 10005. Матеріал,

що не відповідає нормативам, не допускається до виробництва до вирішення питання з постачальником.

Дотримання цього контролю забезпечує:

- правильну класифікацію та облік матеріалів;
- запобігання використанню дефектного або невідповідного прокату у виробництві;
- відповідність вимогам EN 1090-2 щодо якості матеріалів при виготовленні металевих конструкцій;
- відповідність принципам систем управління якістю EN ISO 9001 та стандартам на постачання матеріалів.

2.4.4 Визначення ваги металоконструкцій

Вагу металоконструкцій визначають за теоретичною вагою, розрахованою на основі креслень проєкту стадії КМ (конструкції металеві):

1. Коригування за робочими кресленнями КМД. Для уточнення ваги за кресленнями стадії КМД (конструкції металеві деталювальні) попередньо розраховану теоретичну вагу збільшують на 3% технологічного запасу, що враховує можливі відхилення при виготовленні та складанні.

2. Врахування ваги зварних швів. Для сталевих конструкцій, що зварюються, до загальної ваги додають 1% від ваги конструкцій на зварні шви. У випадках виготовлення складних або індивідуальних конструкцій фактичну вагу зварних швів визначають за кресленнями КМД.

3. Додаткові компоненти ваги. За потреби до загальної ваги металоконструкцій додають:

- вагу монтажних пристосувань;
- вагу упаковки;
- вагу, пов'язану з транспортуванням.

4. Принципи розрахунку. Всі розрахунки ваги виконуються відповідно до ДБН В.2.6-198:2014 та рекомендацій EN 1090-2, що регламентують облік матеріалів

і контроль виробництва. Визначена вага використовується для планування логістики, підготовки підйомних пристроїв і забезпечення безпеки під час монтажу.

2.5. Підготовка металопрокату, зварювальних і лакофарбових матеріалів

2.5.1 Виправлення прокату в залежності від профілю необхідно виконувати, як правило, у холодному стані. Граничні допустимі значення прогинів після холодного виправлення наведені в Таблиці 2.11.

2.5.2 Виправлення сталі

Допускається виправлення сталі місцевим нагріванням за допомогою газових пальників.

1. Обмеження температури нагрівання :

Для гарячекатаних та нормалізованих сталей температура не повинна перевищувати 800°C;

Для термічно покращених сталей - не більше 650°C.

2. Нормативне обґрунтування

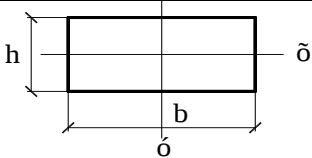
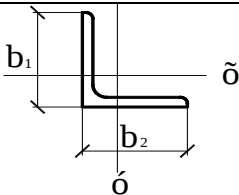
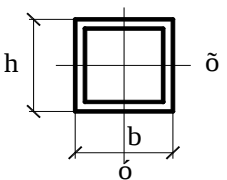
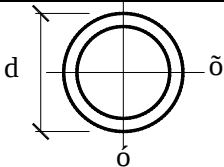
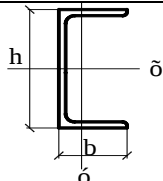
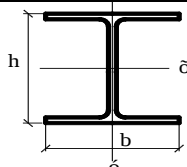
Температурні обмеження встановлені відповідно до ДСТУ EN 10025 (сортові сталі) та ДБН В.2.6-198:2014 у частині розділу 1, ДСТУ Б В.2.6-199:2014 У ЧАСТИНІ РОЗДІЛУ 2, ДСТУ Б В.2.6-200:2014 у частині розділу 3 (технологія виготовлення металевих конструкцій).

3. Технологічні рекомендації. Нагрівання повинно бути локальним і рівномірним, без тривалого впливу на одну ділянку, щоб уникнути перегріву та втрати механічних властивостей сталі. Після виправлення рекомендується контроль геометричних розмірів та, при необхідності, додаткове механічне оброблення. Не допускається використання виправлення на конструкціях, що вже пройшли остаточне зварювання, без погодження технолога.

4. Призначення. Виправлення застосовується для усунення незначних деформацій прокату, вигнутих профілів або інших відхилень від проєктних розмірів до початку складання або зварювання конструкцій.

Таблиця 2.11.

Граничні допустимі значення прогинів після холодного виправлення

Профіль	Ескіз	Щодо нейтральної осі	Граничний прогин, що допускається, мм
Сталь листова, універсальна, сму- гова, квадратна		$x - x$	$\frac{l^2}{400h}$
		$y - y$	$\frac{l^2}{800b}$
Сталь кутникова		$x - x$	$\frac{l^2}{720b_1}$
		$y - y$	$\frac{l^2}{720b_2}$
Гнутозварні профілі		$x - x$	$\frac{l^2}{400h}$
		$y - y$	$\frac{l^2}{400b}$
Труби, круг		$x - x$	$\frac{l^2}{400d}$
		$y - y$	$\frac{l^2}{400d}$
Швелери		$x - x$	$\frac{l^2}{400h}$
		$y - y$	$\frac{l^2}{720b}$
Двотаври		$x - x$	$\frac{l^2}{400h}$
		$y - y$	$\frac{l^2}{400b}$
Примітка l - довжина відрізка елемента з прогином одного знака.			

2.5.3 Вимоги до прокату після виправлення

Після виправлення сталевий прокат повинен відповідати наступним технічним

вимогам:

1. Механічний стан

Прокат не повинен містити тріщин, розшарувань або інших дефектів, що знижують міцність;

Допускаються місцеві вм'ятини, при цьому:

Глибина по товщині прокату не більше подвоєної величини мінусового допуску для відповідного виду прокату за ДСТУ або ТУ, але не більше 1мм;

Максимальне відхилення за габаритними розмірами поперечного перерізу - 3мм.

2. Площинність профільного прокату

Розбіжність площинності перерізів не повинна перевищувати допусків, встановлених у ДСТУ або ТУ для даного виду профілю;

Граничний прогин по всій довжині елемента - не більше $0,001L$, де $L < 10\text{м}$;

Прогин місцевого скривлення - не більше 1мм на ділянці довжиною 1м.

3. Площинність листового прокату повинна відповідати вимогам ДСТУ EN 10029 (аналог ГОСТ 19903).

4. Контроль після виправлення

Необхідно провести візуальний огляд і вимірювання геометричних параметрів;

У разі виявлення відхилень понад допустимі - прокат підлягає повторному виправленню або відбраковуванню;

Дані перевірки фіксуються у відповідних технологічних і приймальних актах заводу.

2.5.4 Підготовка лакофарбових матеріалів

Перед застосуванням лакофарбові матеріали (ЛФМ) повинні відповідати вимогам технологічного регламенту та нормативно-технічної документації (НТД) для конкретного виду матеріалу. Основні положення:

1. Відповідність стандартам

ЛФМ повинні відповідати вимогам ДСТУ EN ISO 12944 [47] щодо захисту сталевих конструкцій від корозії. Допускається використання матеріалів, сертифікованих відповідно до ДСТУ, EN або внутрішньозаводських технічних умов.

2. Перевірка матеріалів перед застосуванням:

- в'язкість, колір, густина та інші фізико-хімічні показники повинні відповідати регламентованим значенням;
- всі матеріали перевіряються на наявність осаду, грудок, розшарувань або сторонніх домішок;
- при виявленні невідповідностей матеріал підлягає відбраковуванню або додатковому змішуванню відповідно до технологічних інструкцій.

3. Підготовка до нанесення.

Матеріали розмішуються до однорідного стану.

При необхідності розбавляються розчинником, рекомендованим НТД, у допустимих пропорціях.

Зберігаються та транспортуються відповідно до вимог виробника і НТД для збереження експлуатаційних властивостей.

4. Вимоги безпеки та екології:

Роботи з ЛФМ проводяться з урахуванням вимог охорони праці та протипожежних норм.

Повітря в приміщеннях повинно відповідати санітарним нормам щодо летких органічних речовин.

Сучасні європейські підходи до підготовки і розробки технічної і технологічної документації.

У країнах Європейського Союзу підготовка та розробка технічної і технологічної документації базується на принципах стандартизації, цифровізації та гармонізації з міжнародними нормами. Основна мета - забезпечити уніфіковане представлення технічної інформації, її доступність для всіх учасників виробничого процесу, а також сумісність із сучасними інформаційними системами управління життєвим циклом продукції (PLM - Product Lifecycle Management).

Нормативна основа. Європейські стандарти (EN), які гармонізовані з міжнародними ISO та IEC, визначають вимоги до оформлення креслень, схем, інструкцій та іншої документації. Використовуються Єврокоди (EN 1990-1999) - у галузі будівництва і Проектування конструкцій. Широко впроваджуються стандарти серії ISO 9000 та ISO 14000, які регламентують управління якістю та екологічними аспектами виробництва.

Цифровізація документації. Перехід від паперових носіїв до електронної технічної документації (ETD). Використання форматів STEP, IGES, PDF/A, XML для передачі та архівування даних. Інтеграція документації в системи CAD/CAM/CAE та PLM-платформи.

Принципи створення документації:

Уніфікація та модульність - документи формуються за єдиними правилами, що полегшує їх розуміння та оновлення.

Мультимовність - використання міжнародних позначень та можливість швидкого перекладу відповідно до вимог конкретного ринку.

Інтерактивність - включення 3D-моделей, анімацій та інтерактивних інструкцій для обслуговування обладнання.

Європейська практика передбачає, що технічна та технологічна документація повинна:

- містити повні та точні дані про виріб, процес або систему;
- відповідати вимогам безпеки, охорони праці та екології;
- бути зручною для використання на всіх стадіях життєвого циклу - від проектування до утилізації.

Інноваційні підходи. Використання штучного інтелекту та автоматизованих систем генерації документації. Застосування цифрових близнюків для перевірки та актуалізації даних у реальному часі. Перехід до концепції “Paperless Production”, коли всі процеси ведуться в цифровому середовищі.

Таким чином, сучасні європейські підходи спрямовані на створення єдиної інтегрованої системи технічної та технологічної документації, яка відповідає принципам сталого розвитку, цифровізації та міжнародної сумісності.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ПО РОЗДІЛУ 2

1. Який документ є підставою для прийняття замовлення на виготовлення металевих конструкцій заводом?
2. Хто може видати наряд для замовлення?
3. Які основні пункти обов'язково повинні бути зазначені у договорі з замовником?
4. Як здійснюється підготовка проєкту договору на заводі?
5. Які документи підтверджують терміни та обсяги постачання матеріалів і виробів?
6. Хто контролює правильність оформлення замовлень?
7. Які правила оформлення замовлень для нестандартних або індивідуальних конструкцій?
8. Як здійснюється узгодження технічних вимог замовника зі стандартами і ДБН?
9. Які документи передаються виробничому відділу після оформлення замовлення?
10. Як визначають пріоритети виконання замовлень на заводі?
11. Які види технічної документації розробляє конструкторський відділ на основі креслень стадії КМ?
12. Для чого створюють монтажні схеми та карту розкрою?
13. Як перевіряється технологічність складання згідно з EN 1090-2?
14. Хто є відповідальним за підготовку та розподіл технічної документації на заводі?
15. Які стандарти регламентують розробку креслень КМД?
16. Які технологічні вимоги обов'язково враховуються при підготовці креслень?

17. Чим відрізняються креслення КМ від КМД?
18. Як забезпечується узгодження креслень із вимогами Єврокод 3?
19. За що відповідає організація, що розробляє креслення КМД?
20. Які вимоги щодо правильності розмірів та розрахункової міцності мають дотримуватися?
21. Який стандарт забезпечує управління якістю креслень?
22. На яких етапах здійснюється контроль якості виготовлення сталевих конструкцій?
23. Які вимоги пред'являються до зварних і болтових з'єднань?
24. Які стандарти регламентують контроль якості та захист від корозії?
25. Хто здійснює контроль нанесення ґрунтовок та фарб на конструкції?
26. Які документи підтверджують якість сталі, що використовується у металоконструкціях?
27. Які стандарти регламентують сталі для будівельних конструкцій?
28. Як здійснюється контроль маркування та сертифікатів постачальників?
29. Які операції передбачені при перевірці сталевого прокату перед подачею у виробництво?
30. Які стандарти регламентують очищення та захист прокату перед зварюванням?
31. Як повинні бути розсортовані та марковані профілі та прокат?
32. Які забруднення заборонено допускати на прокаті перед виготовленням?
33. Які нормативні документи визначають умови зберігання сталевих конструкцій?
34. Які фактори слід враховувати для збереження металу від корозії?
35. Де повинні зберігатися матеріали на заводі?
36. Як стандарти EN 1090 впливають на організацію складів?
37. Які параметри прокату перевіряються при надходженні на завод?
38. Які стандарти визначають допустимі дефекти прокату?
39. Які дії виконуються у разі виявлення невідповідностей прокату?

РОЗДІЛ 3. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ



3.1. Технологічна структура та організація виготовлення сталевих конструкцій

Виготовлення сталевих конструкцій складається з низки технологічних операцій, для виконання яких організовуються цехи основного виробництва.

До цехів основного виробництва належать:

- цех підготовки металу зі складом;
- цех обробки деталей;
- склад напівфабрикатів;
- складально-зварювальні цехи;
- складально -клепальні цехи;
- цех загальної зборки;
- малярно-навантажувальний цех зі складом готової продукції.

Цех підготовки металу

У цеху підготовки металу та на складі метал, що прибуває на завод, розвантажується мостовими кранами з вагонів або автомобілів. Тут здійснюється прийомка, сортування, маркування та укладання металу в штабелі для зберігання. Сортування металу проводиться за видами прокату, марками сталі та розмірами.

Метал надходить на склад із залишковими деформаціями, що виникають під час охолодження після прокатки на металургійних заводах, а також у процесі транспортування.

Для забезпечення необхідної точності виготовлення деталей у цеху підготовки здійснюється усунення деформацій металу на спеціальному обладнанні (листопривильних і кутоправильних вальцях, кулачкових пресах тощо).

На деяких заводах у цеху підготовки металу виконують різання швелерів і балок на необхідні довжини, що скорочує транспортні операції та обробку обрізків.

Також у цеху підготовки металу відбувається подрібнення металевих відходів на шматки визначеного розміру, які відправляються на переплавку як скрап.

Цех обробки деталей

Цех обробки виконує операції з виготовлення шаблонів і обробки деталей із металу, що надходить із цеху підготовки.

Початковими операціями у цеху є розмітка, виготовлення шаблонів та намічання.

Розмітка - процес нанесення контуру деталі у натуральну величину як для виготовлення шаблону, так і безпосередньо на метал для виготовлення деталі.

Шаблон - пристосування, що зображує деталь у натуральну величину.

Намічання полягає в перенесенні контуру деталі і отворів на метал за допомогою шаблону.

Подальша обробка деталей включає: механічне та кисневе різання, формування отворів пробиванням або свердленням, холодне гнуття або штампування, вальцювання, стругання і фрезерування кромek деталей, а також вторинне виправлення.

У складі цеху обробки функціонують розміточна майстерня та кузня для гнучких робіт.

Технологічні операції з обробки деталей поділяють за профілями прокату, що обробляються у паралельних листовому та сортовому потоках. Іноді сортовий потік розділяють на потоки для обробки кутників, швелерів, балок. Кожен технологічний потік оснащений необхідним обладнанням і пристосуваннями для подачі, прибирання та транспортування оброблюваних деталей.

Для обробки листового прокату застосовують: гільйотинні ножиці, прес-ножиці, газорізальні машини, листогибочні вальці, диropробивні і кромкогибочні преси, радіально-свердлильні, торцеві фрезерні, кромкостругальні верстати, листопривильні вальці.

Для обробки сортового прокату використовують: ножиці для різання кутника, зубчасті та фрикційні дискові пилки, гнучкі вальці, пробивні і свердлильні верстати, торцеві фрезерні верстати.

Готові деталі маркують і здають на склад напівфабрикатів згідно з кресленнями. На складі деталі комплектують за кожним робочим кресленням та ведуть облік їх надходження і видачі у збірні цехи.

Виробництво листових полотен, смуг і балок

На деяких заводах організовані спеціальні ділянки для виготовлення листових полотен, смуг або балок. Тут виконують стикування листової сталі, автоматичне зварювання швів, розкроювання листових полотен на смуги, збирання двотаврових балок, зварювання поясних швів, виправлення балок та фрезерування торців. Ці ділянки зазвичай розташовують у цехах підготовки або обробки.

Складально-зварювальні цехи

У складально-зварювальних цехах здійснюють складання конструкцій із окремих деталей, які надходять зі складу напівфабрикатів. Зібрані конструкції зварюють, вирівнюють, здають у відділ технічного контролю (ВТК), маркують та направляють у малярно-навантажувальний цех.

У цехах встановлені стелажі для складання і зварювання, апарати ручного та автоматичного зварювання, кондуктори для складання та кантователі для зварювання.

Окремі ділянки спеціалізуються на виготовленні решітчастих конструкцій, колон, балок, труб та ємностей.

Складально -клепальні цехи

Складально-клепальні цехи зараз існують на окремих заводах, оскільки клепані конструкції застосовуються досить рідко. Тут виконують збір деталей під клепку, підготовку отворів (розсвердлювання або очищення), клепку, маркування, здачу ВТК та відвантаження до малярно-навантажувального цеху.

Цех має бути оснащений:

- стелажми та кондукторами для збірки;
- радіально-свердлильними верстатами та пневматичними свердлильними машинами;
- клепальними скобами, які підвішуються до консольних кранів;

- пневматичними клепальними та рубальними молотками для роботи під консольними кранами.

Збірка крупногабаритних і складних конструкцій

Деякі великі та складні конструкції (мостові пролітні будівлі, конструкції доменних печей, важкі колони вагою понад 20 т, балки для підкранових шляхів прольотом понад 18 м, кроквяні ферми прольотом понад 30 м, плоскі елементи башт, конічні частини труб, негабаритні бункери) проходять загальне та контрольне збирання у спеціальних цехах.

У процесі загального збирання відбувається підгонка елементів конструкцій, свердління монтажних отворів за кондукторами, підготовка кромek для монтажного зварювання, фрезерування торців, забезпечення проєктних розмірів

У цьому ж цеху виконується контрольна збірка для перевірки відповідності виготовлення проєкту. Перевіряються розміри конструкцій, якість монтажних з'єднань і підготовка кромek під зварювання.

Як правило, контрольному збиранню піддається кожен перший і надалі кожен десятий екземпляр однотипних конструкцій.

Малярно-навантажувальний цех

Виготовлені конструкції подають у малярно-навантажувальний цех, де їх очищають від бруду, іржі, льоду та інших забруднень, після чого ґрунтують, укладають у штабелі та вантажать на залізничні платформи або автотранспорт для доставки на монтаж.

3.2. Правка металу

Метал, що надходить з металургійних заводів, прибуває на заводи металоконструкцій, як правило, недостатньо виправленим. Державними стандартами допускаються певні деформації металопрокату після прокатки (див. рис. 3.1).

Необхідно правити листову сталь і деталі з листової сталі, що мають кривизну більш 1,5 мм на 1 м; місцеві погнутості кромek і заломлені кромки; ширококутову (універсальну) сталь і деталі з цієї сталі, що мають кривизну по площині більш 1,5

мм на 1 м і шаблеподібність більш $1/1000$ довжини або більше 5 мм; кутникову сталь, балки двотаврові, швелери, круглі труби і квадратну сталь при кривизні більш $1/1000$ довжини або більше 5 мм.

Правку металу виконують різними способами в залежності від характеру перерізу, його розмірів, виду і марки металу. Найбільше широко застосовують три способи правки: виправлення вигином у холодному стані, розтягненням (також у холодному стані) і нагріванням окремих ділянок металу полум'ям газових пальників. Щоб уникнути наклепу металу виправлення в холодному стані допускають, якщо початкові деформації крайніх волокон металу не перевищують 1%. Правлять сталь у холодному стані на листопрямильних, кутникoprавильних вальцях і пресах.

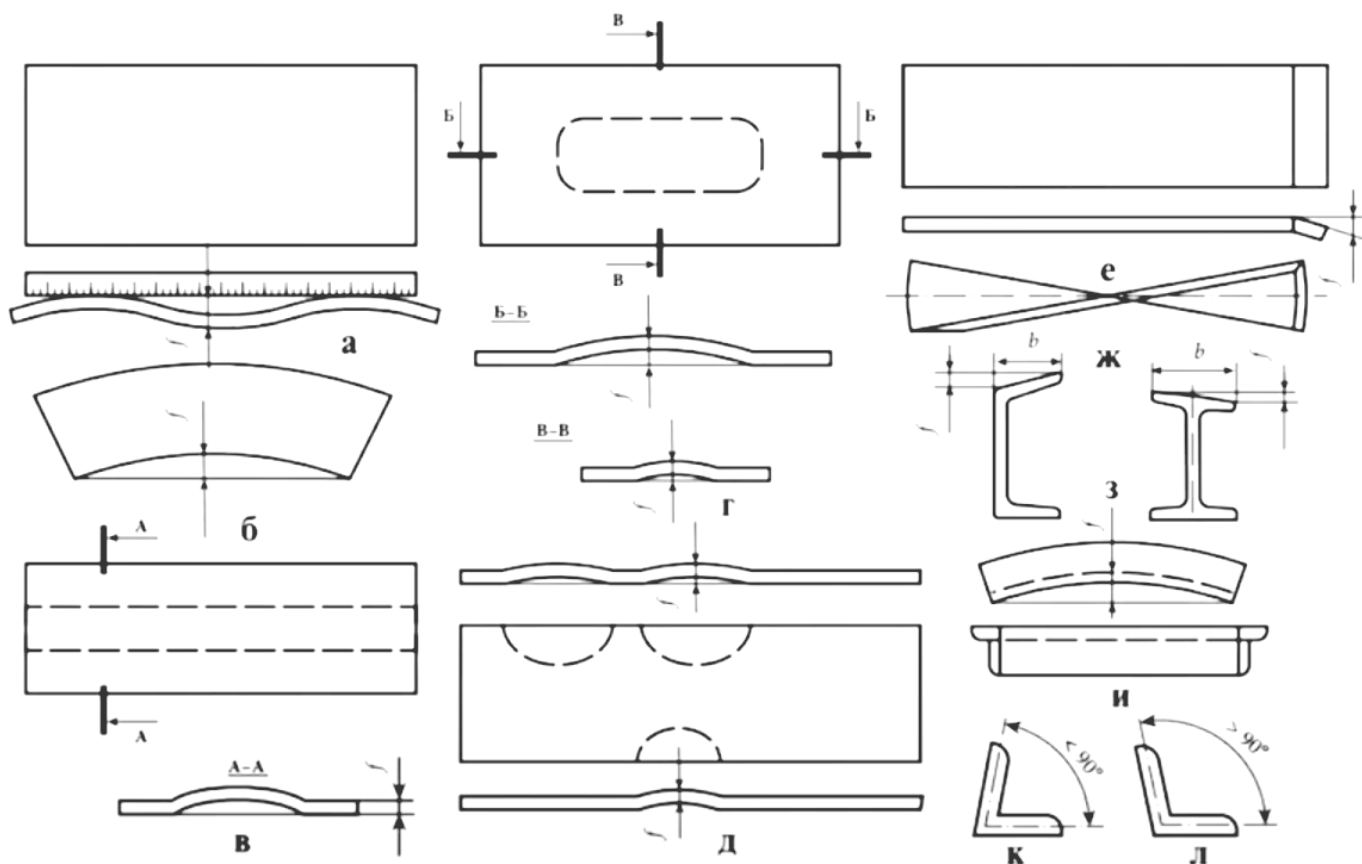
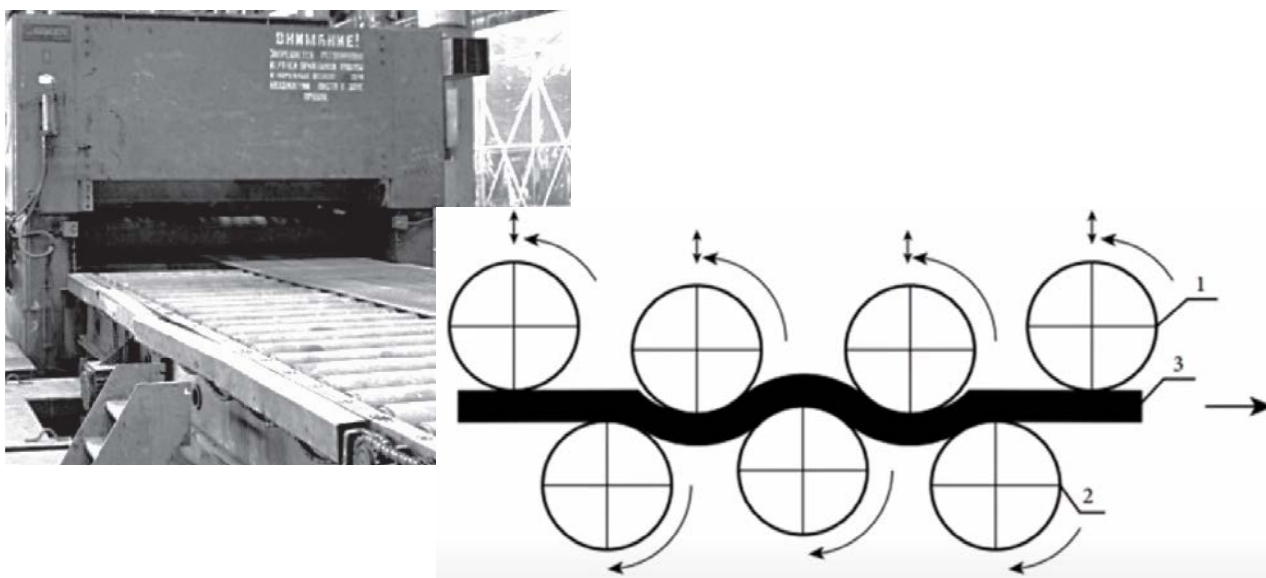


Рис. 3.1. Дедеформації металопрокату після прокатки: а - хвилястість; б - коробчастість; в - шаблеподібність; г - хлопун; д - місцеві випучення; е - зламана кромка; ж - пропелерність; з - нахил полиці; и - кривизна; к - смалковка; л - розмалковка



*Рис. 3.2. Схема правки листа на листоправильних вальцях:
валки машини з електроприводом і вертикальним переміщенням (1),
валки без приводу (2), лист, що виправляється (3)*

Висока якість деталей і конструкцій у цілому може бути досягнута, якщо їх виготовляють з листа і профілів, що мають викривлення не більш 1...1,5 мм на 1 м довжини.

Пружнопластичне деформування металу має місце при виправленні прокату одноразовим і багаторазовим вигином на пресах і листоправильних вальцях. При деформуванні прокату вигином спочатку у волокнах деталі, що згинається, виникають тільки пружні деформації, потім у крайніх волокнах відбуваються пластичні деформації. У разі збільшення кривизни ділянка пластичних деформацій збільшується, однак завжди в районі нейтральної осі залишається пружне ядро - волокна, що мають тільки пружні деформації. При нескінченно малому радіусі вигину, що можливо тільки теоретично, у всіх волокнах прокату, що згинається, розвиваються пластичні деформації. Згинальний момент, що відповідає цієї стадії вигину, називають пластичним.

Максимальний момент при вигині в пружній стадії в прокаті з незміцнюваної сталі дорівнює:

$$M_y^{\text{макс}} = 100 \times \sigma_T \times W \quad (3.1)$$

Згинальний момент при пластичному вигині:

$$M_{nl} = 100 \times k_1 \times \sigma_T \times W, \quad (3.2)$$

де σ_T - межа текучості, МПа; W - пружний момент опору, см³;

k_1 - коефіцієнт, що є відношенням моменту опору при пластичному вигині до моменту опору при пружному вигині. Значення k_1 для деяких профілів приведені нижче.

При розробці технологічних процесів, пов'язаних з виправленням прокату і заготовок, до числа найбільш важливих питань належать визначення технологічних можливостей наявного на заводі устаткування, вибір машини, що щонайкраще відповідає поставленим задачам, і налагодження машин для виконання операції. У паспорті листопрямильних вальців зазначені розміри перерізу листової сталі b і h , мм, на виправлення якої розраховані вальці, і межа її текучості σ_T , МПа. Використовуючи ці дані, можемо визначити згинальний момент M_{nl}^0 , що можуть утворити дані вальці в металі, який виправляється. Потім визначаємо згинальний момент M_{nl}^3 (з - заготівка) для конкретного листа, що підлягає виправленню:

$$M_{nl}^3 < M_{nl}^0 \quad (3.3)$$

Прямокутник	1,50
Квадрат	1,50
Коло	1,70
Труба	1,28
Двотавр:	
у площині стінки	1,16
у площині полиць	1,70
Швелер:	
у площині стінки	1,18
у площині полиць	2,20

В окремих випадках при виправленні листової сталі великих товщин тиск валків машини може бути настільки великим, що буде викликати зминання поверхні листа. При виправленні сталі високої міцності може відбутися зминання матеріалу валка. Можливість цих явищ обмежує товщину листа, що виправляється

$$h_{\max} = 4,8\sigma_T^H \sqrt{tR_B / \sigma_T E} \quad (3.4)$$

де σ_T^H - найменший із двох: межа текучості для листа, що виправляється або валків машини, МПа; σ_T - розрахункова межа текучості для листа, що виправляється, МПа; t - крок валків машини, мм; R_B - радіус валків машини, мм; E - модуль пружності матеріалу, МПа.

У листоправильних вальцях зближення верхнього ряду валків з нижнім обмежено, тому, у деяких випадках, при спробі виправлення тонкого листа виявляється, що вальці деформують його недостатньо, і виправлення не відбувається.

Мінімальну товщину листа, який може бути виправлений у заданій листоправильній машині, за умови розвитку необхідних пластичних деформацій, визначають за формулою:

$$h_{\min} = t^2 / R_B \left[0,01 + \frac{\sigma_t + E_1(0,01 - \sigma_t / E)}{E - E_1} \right], \quad (3.5)$$

де E_1 - модуль зміцнення будівельної сталі, МПа.

Точність виправлення перевіряється сталеву лінійкою, що прикладається до поверхні листа. Скривлення профілю встановлюють натягнутим шнуром.

3.3. Нанесення на металеву заготовку осей, контурів, монтажних отворів та інших позначок

Для виготовлення деталей конструкцій необхідно до виконання технологічних операцій з обробки металу нанести на оброблювану деталь у натуральну величину контури різання, осі і центри отворів, тип і розміри фасок. Операція переносу необхідних для виробництва деталі розмірів з креслення на зразковий екземпляр (проектний металопрокат) або на спеціальне пристосування яке має назву розмічування (див. рис. 3.3). Розмічена в натуральну величину зразкова деталь або пристосування,

по якому обробляються інші однотипні (рядові) деталі, має назву шаблон. Перенос розмірів із шаблона на рядові деталі має назву розмічування.



Рис. 3.3. Розмічування

При виготовленні шаблонів і розмічуванні деталей безпосередньо на металі розмітник повинний передбачати зазначені в технологічній картці необхідні технологічні припуски на різання, стругання, фрезерування, усадку після зварювання і т.д. Припуск на зварювання поясних швів - 0,1 мм на 1 м кожного шва для товщини до 25 мм і 0,5 мм - для товщини понад 25 мм; на стикове зварювання листів - 1 мм, із накладками 0,5 мм на кожен стик; на приварку ребер жорсткості - 1 мм на пару ребер для товщини до 25 мм і 0,5 мм для товщини понад 25 мм. На зварювання вузла ферми припуск становить 0,5...0,75 мм на вузол; на стругання кромки листа - 2...5 мм на кромку; на стругання площини плити - до 5 мм на одну площину; на фрезерування торців - 5...6 мм на торець; на кисневе різання - 2...5 мм на один розріз у залежності від товщини.

Всі операції з розмічування виконують тільки на добре виправленому металі. Розмітник усебічно знайомиться з кресленням відправної марки, деталі якої йому потрібно розмітити, і встановлює послідовність роботи.

Розмічування починають з найбільш великих і вузлових деталей, наприклад у підкранових балках - з вертикального листа, у фермах - з великих вузлових фасонки. На кожному шаблоні по закінченні його розмічування повинні бути нанесені наступні написи: номер замовлення, номер робочого креслення, складальна марка деталі з вказівкою "так" і "навпаки", кількість деталей, діаметр отворів і марка металу, номер акту металу.

Точність Розмічування повинна витримуватись в наступних межах.

1. Відстань між наміченими центрами суміжних отворів на одній рисці не повинна відрізнятись від проєктної більш ніж на + 0,5 мм.
2. Відстань між центрами крайніх отворів повинна бути витримана з допуском + 1,0 мм.
3. Відхилення центра отворів від риски в поперечному напрямку не повинно бути більш 1,0 мм у кожную сторону.
4. Відстань між рисками допускається з відхиленням не більш + 0,5 мм проти проєктного.
5. Довжина і ширина наміченої деталі не повинні відрізнятись від шаблону більш ніж + 2,0 мм.

Розмічування листових деталей виконується в такий спосіб: шаблон накладають на метал, що буде оброблятися, і щільно притискають. Потім центровим кернером відповідного діаметра набиваються центри всіх отворів, що є на шаблоні, а контур деталі окреслюється металевим гострим стрижнем чи крейдою. Потім шаблон видаляється і після чого слюсарним кернером набивають по лінії різання керни на відстані 200...300 мм один від одного. Центри отворів поглиблюються слюсарним кернером, а на частині отворів за допомогою контрольного кернера набиваються кільця, що служать для перевірки якості утворення отворів. На розміченій або наміченій деталі вибивають номер замовлення, креслення, деталі, плавки металу і діаметр отворів.

3.4. Механічне різання

Різання металу виконується механічним способом на гільйотинних ножицях, прес-ножицях та пилками різного типу, а також штамповкою.

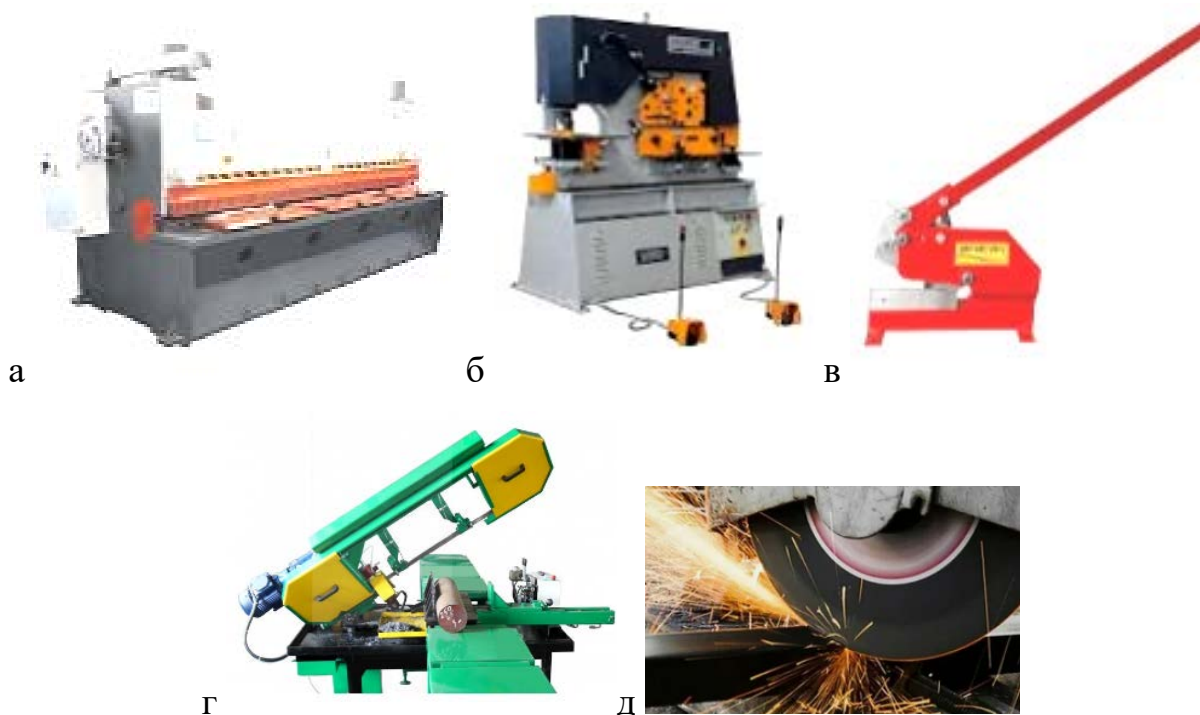


Рис. 3.4. Гідравлічні гільйотинні ножиці (а), прес-ножиці (б), ручний верстат для різання металу товщиною до 5мм (в), стрічкова пилка по металу (г), дисковий верстат (д)

Процес різання на ножицях відбувається за рахунок сколювання металу по лінії різання. Відбувається це в такий спосіб (рис.3.5,а): метал 1, що розрізається, розміщують між нижнім нерухомим і верхнім рухливим ножами і просувають по столу нож 4 до упору 2; при включенні механізму 7, який забезпечує рух верхній ніж 5 опускається, починає давити на метал і притискає його до нижнього ножа 3; робочі кромки ножів стискають і вони через поверхневі шари металу проникають у його товщу на $(0,2...0,5)t$.

Основні позначки на рис 3.5:

Для роботи на ножицями (а):

-листова сталь (1); упор (2); нижній ніж (3); стіл (4); верхній ніж (5); притискувач (6); механізм руху (7).

Для роботи на прес-ножицями(б) та гільйотинними ножицями (в):

-стіл (1); нижній ніж (2); листова сталь (3); верхній ніж (4); ножова балка (5); притискувач (6).

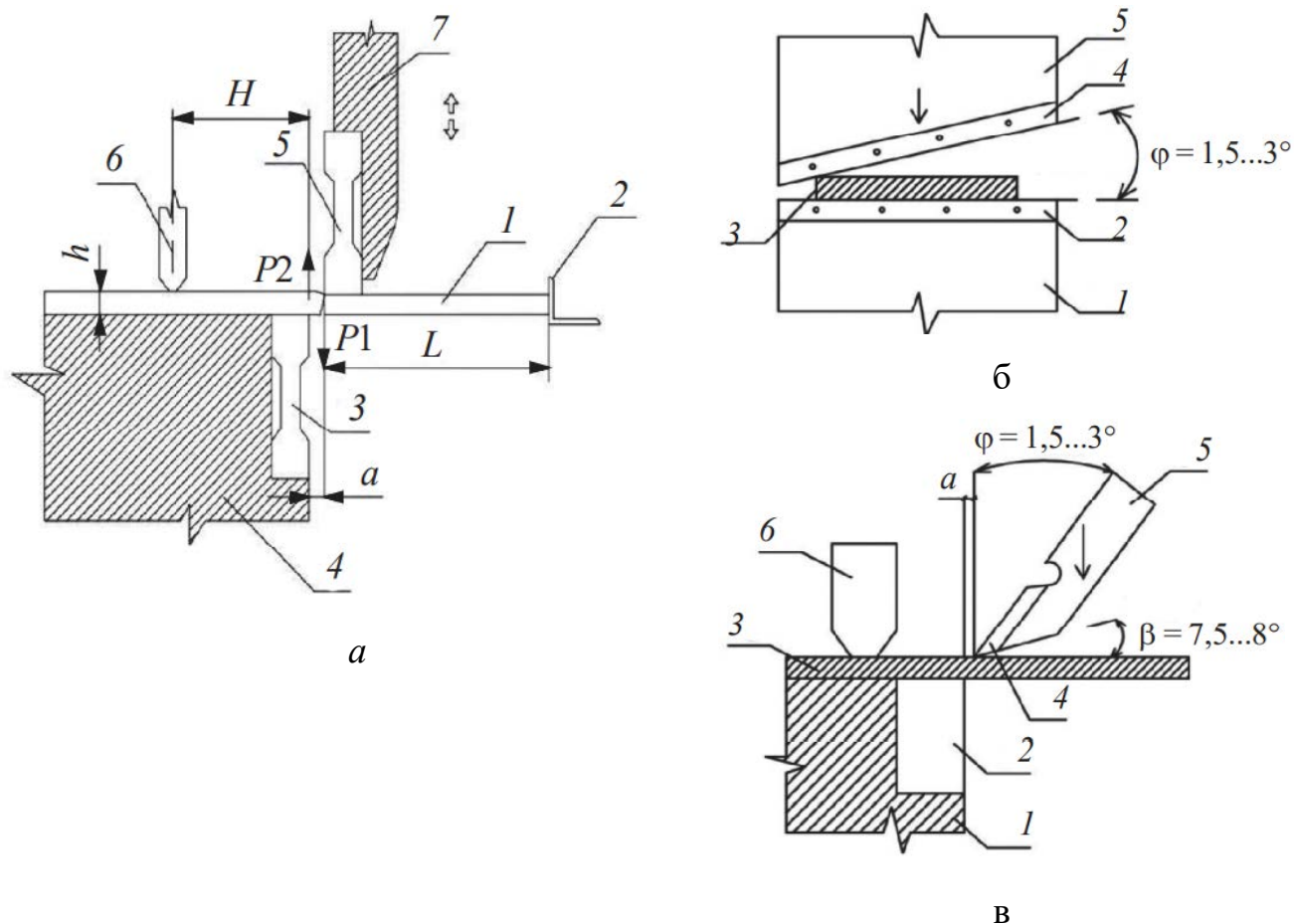


Рис. 3.5. Схема різання листової сталі

а) ножицями; б) прес-ножицями; в) гільйотинними ножицями

У наслідок цього площа зрізу зменшується і напруження в металі поступово збільшується; коли тиск стає більшим за опори зрізу, відбувається сколювання металу. Для того щоб метал, який підлягає обробці, був міцно закріплений (інакше відбудеться заклинювання і поломка ножів), його притискають до станини притиском 6. Величина зазору між ножами визначається такою, щоб верхній ніж у робочому русі не зачепив нижнього; крім того, величина зазору залежить від товщини металу, що розрізається. Зазори ножів, що рекомендуються, при товщині листів, мм:

	До 4	5...10	12...25	26...40
Величина зазору, мм	0,30	0,35...0,65	0,90...1,75	1,80...2...2,2
Величина кута створу, град	1,20	1,40	1,40...1,50	3...5

При розрізуванні на прес-ножицях (ріжучі кромки ножів паралельні) відбувається одночасне сколювання прокату по всій довжині ножа. Зусилля, необхідне для різання будь-якого профілю (смуги листової чи кутової сталі) рахуються за формулою (3.6.);

$$P_p = m_1 \times \sigma_{zp} \times A, \quad (3.6)$$

де A - площа перерізу профілю, що розрізається (мм²); σ_{zp} - розрахунковий опір сталі зрізу, МПа (Таблиця 3.1); m_1 - коефіцієнт, що враховує ряд особливостей процесу і він дорівнює **1,1**.

Розрахункове значення P_p не повинне перевищувати зусилля, що можуть створити прес-ножиці.

При визначенні зусилля, необхідного для розрізування листової сталі на гільйотинних ножицях, застосовують наступну формулу:

$$P_p = m_2 \times h^2 \times \sigma_b / \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.7)$$

де h - товщина металу, що розрізається, мм; σ_b - тимчасовий опір металу, що розрізається, МПа (Таблиця 3.2.); φ - кут нахилу верхнього ножа до нижнього, горизонтального; m_2 - коефіцієнт, що враховує ряд особливостей процесу, рівний 0,55. Розрахункове значення P_p повинне бути менше зусилля, створюваного гільйотинними ножицями і зазначеного в паспорті машини.

Таблиця 3.1

Розрахунковий опір сталі зрізу

Марка сталі	$\sigma_y^{K_{np}}$, МПа	σ_{zp} , МПа
ВСт3; Ст3мост; М16С	230	320
09Г2; 09Г2С	290	390
14Г2; 10Г2С1; 15ХСНД;	330	440
16Г2АФ; 15Г2СФ	450	580
12Г2СМФ; 14Х2ГМР	600	860

П р и м і т к и. 1. $\sigma_y^{K_{np}}$ - відповідає межі текучесті сталі, σ_{zp} - відповідає технологічному тимчасовому опору сталі.

Останнім часом використовується нова формула, у якій окремо враховуються зусилля, яке витрачається безпосередньо на зріз металу та на вигин заготовки, що відрізається. Крім того, формула більш повно враховує вплив на зусилля розрізування пластичності металу:

$$P_p = K 0,6 \sigma_B \delta_5 (h^2 / \operatorname{tg} \varphi) \left[1 + \frac{1}{1 + \frac{10 \sigma_5}{\sigma_B y^2 x}} + Z \frac{\operatorname{tg} \varphi}{0,6 \sigma_5} \right], \quad (3.8)$$

де K - коефіцієнт, який залежить від товщини металу, що розрізається, (при товщинах 4...10 мм $K = 1,20$; при товщинах 12...20 мм $K = 1,15$; а при товщинах 22...32 мм $K = 1,10$) і стану кромки ножів, що ріжуть; σ_B - розрахунковий тимчасовий опір сталі розриву, МПа;

δ - відносне подовження сталі в частках від 100%; h - товщина металу, мм; φ - кут створу ножів, °; $x = H/h$, де H - відстань між крайкою нижнього ножа, що ріже, і центром притиску:

h , мм	3	4	6	10	12	16	20	25	32
H , мм		65			70			90	
x	21,7	16,2	10,8	7	5,8	4,4	4,5	3,6	2,8

$y = a/h$ - величина відносного зазору між ножами, тобто відношення a (величина зазору між ножами, тобто відстань між ріжучими кромками верхнього і нижнього ножа, через яку проходить метал під час різання) до товщини металу, що розрізається:

h , мм	3	4	6	8	10	12	16	20	25	32
H , мм	0,200	0,300	0,45	0,55	0,65	0,90	1,10	1,40	1,75	2,20
x	0,0668	0,075	0,075	0,065	0,065	0,075	0,069	0,07	0,07	0,07

При правильно встановлених зазорах між ножами значення y можна приймати рівним 0,07 і y^2 буде дорівнювати 0,0049.

При виготовленні конструкцій, які потребують підвищеної точності і якості різання профільної сталі, круглого прокату і труб різання виконують дисковими пил-

ками зубчастими або пилками з абразивними дисками. Дискові зубчасті пилки дають гарну якість розрізу. Площина розрізання не вимагає додаткової обробки.

3.5. Кисневе різання сталі

Поряд з механічним різанням основним і ведучим способом сучасного різання деталей будівельних конструкцій є кисневе різання (див. рис. 3.5), що має ряд переваг. Так при різанні деталей практично будь-якої товщини і форми одночасно відбуваються розділове різання і підготовка кромок під зварювання, що значно підвищує продуктивність праці в порівнянні з механічним різанням, а потім струганням кромок.

Усі заводи металоконструкцій оснащені установками для кисневого різання сталі товщиною до 250...300 мм. Особливо ефективно кисневе різання для листових деталей, тому що в цьому випадку можливе застосування кисневоріжучих автоматів або напівавтоматів. Сортовий і балковий металопрокат поки розрізають вручну, що обмежує застосування для цих профілів кисневого різання. Процес кисневого різання полягає в спалюванні сталі в струмені кисню і складається з наступних стадій: підігрівання металу до температури запалення в кисні; спалювання металу в струмені кисню; видудування продуктів горіння (окислів-шлаків) з порожнини розрізу.

Перед різанням поверхню металу зачищають від окалини, іржі, фарби і бруду полум'ям різача і металевою щіткою.

Розмічування виконують металевою лінійкою, рисувалкою і крейдою.

Листи вкладають горизонтально на опори. Величина вільного простору під листом повинна дорівнювати половині товщини металу плюс 100 мм.

Сталі товщиною до 300 мм ріжуть звичайними універсальними різачами. Основні труднощі пов'язані із застосуванням високого тиску кисню, необхідністю прогрівання нижніх шарів металу і видаленням шлаку на значній відстані від різача.

Сталі товщиною більше 300 мм ріжуть спеціальними різачами, мундштуки яких мають збільшені прохідні отвори для ріжучого кисню.

Для зменшення нагрівання мундштука в процесі різання сталей великої товщини і зменшення забруднення його каналів, відстань від торця мундштука до поверхні металу беруть більшу, ніж при звичайному різанні.

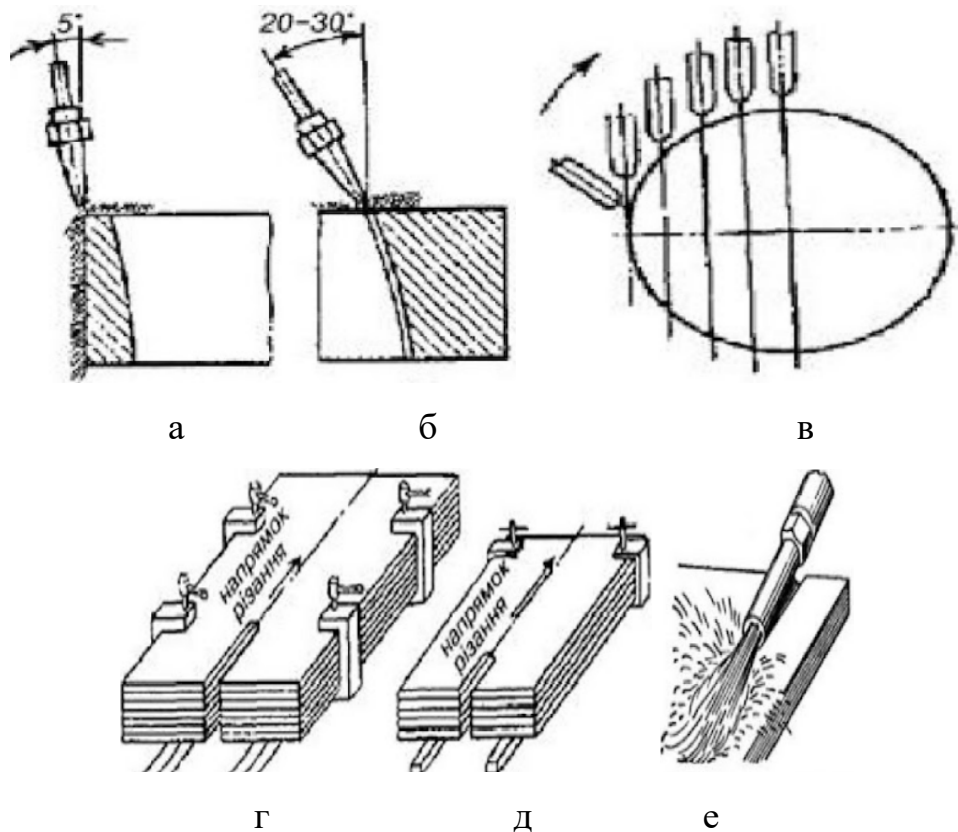


Рис. 3.6. Розташування різача при різанні листового прокату на початку різання (а); у процесі різання (б); розташування різача при різанні круглих заготовок (в); пакетне різання листів сталі із щільним притисканням пакета (г); пакетне різання листів сталі із затисканням пакета зі сторони, протилежної початку різання (д), схема поверхневого кисневого різання (е)

Для різання сталей великої товщини застосовують науглецьоване підігрівне полум'я, тому що воно буде довшим.

Поверхнєве кисневе різання (див. рис. 3.5,е) застосовують тоді, коли потрібно зняти шар металу з оброблюваної поверхні. Метал, який горить знімається та видаляється у формі рідкого шлаку. Ріжучий кисневий струмінь направляється під малим

кутом до оброблюваної поверхні (зазвичай близько 10°) і не прорізає метал наскрізь, а лише ковзає по його поверхні.

Поверхнева кисневе різання відрізняється від розділового різання тим, що замість наскрізного розрізу на поверхні металу, утворюється канавка. Профіль канавки залежить від форми і розмірів вихідного каналу для ріжучого кисню в мундштуці, а також режимів різання і розташування (кута нахилу) різача щодо листа. Сутність процесів роздільного та поверхневого різання однакова. Джерелом нагріву металу є не тільки полум'я різача, але і розплавлений шлак, який, розтікаючись по поверхні листа вздовж лінії різу, підігріває нижчерозташовані шари металу. Отже, при поверхневому різанні краще використовується теплота, що виділяється в результаті окиснення заліза, ніж при роздільному різанні.

Поверхнєве кисневе різання знайшло велике поширення в металургійній промисловості для видалення поверхневих дефектів листа, в зварювальному виробництві для видаленні дефектних ділянок швів та при виконанні ремонтних робіт. Процес поверхневого кисневого різання протікає стійко тільки в тому випадку, якщо напрямок переміщення різача збігається з напрямком кисневого струму. При рівномірному переміщенні різача в напрямку утворюваної канавки підігріваюче полум'я може бути вимкнено.

Для підвищення стійкості процесу різання в момент входження кисневого струменя в метал мундштук нахиляють під кутом 2-3° до вертикалі в сторону різання.

Основним критерієм якості кисневого різання є відсутність тріщин на кромках утворених деталей. Тріщин на кромках можна уникнути, забезпечивши відповідну швидкість їхнього охолодження після нагрівання, що виникає при різанні. Сприятливий режим охолодження визначається за еквівалентом вуглецю, %:

$$C_e = C + 0,16Mn + 0,3(Si + Mo) + 0,4Cr + 0,2V + 0,04(Ni + Cu)$$

У дану формулу замість символів хімічних елементів слід підставити фактичний їхній зміст у сталі (у відсотках) і обчислити значення C_e і це дозволяє визначити умови різання (режим охолодження):

- при $C_e < 0,6$ різання може виконуватись в будь-яких виробничих умовах без технологічних обмежень;
- при $0,6 < C_e < 0,8$ різання без підігріву може виконуватися тільки при температурі навколишнього середовища не нижче $+15^{\circ}\text{C}$;
- при температурі навколишнього середовища нижче $+15^{\circ}\text{C}$ необхідно виконувати підігрів зони різання до $+120^{\circ}\text{C}$;
- при $C_e > 0,8$ різання можливо робити тільки після нагрівання зони різання до 120°C незалежно від температури навколишнього середовища.

Необхідно пам'ятати, що у разі місцевого підігріву в районі різання також відбуваються структурні зміни. Загальна зона зміни структури і хімічного складу має незначну глибину, яку можна визначити за емпіричною формулою:

$$a = 0,65 + 0,03 \times h, \quad (3.9)$$

де a - глибина зони зміни структури і хімічного складу (мм); h - товщина деталі, що розрізається (мм).

Головною характеристикою режиму кисневого різання є швидкість різання металу V_p . При застосуванні в якості газу ацетилену швидкість розрізування може бути визначена за формулою:

$$V_p = K_k \times f(lgh) \times K_{чк} \quad (3.10)$$

де K_k - коефіцієнт якості кромок деталей (таблиця 3.4);

$K_{чк}$ - коефіцієнт кисню (таблиця 3.3);

lgh - десятковий логарифм товщини металу h , мм.

При застосуванні пропан-бутанової суміші швидкість розрізування металу можна визначати за формулою (3.10), але кінцевий результат необхідно множити на коефіцієнт 0,6.

Таблиця 3.2.

Коефіцієнт кисню

Коеф. кисню, %	99,8	99,5	99,2	99,0	98,6	98,5	98,4
$K_{чк}$	1,09	1,00	0,94	0,90	0,88	0,84	0,80

При застосуванні пропан-бутанової суміші швидкість розрізування металу, визначену за формулою (3.10), необхідно множити на коефіцієнт 0,6.

Ширина прорізу, що утворюється в металі кисневим різанням з боку полум'я, визначається за формулою:

$$a = 2 + 0,03 \times h \quad (3.11)$$

На зворотній стороні ширина прорізу збільшується приблизно на 10...30 %.

Грат - це тонкі залишки металу, які «підвішуються» знизу різі після відділення частини заготовки. Вони заважають точності, ускладнюють складання та зварювання, і їх треба видаляти додатковою обробкою (зачисткою, шліфуванням). Інформація «без грата» у таблиці 3.3 означає, що після кисневого різання на крайці металу не утворюється грат (задири, напливи, виступи металу).

Тиск кисню, що ріже, визначається за емпіричною формулою:

$$P = (0,71 + 2 / h) / \sqrt{h} \quad (3.12)$$

Відстань мундштука від поверхні розрізу (мм) визначається за формулою:

$$a = 2 + 0,015 \times h \quad (3.13)$$

Нормальна витрата кисню:

$$Q_k = 1,7(Q_{бк} + Q_{пк}) \quad (3.14)$$

де $Q_{бк}$ - витрата кисню, що ріже (л/м); $Q_{пк}$ - витрата кисню, що підігріває (л/м);

$$Q_{пк} = (2,7 + 3,4 / h) \times b \times h, \quad (3.15)$$

де b - ширина прорізу (мм);

$$Q_{пк} = 1,2 Q_a \quad (3.16)$$

де Q_a - витрата ацетилену (л/м),

$$Q_a = (86 + 250 / h) / \sqrt{h} \quad (3.17)$$

1,07 - коефіцієнт, що враховує різні втрати кисню (регулювання, переходи від одного різання до іншого, залишки кисню в балонах, витікання).

Таблиця 3.3

Значення коефіцієнта якості кромок деталі

Клас якості	Вид різання	Стан поверхні різання	Тип деталей, що вирізуються	K_k
I	Чистове вирізання фігурних деталей	Відмінне без грата	Вузлові фасонки важких ферм і підкраново-підкровоквних систем	0,7
II	Те ж, деталей прямокутної форми	Гарне без грата	Стінки балок під автоматичне зварювання. Полички балок у розтягнутих зонах	0,8
III	Вирізання деталей, що не потребують високої якості	Задовільне з легко відділенням грата	Стінки балок під ручне зварювання. Полички балок у стиснутих зонах	0,9
IV	Вирізання деталей із припуском на механічну обробку	Задовільне з гратом	Кромки деталей для наступного стругання і фрезерування	1,0
V	Заготівельне різання і різання відходів	Не регламентується	Заготівля для наступного тонкого вирізання. Різання обрізків.	1,2

Кисневе різання виконується ручними різачками або напівавтоматами "Радуга" після розмічування, автоматами за допомогою окремих копірних щитів, машинами з фотокопіювальними пристроями і машинами з програмним керуванням.

Перед початком різання підігрівне полум'я встановлюється на край металу для нагрівання кромки до температури оплавлення, після чого пускають ріжучий кисень.

Розташування різачка залежить від товщини металу. При товщині металу до 50 мм різак спочатку встановлюють вертикально, а при більшій товщині металу - під кутом 5° до поверхні торця листа (рис.3.5, а), а потім нахиляють на $20-30^{\circ}$ у сторону, протилежну рухові різачка (рис.3.5, б). Таке розташування сприяє кращому підігріву металу по товщині та підвищенню продуктивності різання. Проте його використовують тільки для прямолінійного різання, тому що при фігурному різанні різак повинен бути розміщений строго вертикально. Початок різання проходить при збільшеному куті і з поступовим зменшенням кута до перпендикулярного розташування різачка всередині різа.

Різання за допомогою окремих копирів і копірних щитів відрізняються високою точністю і продуктивністю, але виготовлення копирів дуже трудомістке, складне і дороге. Копіри створюють деякі незручності у виробництві, тому що вимагають додаткових площ для їхнього збереження.

3.6. Плазмове різання сталі

Плазмове різання - це один із найефективніших методів термічної обробки металів, який базується на використанні електричної дуги, стиснутої потоком газу чи електромагнітним полем. У результаті цього утворюється плазмовий струмінь з температурою $10\,000-15\,000\,^{\circ}\text{C}$, здатний швидко розплавляти і видувати метал з вузької зони різі.

Цей метод забезпечує високу швидкість різання, точність і якість кромки, перевершуючи газополуменеве різання та конкуруючи з лазерним.

Обладнання для плазмового різання.

Комплекс для плазмового різання складається з:

- плазмотрона (пальника);
- джерела живлення електричної дуги (інверторного або трансформаторного типу);
- блоку керування процесом;
- газового господарства;
- системи охолодження (водяне чи повітряне);
- механізму переміщення плазмотрона (ручного або автоматизованого).

Сучасні установки часто інтегруються з ЧПУ (числовим програмним управлінням), що дозволяє виконувати різання деталей будь-якої конфігурації з високою точністю.

Будова плазмотрона. Плазмотрон має два основних вузли:

- електродний - містить неплавкий вольфрамовий електрод діаметром 2-3мм (марки WT20, WL20, WZ8);
- сопловий - формує та стискає дугу газовим потоком.

У деяких моделях використовується система подвійного газового потоку: внутрішній - для стабілізації дуги; зовнішній - для видування розплавленого металу.

Газове середовище. Для плазмоутворення застосовують різні гази або їх суміші:

- аргон + водень - для алюмінію, нержавіючих сталей, міді;
- азот - для чавуну, сталі, кольорових металів;
- кисень - для вуглецевих і низьколегованих сталей (забезпечує найвищу швидкість);
- повітря - економний варіант, але він зменшує термін служби електродів і сопел.

Принцип дії. Між вольфрамовим електродом і оброблюваним металом збуджується дуга. Потік газу стискає дугу, перетворюючи її в концентрований плазмовий струмінь. Метал на вузькій ділянці швидко плавиться й видувається з різку.

Розрізняють два основних методи:

- плазмово-струминне різання - деталь не включається в електричний ланцюг;
- плазмово-дугове різання - деталь є частиною електричного кола.

Можливості та сфери застосування.

- різання металу товщиною від 1 до 65 мм (економічно оптимально - 12-65 мм);
- обробка вуглецевих і нержавіючих сталей, чавуну, алюмінієвих і мідних сплавів;
- можливість вирізання отворів будь-якого діаметра;
- обробка складних деталей із високою точністю (у поєднанні з ЧПУ).

Переваги плазмового різання:

- висока продуктивність;
- можливість різання всіх видів металів та їхніх сплавів;
- мінімальне теплове деформування деталей;
- низька шорсткість і чистота поверхні різку;
- можливість виконання складних криволінійних деталей;
- економічність для середніх і великих товщин металу.

Типи установок:

- інверторні (портативні) - компактні, легкі, енергоощадні, зручні для монтажних робіт;
- трансформаторні (стаціонарні) - потужні, витривалі, застосовуються на виробництві.

Сучасні комплекси часто обладнуються:

- опцією 3D-різання;
- роботизованими маніпуляторами;
- системами автоматичного контролю зазору сопла до металу;
- системами рекуперації газу.

Сучасні виробники та моделі. На європейському та світовому ринках представлені такі виробники:

- ESAB (Швеція) - лінійка Suprarex, Cutmaster;
- Hypertherm (США) - серії Powermax, HPR XD;
- Kjellberg Finsterwalde (Німеччина);
- Messer Cutting Systems (Німеччина);
- Bystar (Швейцарія);

- CNC Plasma LineaCorde PCL40 (Італія);
- Сварог, Аврора PRO, Ресанта (Україна, РФ).

Висновки. Плазмове різання є одним із провідних методів високопродуктивної обробки металів, який поєднує швидкість, точність та універсальність. Завдяки розвитку інверторних джерел живлення, застосуванню ЧПУ та роботизації воно дедалі частіше витісняє традиційні методи і наближається за якістю до лазерного різання, зберігаючи при цьому доступність та економічність.

3.7. Лазерне різання металевих конструкцій

Лазерне різання ґрунтується на фокусуванні променя лазерного випромінювання на поверхні металу. У зоні фокусування температура сягає 3000-6000 °С, метал локально плавиться або випаровується, а струмінь технічного газу (кисень, азот або аргон) видуває продукти плавлення із зони різку (див. рис. 3.7).

При використанні кисню процес супроводжується окисненням і виділенням додаткового тепла - пришвидшення різання.

При використанні азоту чи аргону окиснення відсутнє - чиста крайка без окалини (важливо для нержавіючої сталі, алюмінію).

Види лазерів, що застосовуються для різання металів.

СО₂ -лазери (вуглекислотні). Довжина хвилі 10,6 мкм ($10,6 \times 10^{-6} \text{ м} = 10,600 \text{ нм}$). Добре ріжуть вуглецеві сталі та алюміній. Недоліки: великі розміри обладнання, відносно висока вартість обслуговування.

Волоконні (fiber) лазери. Довжина хвилі 1,06 мкм ($1,06 \times 10^{-6} \text{ м} = 10,600 \text{ нм}$). Ефективні для відбивних матеріалів (мідь, латунь, нержавіюча сталь). Вища енергоефективність, компактність, довговічність джерела. Найбільш поширені у сучасній промисловості.

YAG-лазери (твердотільні). Використовуються рідше, переважно для гравіювання й високоточного різання тонкого металу.

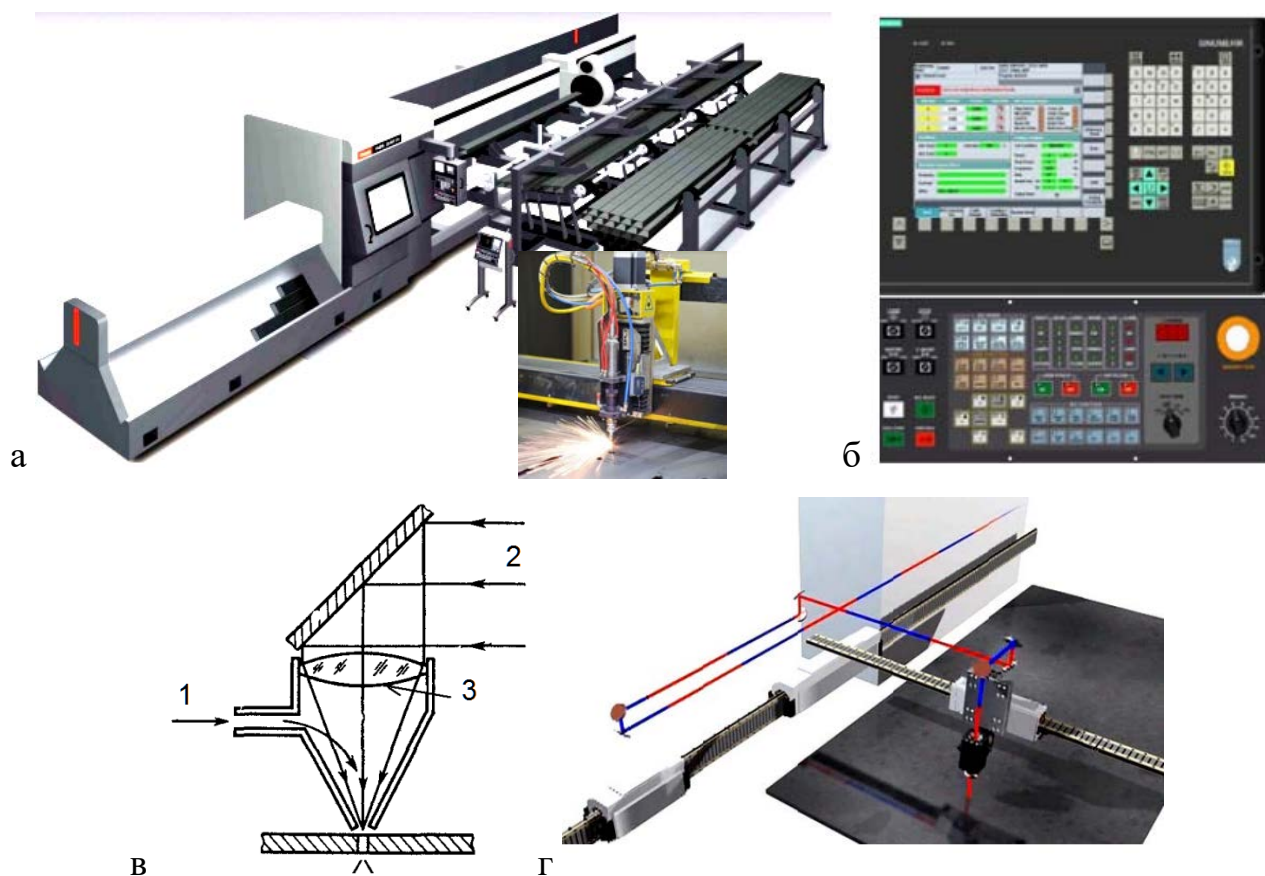
Товщина та якість різку:

- вуглецева сталь: до 25-30 мм.

- нержавіюча сталь: до 20-25 мм (при азотному різанні - без окалини).
- алюміній та сплави: до 15-20 мм.
- мідь, латунь: до 10-12 мм.

Якість різу визначається:

- мінімальною шириною (0,1-0,5 мм),
- відсутністю механічного контакту,
- гладкою крайкою без задирок,
- малою зоною термічного впливу (0,2-0,5 мм).



*Рис. 3.7. 3D-верстати лазерного різання (а); системи ЧПК (б); принципова схема лазерного різання (в); світловод верстата лазерного різання (г):
допоміжний газ (1), лазерний промінь (2), фокусуєча лінза (3);*

Обладнання для лазерного різання.

Лазерні комплекси можуть бути порталні, консольні або комбіновані. Основні вузли:

1. Лазерне джерело. Генератор випромінювання (CO, fiber або YAG). Система охолодження (водяне чи повітряне). Стабілізатори живлення.

2. Оптична система. Волоконні кабелі або дзеркала для передачі випромінювання. Фокусуюча лінза в ріжучій головці. Автоматичне регулювання фокусної відстані (автофокус).

3. Ріжуча головка. Сопло для подачі газу (кисень, азот, аргон). Датчики висоти для утримання стабільного зазору між соплом і поверхнею заготовки. Система захисту оптики від забруднення бризками металу.

4. Станина (робочий стіл). Зазвичай порталного типу з ЧПК. Може мати рухомий стіл або конвеєр для заготовок. Оснащується витяжною вентиляцією для видалення диму й пилу.

5. Система ЧПК (числового програмного керування, див. рис. 3.5). Дозволяє програмувати карту розкрою. Оптимізує траєкторію руху лазерної головки. Інтегрується з CAD/CAM-системами.

Застосування у виробництві та будівництві.

Високоточне різання деталей складної форми (фасонки, косинки, елементи вузлів).

Виготовлення отворів, пазів, фігурних вирізів у балках і листах.

Різнання тонколистового металу для обшивок, кожухів, декоративних панелей.

Підготовка заготовок для зварних з'єднань із мінімальною механічною обробкою.

Використовується також у машинобудуванні, авіа- та суднобудуванні.

Переваги лазерного різання:

- висока точність (до $\pm 0,05$ мм);
- чиста крайка (без окалини при різанні в середовищі азоту);
- мінімальні деформації металу;
- універсальність за видами матеріалів;
- можливість повної автоматизації.

Обмеження:

- висока вартість обладнання й обслуговування;
- обмеження за товщиною (для товстих металів вигідніше газове чи плазмове різання);
- вимоги до якості поверхні (іржа чи бруд погіршують якість різу).
- потреба у потужних джерелах енергії та вентиляції.

Лазерне різання є найбільш точним і сучасним методом розділення металів, який широко застосовується під час виготовлення металевих конструкцій. Воно дозволяє мінімізувати механічну обробку після різання та забезпечує високу повторюваність деталей, що робить його незамінним у серійному й масовому виробництві.

3.8. Утворення отворів

Утворення отворів є однією з основних операцій при обробці деталей металевих конструкцій. Отвори утворюють в основному двома способами: продавлюванням (проколюванням) і свердлінням (див. рис. 3.8).

Продавлювання отворів допускається в наступних випадках:

- а) для маловуглецевих сталей товщиною до 25 мм включно;
- б) для низьколегованих сталей товщиною до 20 мм включно;
- в) для високоміцних сталей товщиною до 10 мм включно;
- г) при утворенні отвору, діаметр якого більше товщини деталі алене менш чим на 2 мм.

Продавлювання засноване на сколюванні металу по периметру отвору. Процес утворення отвору продавлюванням відбувається в такий спосіб. Спочатку пуансон, натискаючи на метал, зминає його і трохи врізається в товщу деталі. Під тиском пуансона в металі виникають два види напруження - стискаючі (компресійні) і зсувні (зрізувальні) або сколюючі, зосереджені по кромках пуансона, що ріже, і матриці. Під впливом цих напружень у металі відбуваються зрушення, а потім утворюються тріщини сколювання, після чого настає руйнування металу і відділення кусочка, що виколується.

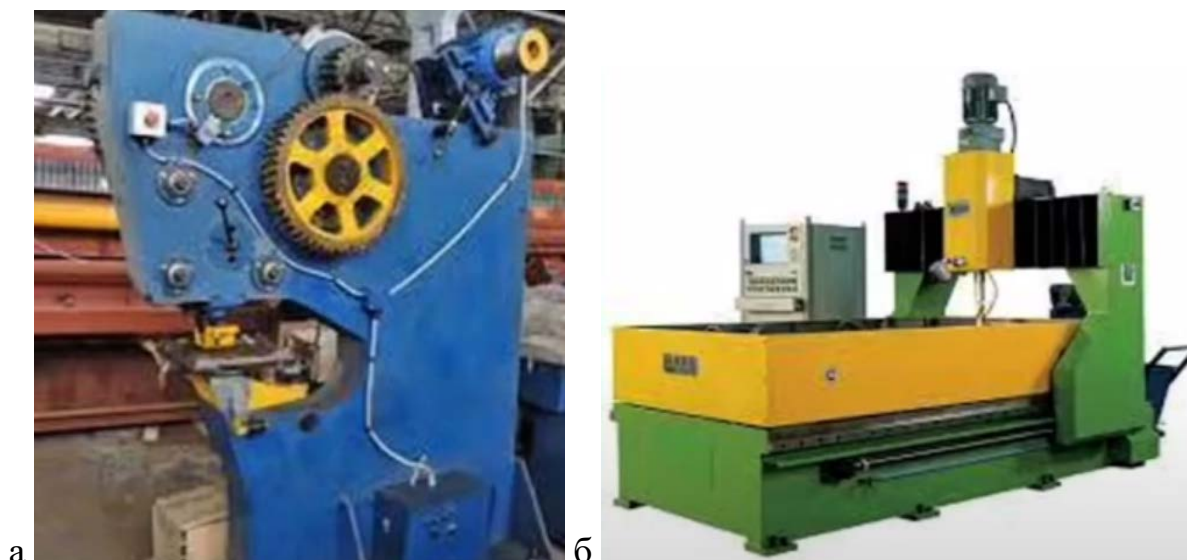


Рис. 3.8. Прес для продавливання (а), свердильний верстат (б)

Зусилля, необхідне для продавливання отвору будь-якої форми, визначають за формулою:

$$P_{ш} = k_n \times p \times h \times \sigma_{зр} \quad (3.18)$$

де p - периметр отвору (мм); $\sigma_{зр}$ - розрахунковий опір металу зрізу, МПа (див. табл. 3.5); k_n - коефіцієнт, величина якого залежить від зазору між матрицею і пуансоном (можна прийняти 1,1).

Продавливання отворів у залежності від профілю сталі, кількості і розмірів деталей, технологічних можливостей устаткування, кількості і характеру розташування отворів виконують після розмічання чи за допомогою шаблону з використанням різних пристосувань на одно-, двох- і багатоштемпельних пресах для пробивання отворів.

Розмір деталі з листової сталі при продавливанні отворів на одноштемпельних і двохштемпельних пресах обмежується глибиною зева, відстань від краю деталі до центра отвору не повинна перевищувати глибину зева, інакше деталь буде упиратися в станину преса. На пресах, які використовуються на заводах, глибина зева (відстань від осі повзуна до станини) складає, як правило, 700...800 мм. Отвори на одно- і двохштемпельних пресах проколюють або після розмічування, або за допомогою шаблону з картону. В останньому випадку рекомендується обробляти листові деталі

масою до 10 кг та площею менш 0,5 м², а також можна обробляти прямолінійні деталі з кутників довжиною до 500 мм і масою до 10 кг. Отвори в шаблоні виконують на 1 мм більше діаметра пуансона. Отвори після розмічування продавлюють у листових деталях масою від 10 до 50 кг та площею більш 0,5 м², а також отвори можна продавлювати у деталях з кутників довжиною 1000...7000 мм і масою до 80 кг.

Двохштемпельні преси доцільно застосовувати для обробки смугових деталей, парних кутників, одиночних швелерів і двотаврів, а також деталей, що мають отвори різних діаметрів, які розташовані по ширині деталі на відстані 80...100 мм. На багатштемпельних пресах доцільно обробляти великі деталі і деталі з кутника довжиною до 15 м з великою кількістю необхідних отворів. Ширина оброблюваного листа залежить від відстані між стійками станини і складає 1500...3000 мм.

Свердлення отворів призначається для товщини листів понад 20...25 мм. У деталях меншої товщини свердлення застосовують при складному розташуванні отворів і діаметрах, менших товщини листів. Практично на заводах металевих конструкцій отвори діаметром до 80 мм, включно, виконуються за допомогою свердлення.

Отвори більшого діаметра з метою підвищення продуктивності праці виконуються кисневим різанням з наступним, в необхідних випадках, розточенням на розточувальних верстатах.

Свердлення отворів у залежності від профілю сталі, розмірів деталей, їхньої серійності, необхідної точності виконують по позначці (розмітці), чи кондукторам у пакеті по шаблону на стаціонарному чи пересувному радіально-свердлильному верстатах.

Свердлення отворів після розмічування виконують при обробці деталей з кутників, швелерів і двотаврів, а також одиночних листових деталей. Свердлення у кондукторах застосовують для листових деталей, що вимагають високої точності (+0,3 мм) розташування отворів (торцеві фасонки кроквяних ферм, полички і стінки колон у місцях приєднання кроквяних і підкрівляних ферм, фланці антеннощоголових споруджень). Свердлення отворів по шаблону в декількох листових дета-

лях, які зібрані у пакет, значно підвищує продуктивність. У якості шаблонів використовують рядові деталі з отворами, що укладають зверху пакета деталей без отворів.

Таблиця 3.5

Величини коефіцієнтів і показників ступеня у формулах
визначення швидкості різання і кількості оборотів

Технологічна операція	Оброблювана сталь	C_s	C_v		k_v
			$S < 0,2 \text{ мм}$	$S > 0,2 \text{ мм}$	
Свердлення	ВСт3	0,085	7	10,0	1,00
	09Г2	0,082	6,6	9,4	0,85
	10Г2С1	0,075	5,8	8,0	0,85
	10ХСНД	0,072	5,6	6,3	0,80
	16Г2АФ	0,068	5,2	7,2	0,80
Стругання	ВСт3	-	100	80	1,00
	09Г2	-	90	74	0,85
	10Г2С1	-	76	65	0,85
	10ХСНД	-	72	62	0,80
	16Г2АФ	-	65	58	0,80
Фрезерування	ВСт3	7,2	-	5200	1,00
	09Г2	7,0	-	5000	0,85
	10Г2С1	6,6	-	4800	0,85
	10ХСНД	6,4	-	4600	0,80
	16Г2АФ	6,2	-	4400	0,80

	Свердлення	Стругання	Фрезерування
X_v	0,4	0,2	-
Y_v			
$S < 0,2 \text{ мм}$	0,7	0,5	-
$S > 0,2 \text{ мм}$	0,5	-	0,3
T , хв	D , мм	60	300
m	0,2	0,1	-

Економічна стійкість свердла T , хв., умовно приймається рівною діаметру свердла D , мм.

Звичайно пакет складається з 4...5 деталей, висота пакета 80...100 мм. Рядова деталь як шаблон може використовуватися не більш 3...4 разів. При свердленні отворів варто звертати увагу на закріплення деталей на свердлильному верстаті і на скріплення пакетів при пакетуванні листової сталі.

Практикою встановлено, що більш продуктивне свердлення на максимальних подачах, які обумовлені міцністю свердла. Подачу свердла визначають за формулою

$$S = C_D \times D^{0.6}, \quad (3.19)$$

де D - діаметр свердла (мм); C_D - коефіцієнт, який залежить від міцності матеріалів свердла й оброблюваного металу.

Швидкість різання при обчисленій подачі визначають за формулою

$$V = (C_v \times D^{x_v} / T^m \times S^{y_v} \times k), \quad (3.20)$$

де C_v - коефіцієнт, який залежить від міцності оброблюваної сталі;

T - економічна стійкість свердла, яка дорівнює діаметру свердла (мм);

x_v, y_v, m - показники ступеня, що залежать від умов свердлення;

k - коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, матеріалу свердла й умов свердлення (подачі, змащення і т.ін.).

Усі коефіцієнти і показники ступеня, що входять у формули, можна визначати за табл.3.5. За швидкістю різання визначають кількість оборотів у хвилину:

$$n = V \cdot 1000 / \pi D, \quad (3.21)$$

Оптимальні режими різання при свердленні маловуглецевих сталей наведено в [51,52].

У таблиці 3.6 наведені оптимальні режими свердління маловуглецевих сталей (типу Ст3, ВСт3, С245) для свердел з швидкорізальної сталі (Р6М5) і твердосплавних свердел.

Для твердосплавних свердел швидкість різання можна збільшити у 2-2,5 рази, при тих самих подачах.

Таблиця 3.6

Оптимальні режими свердління маловуглецевих сталей (товщина заготовки до 30 мм, нормальні умови)

Діаметр свердла, мм	Швидкість різання V , м/хв	Оберти n , об/хв	Подача f , мм/об	Примітки
5	25-30	1600-1900	0,08-0,12	Змащування емульсією
10	22-28	700-900	0,12-0,20	Те ж
15	20-25	420-530	0,20-0,25	Те ж
20	18-22	280-350	0,25-0,30	Рекомендується попереднє центрування
25	16-20	200-250	0,30-0,35	-
30	14-18	150-190	0,35-0,40	-

3.9. Стругання і фрезерування

При обробці деталей металевих конструкцій виникає необхідність у струганні (див. рис. 3.9,а) їхніх кромок для зняття фасок, для видалення зон наклепу після різання на ножах та зон загартування чи зниження міцності після кисневого різання.

При розмічуванні і вирізанні деталей, що підлягають струганню, передбачають необхідні припуски. Стругання виконують на кромкостругальних і поздовжньо-стругальних верстатах. На кромкостругальних верстатах стругають кромки листів, а на поздовжньо-стругальних і поверхні будь-яких деталей прямолінійної форми.

Швидкість різання при струганні визначають за формулою

$$V = C_v \times K_v / T^m \times t^{x_v} \times S^{y_v}, \quad (3.22)$$

де C_v - коефіцієнт, що залежить від міцності оброблюваного матеріалу, матеріалу різця і величини подачі;

K_v - коефіцієнт, що залежить від геометрії робочої частини різця;

T - економічна стійкість різця(хв.). ($T \approx 60$ хв);

t - глибина різання (хв.);

S - подача (мм); m , X_V , Y_V - показники ступеня, що залежать від оброблюваного матеріалу, матеріалу робочої частини й охолодження. Усі коефіцієнти і ступені, що входять у формулу, приведені у таблиці 3.5.

Для одержання рівних і гладких поверхонь торців деталей необхідно виконати їх фрезерування (див. рис. 3.9,б) на торцефрезерних верстатах. Торцефрезерні верстати обладнують столами з упорами і притисками для закріплення деталей, що фрезерують. Дрібні деталі фрезерують одночасно по кілька штук - пакетом.

Режими фрезерування визначають за наступними формулами:

швидкість подачі фрези

$$S = C_s / t^{0,5} B^{0,2} \quad (3.23)$$

швидкість різання

$$V = C_v D^{0,25} k / T^{0,2} t^{0,1} S^y B^{0,15} Z^{0,1}, \quad (3.24)$$

де B - ширина фрезерування (мм); Z - число різців фрези (шт.);

D - діаметр фрези (мм);

t - товщина шару металу, що знімається (мм);

T - економічна стійкість фрези (хв.), ($T = 300 \dots 350$ хв.);

C_v , і C_s - коефіцієнти, що залежать від властивостей оброблюваного матеріалу і матеріалу різців фрези; k - коефіцієнт, що залежить від геометрії голівок різців; y - показник ступеня. Усі коефіцієнти і ступені, що входять у формули, приведені в табл.3.5.

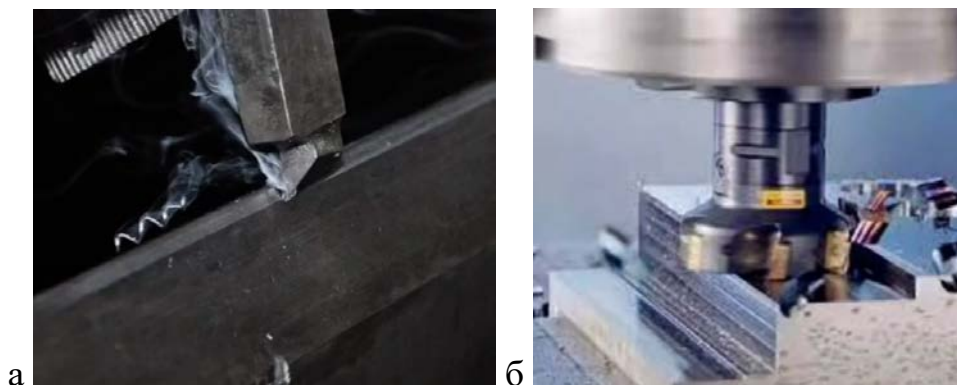


Рис. 3.9. Стругання (а), фрезерування (б)

3.10. Холодне й гаряче гнуття

При виготовленні сталевих конструкцій гнуття деталей, як правило, виконують без нагрівання і тільки в окремих випадках для одержання великих деформацій деталі перед гнуттям нагрівають. У холодному стані можна гнути деталі з будівельних сталей будь-яких марок у тому випадку, якщо максимальна відносна деформація крайніх волокон не перевищує 2%. Це обумовлено структурними змінами металу і появою значного наклепу при великих деформаціях, тому мінімальні радіуси кривизни, що допускаються, і стрілки прогину при гнутті в холодному стані обмежені. Значення їх для найбільш розповсюджених видів виробів металопрокату приведені в таблиці 3.7. "Радіусу кривизни" та "стрілки прогину" - це емпіричні значення, які забезпечують безпечне холодне гнуття без тріщин та правильну геометрію після згину.

Гнуття деталей у холодному стані виконують, в основному, на вальцях для гнуття листів та на машинах для гнуття сортопрокату, гнуття кромки; окрім цього гнуття сортопрокату можна виконувати і на кулачкових пресах. На вальцях для гнуття листів вальцюють листову сталь для утворення циліндричних, конічних і сферичних поверхонь (див. рис. 3.10,а).



а



б

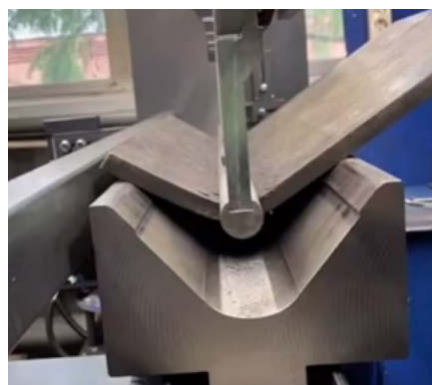


Рис. 3.10. Гнуття по радіусу (а), в кут (б)

На цих же вальцях можна виконувати кільцеве вальцювання кутників, швелерів і двотаврів. Вальці для гнуття листів випускаються з трьома або чотирма горизонтальними валками. Вони дозволяють вальцювати листову сталь шириною не більш 8000 мм і товщиною не більш 50 мм.

Гнуття смуг на ребро, кутників, швелерів і двотаврів у площині стінок і полиць виконують на горизонтальних пресах для правки і гнуття (див. рис. 3.10,б). Цей процес аналогічний виправленню зазначених профілів, тільки ступінь вигину більше. На машинах для гнуття сортопрокату гнуть по заданому радіусу кутники, балки і швелери. Принцип гнуття на цих машинах той же, що і на вальцях для гнуття листового прокату.

Холодне гнуття листа при виготовленні різних гнутих профілів виконується на пресах для гнуття кромки. Гнуття листової сталі на пресах для гнуття кромки звичайно виконують з малими радіусами закруглення і, отже, з великими деформаціями волокон. Напруження при цих деформаціях значно перевищують межу текучості, а тому в розрахункову формулу для визначення необхідного зусилля гнуття P_2 підставляють не межу текучості (σ_T), а тимчасовий опір матеріалу заготовки (σ_ϵ)

$$P_r = 1,2\sigma_\epsilon h^2b / c, \quad (3.25)$$

де σ_ϵ - тимчасовий опір матеріалу заготовки, МПа; b - ширина заготовки, мм; c - ширина паза нижнього штампа (мм); $1,2$ - коефіцієнт, що враховує тертя листа, що згинається, об кромки штампу.

Для того щоб заготовка під час гнуття спиралася на кромки нижнього штампа, необхідно задовольнити нерівність

$$c < 2t \sin \alpha, \quad (3.26)$$

У деталях з низьколегованої сталі перед гнуттям необхідно зачистити кромки на глибину 2 мм, що перетинають лінії гнуття, і видалити задирки.

Останнім часом усе більше застосовується гнуття виробів з балки, швелера, труб з радіусами згину, меншими, чим зазначені у таблиці 3.7 при нагріванні деталі, що згинається, струмами високої частоти. Концентрація нагрівання деталі дозволяє гнути будь-які, у тому числі і тонкостінні, профілі без втрати стійкості їхніх стінок,

отже, і без складок. На зазначених верстатах можна гнути деталі будь-якого перерізу і значних розмірів.

Однак обсяги робіт з гарячого гнуття деталей на заводах металоконструкцій незначні.

Таблиця 3.7

Мінімальні радіуси кривизни і стрілки прогину при холодному
гнутті розрахункових деталей

Вид виробу	Гнуття щодо осі	Мінімальні значення	
		радіусу кривизни	стрілки прогину
Сталь листова універсальна і смугова	Паралельна більшій стороні перерізу листа	25t	200t
Сталь кутникова	Паралельна полиці кутника	45b	360b
Швелери	Паралельна поличкам	25h	200h
	Паралельна стінці	45b	360b
Двотаври	Паралельна поличкам	25h	200h
	Паралельна стінці	25b	200b
Труба	-	30d	

П р и м і т к а. l - довжина погнутої частини; t - товщина листа; b і h - ширина і висота профілю; d - діаметр труби.

Сучасні європейські підходи до виготовлення деталей металевих конструкцій.

У країнах Європейського Союзу виготовлення деталей металевих конструкцій здійснюється відповідно до гармонізованих стандартів та технічних регламентів. Базовим документом є Єврокод 3 (EN 1993: Eurocode 3), який регламентує правила проєктування сталевих конструкцій, а також комплекс стандартів EN 1090 «Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій». Згідно з EN 1090-1, кожен виробник зо-

бов'язаний мати сертифіковану систему виробничого контролю (Factory Production Control - FPC) та право нанесення маркування CE на продукцію.

Цифровізація та автоматизація виробництва. Одним із ключових напрямів сучасних підходів є застосування цифрових технологій проектування та управління виробництвом. Широко використовуються BIM-технології (Building Information Modeling), що забезпечують узгодженість усіх стадій - від проектування до монтажу. Інтеграція CAD/CAM-систем дозволяє автоматично формувати керуючі програми для верстатів з ЧПК (Computer Numerical Control), що зменшує похибки та прискорює виготовлення деталей.

Заготівельні та обробні процеси. Європейська практика ґрунтується на застосуванні високоточних технологій різання та обробки металу. Перевага надається лазерному та плазмовому різанню, що відповідає вимогам до класів точності згідно з EN ISO 9013. Для складних деталей застосовується водоструминне різання, яке дозволяє уникнути термічних деформацій. Свердління та фрезерування отворів виконуються автоматизованими лініями з числовим програмним керуванням, що забезпечує відповідність геометричних параметрів нормам EN 1090-2.

Зварювальні технології та монтажні з'єднання. У країнах ЄС пріоритет надається автоматизованим та роботизованим зварювальним процесам. Найбільш поширеними є методи MIG/MAG, TIG та SAW, що дозволяють забезпечити стабільну якість зварних швів відповідно до вимог EN ISO 3834 та рівнів якості швів згідно з EN ISO 5817. Кваліфікація зварювальників здійснюється відповідно до EN ISO 9606-1. Окрім зварювання, активно застосовуються болтові з'єднання високої міцності згідно з EN 14399, які забезпечують високу точність і можливість монтажу конструкцій.

Контроль якості та сертифікація. Контроль якості є обов'язковою частиною європейської практики. Усі деталі проходять перевірку за допомогою неруйнівних методів (NDT):

- ультразвуковий контроль (EN ISO 17640),
- рентгенографія (EN ISO 17636),

- магнітопорошковий метод (EN ISO 17638),
- візуальний контроль (EN ISO 17637).

Виробник повинен забезпечити повну простежуваність (Traceability) деталей - від плавки сталі до монтажу на об'єкті. Для цього застосовуються сучасні методи маркування: лазерне гравіювання, QR-коди, RFID-мітки.

Екологічність та енергоефективність. Важливим елементом сучасної європейської політики є зменшення викидів CO₂ та раціональне використання ресурсів. Більшість провідних європейських підприємств використовують сталь із високою часткою вторинної сировини (до 90%). У виробництві впроваджуються системи екологічного менеджменту відповідно до ISO 14001. Для захисту від корозії застосовуються багатофункціональні покриття, гаряче цинкування (EN ISO 1461) та металізація.

Інноваційні матеріали. У практиці виготовлення конструкцій активно застосовуються високоміцні сталі класів S355, S460, S690 і вище (згідно з EN 10025-4). Це дозволяє зменшувати масу конструкцій без зниження їхньої несучої здатності. Додатково впроваджуються нержавіючі та атмосферостійкі сталі (Corten), що відповідають вимогам довговічності та енергоефективності будівництва.

Таким чином, сучасні європейські підходи до виготовлення деталей металевих конструкцій характеризуються:

- високим рівнем стандартизації та сертифікації (EN 1090, Eurocode 3, EN ISO 3834);
- широким застосуванням цифрових технологій (BIM, CAD/CAM, ERP-системи);
- впровадженню роботизованих методів різання та зварювання;
- обов'язковим комплексним контролем якості та простежуваністю продукції;
- орієнтацією на екологічність, енергоефективність та інноваційні матеріали.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ПО РОЗДІЛУ 3

1. Які методи виправлення металу використовуються на виробництві?
2. Які температурні обмеження встановлені для виправлення різних марок сталі?
3. Які стандарти регламентують виправлення металу для металоконструкцій?
4. Які дефекти металу заборонено залишати після правки?
5. Які етапи включає технологічна підготовка сталевих конструкцій до виготовлення?
6. Як організовується послідовність операцій при виробництві металоконструкцій?
7. Які вимоги до зберігання та транспортування заготовок перед обробкою?
8. Які критерії визначають ефективність технологічної структури виробництва?
9. Які інструменти застосовуються для виправлення металу?
10. Які види правки (механічна, термічна) застосовуються на виробництві?
11. Які дефекти можуть усуватися правкою і які залишаються?
12. Які методи контролю якості після правки застосовуються?
13. Які стандарти і нормативи регламентують правку металу?
14. Які інструменти застосовуються для розмічування металу?
15. Які етапи передбачає процес розмічування?
16. Як забезпечується точність розмічування для подальшого різання чи свердлення?
17. Які стандарти або вимоги регламентують розмічування металевих деталей?
18. Як визначається порядок нанесення монтажних позначок на заготовку?
19. Які методи нанесення контурів застосовуються для різних типів деталей?
20. Які види механічного різання застосовуються на заводі?
21. Які фактори впливають на вибір способу механічного різання?
22. Які допустимі відхилення по розмірах при механічному різанні?
23. Які заходи безпеки необхідно дотримувати під час механічного різання?
24. Які стандарти регламентують механічне різання металу?
25. Який принцип кисневого різання сталі?

26. Які марки сталей та товщини можна різати кисневим способом?
27. Які вимоги до обладнання та безпеки при кисневому різанні?
28. Які дефекти країв металу можуть виникати при кисневому різанні і як їх уникати?
29. Як контролюється точність розмірів після кисневого різання?
30. Принцип дії плазмового різання металу.
31. Які марки та товщини сталей можна різати плазмою?
32. Переваги плазмового різання порівняно з кисневим і механічним.
33. Які заходи безпеки обов'язкові при плазмовому різанні?
34. Які дефекти можуть виникати при плазмовому різанні та як їх уникати?
35. Принцип лазерного різання металу.
36. Для яких марок і товщин сталі доцільно застосовувати лазерне різання?
37. Переваги лазерного різання перед іншими методами.
38. Які вимоги до безпеки та вентиляції при лазерному різанні?
39. Які методи утворення отворів застосовуються у виробництві металоконструкцій?
40. Які допуски передбачені для отворів у деталях металевих конструкцій?
41. Які вимоги до розташування отворів у складових елементах?
42. Як контролюється якість і точність отворів після обробки?
43. Які операції включає стругання та фрезерування металевих деталей?
44. Які види обладнання використовуються для фрезерування?
45. Які допуски за розмірами та шорсткістю поверхні встановлюються при струганні?
46. Які стандарти регламентують фрезерування і стругання деталей металоконструкцій?
49. Які стандарти та технологічні регламенти регулюють процес гнуття металу?
51. Які заходи безпеки необхідно дотримувати при гнутті металу? Які дефекти можуть виникати при холодному і гарячому гнутті та як їх уникати?

РОЗДІЛ 4. СКЛАДАННЯ І ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУЦІЙ



4.1. Загальні положення

ДСТУ Б В.2.6-199 [49] містить вимоги до проєктної та конструкторської документації (КМД), яка використовується для виготовлення сталевих конструкцій.

Регламентує:

- позначення елементів, маркування деталей та вузлів;
- точність розмірів і допуски, що повинні дотримуватись під час виготовлення;
- послідовність складання вузлів на виробництві;
- вимоги до зварних, болтових та інших з'єднань за кресленнями КМД;
- вказує, що креслення КМД є основою для технологічної підготовки виробництва та контролю якості.

ДСТУ Б В.2.6-200 [50] регламентує технологію монтажу сталевих конструкцій на будівельному майданчику, включно зі збіркою за КМД.

Основні положення:

- порядок складання вузлів і блоків конструкцій;
- фіксація елементів під час монтажу з використанням упорів, кондукторів, діафрагм;
- контроль точності геометрії та відхилень, що відповідають кресленням КМД;
- вимоги до безпечного підйому і встановлення елементів, включно з підкрановими балками;
- контроль якості з'єднань після монтажу, включно зі зварними швами, болтовими з'єднаннями та поверхневою підготовкою.

Вимоги до координації зварювальних робіт, обов'язки та функції персоналу, який відповідає за якість зварних з'єднань, установлюються згідно з ДСТУ EN ISO 14731 [21]. У процесі розробки технології складання і зварювання відправної марки конструкції визначають черговість установки готових деталей, їхнє взаємне розташування відповідно до креслення КМД; вибирають необхідне устаткування і режим його роботи, інструменти і пристосування; обґрунтовують величини припусків, допусків і зазорів у стиках; призначають спосіб зварювання, зварювальне устаткування

і матеріали та визначають порядок накладення зварних швів і призначають спосіб контролю якості складання і зварювання [31-33].

Складання металевих виробів виконують у складальних кондукторах, на стаціонарних чи пересувних стелажах, на складальних плитах або на потокових лініях.

Ділянка складально-зварювальних робіт обладнана кондукторами, стендами, складальними плитами і стелажми двох типів:

а) стаціонарними, що виготовляються з двотаврових балок і прикріплюються до фундаментів;

б) пересувними у виді зварних козелків довжиною 2,5...4,5м із двотаврових балок, які установлюються у направляючі сталеві швелери, які закладені в стрічкові бетонні фундаменти.

Для з'єднання деталей необхідно використовувати інвентарні пристосування і засоби малої механізації. З'єднання деталей виконують механічним способом у кондукторах за допомогою болтів і пробок або за допомогою коротких зварних швів - прихваток. При складанні по розмітці за допомогою розмічального інструмента на поверхні одних деталей наносять лінії чи риси примикання інших. При розмічуванні необхідно враховувати припуски на фрезерування торців та на усадку зварних швів.

Для виконання складальних операцій застосовують різні інвентарні пристосування і засоби малої механізації - струбцини, стяжні і розпірні пристосування, скоби, домкрати. Найбільше широко застосовують пристосування, які приведені в роботах [50-60]. Під час складання застосовують різний інструмент, що дозволяє полегшити виконання складальних робіт: вирівнювання кромки деталей, що з'єднуються; притискання деталей однієї до другої, сполучення отворів у пакеті деталей; затягування болтів.

У [52] зосереджуються на технологіях та обладнанні для виготовлення, надані практичні поради щодо виготовлення за КМД, точності виконання елементів і підготовки до монтажу.

У [53] наданий детальний опис процесу виготовлення за кресленнями КМД, правила розкрою, зварки та складання конструкцій, зокрема порядок з'єднання деталей у вузли та підготовку до монтажу.

У [54] поєднується теорія і практика: наведені приклади розробки КМД і збірки металоконструкцій, стандарти оформлення креслень, рекомендації з контролю точності і організації монтажних робіт.

У [55] наведено основи зварювання та технології виготовлення металоконструкцій, у тому числі підготовку елементів за кресленнями КМД, порядок збирання вузлів і контролю якості.

У [56] наведено сучасні матеріали і технології, які включають методи складання і монтажу металевих конструкцій, актуальні підходи до КМД і стандарти виробництва.

У [57] наведено практичні рекомендації з проєктування та виготовлення сталевих конструкцій та розглядається роль креслень КМД і монтажних схем.

У [58] детально описуються технології виготовлення та зварювання, правила складання елементів за кресленнями КМД, контроль якості та стандарти безпеки.

У [59] наведено техніки та процедури фабрикації сталевих конструкцій, включно з кресленнями КМД, послідовністю монтажу і перевіркою точності.

У [60] наведено основи сучасні теорії і практики сталевих конструкцій, приділяється увагу робочим кресленням (КМД), методам монтажу та організації збірки на будівельному майданчику.

Складання конструкцій виконують з перевірених ВТК деталей, укрупнених заготовок і вузлів. Складання необхідно виконувати в умовах, що забезпечують її високу якість та безпечне виконання робіт. Технологія складання зварних виробів залежить від конструктивної форми, розмірів і повторюваності конструкцій. Способи складання: по розмітці; по копіру; у кондукторах; на потокових лініях; на спеціальних пристосуваннях. Металеві конструкції повинні виготовлятися відповідно до вимог стандартів і ДБН В.2.6-198:2014 у частині розділу 1, ДСТУ Б В.2.6-199:2014 у частині розділу 2, ДСТУ Б В.2.6-200:2014 у частині розділу 3 та ДСТУ EN 1993 (Єв-

рокод 3) за робочими кресленнями. Монтаж металевих конструкцій виконується згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.6-200 [48].

4.2. Виготовлення зварних двотаврових стрижнів

Двотаврові стрижні складають по розмітці при виготовленні елементів, габарити яких не вписуються в складальні пристосування. На заводах і в майстернях малої потужності для виготовлення стрижнів двотаврового перерізу застосовують стаціонарні кондуктори з гвинтовими або пневматичними притискувачами (рис.4.1).

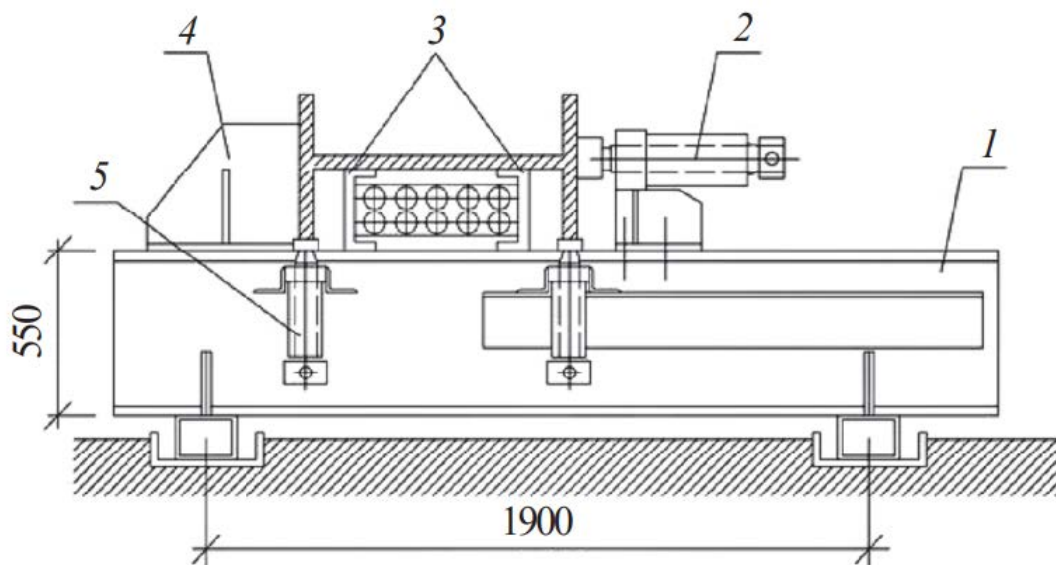


Рис. 4.1. Кондуктор з гвинтовими притискувачами для складання зварних двотаврів: 1 - рама; 2 - гвинтовий притискувач; 3 - підставки; 4 - нерухомий упор; 5 - гвинтові упори

При такому способі виготовлення спочатку складають смуги полиць і стінки, накладаючи поперечні сполучні шви, а потім у кондукторі фіксують взаємне їхнє розташування, виконуючи прихватки. Після цього зварюють поясні шви - одержують заготівку.

Найбільш досконалий спосіб виготовлення стрижнів двотаврового перерізу здійснюється на механізованому стенді з рухливим порталом (рис. 4.2).

Стенд призначений для укладання стінки і полиць стрижня, що складається, у проектне положення, а рухомий портал - для взаємного щільного притиснення по-

лиць і стінки. Перед складанням настраюють стенд: для цього регулюють гвинти, попередньої установки рухливої балки і фіксаторів згідно розмірів стрижня, що складається. Портал встановлюють на початку стрижня, що складається.

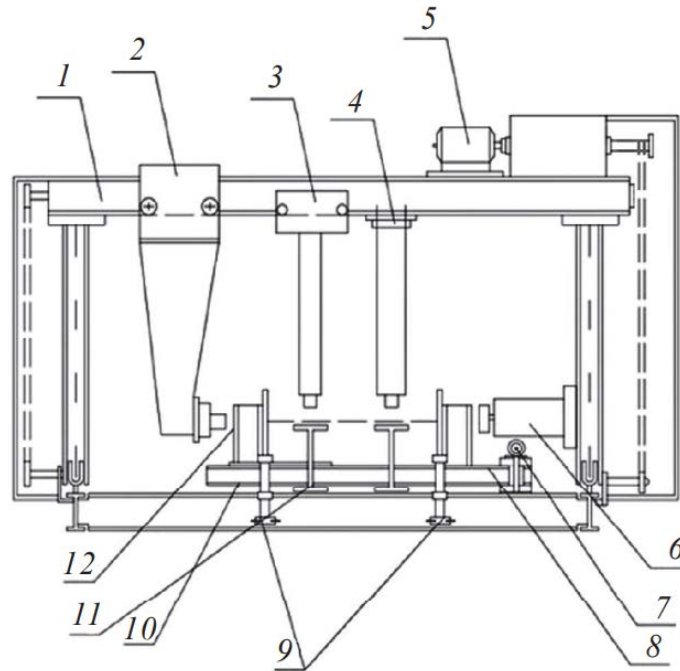


Рис.4.2 Установка з рухомим порталом для складання стрижнів двотаврового перерізу: 1 - портал; 2,3 - рухомі пневмопритискувачі; 4,6 - нерухомі пневмопритискувачі; 5 - мотор; 7 - привідний вал; 8, 12 - стійки; 9 - гвинтовий упор; 10 - привідний гвинт переміщення рухомої опори; 11 - рухома опора; 13 - рама

Лист стінки стрижня укладають у горизонтальне положення на рухливі опори, листи полиць - у вертикальне положення на гвинтові упори. Вирівнюють один з торців стрижня і після цього включають вертикальні притискувачі порталу для притискання стінки стрижня; потім включають горизонтальні притискувачі, що притискають полиць до стінки. Після цього складальник закріплює зварними швами елементи стрижня, що з'єднуються. Накладення прихваток виконують напівавтоматом А537У у середовищі вуглекислого газу або вручну. Закінчивши складання з одного кінця, портал пересувають далі по стрижню, де в тій же послідовності виконують операції по складанню елементів стрижня і накладення прихваток до кінця його. Пересування портала здійснюють окремими кроками по 500...600 мм.

Після завершення складання двотавровий стрижень мостовим краном переносять на кантувач для виконання поясних швів. Перед зварюванням прихватки очищають від шлаку. Зварювання стрижнів здійснюють зварювальним однодуговим автоматом ТС-17М або яким іншим під шаром флюсу. Використовують також двоходуговий зварювальний апарат А-639, змонтований на веловізку. Зварювання поясних швів виконують "у човник" у нижньому положенні. Для такого зварювання необхідне застосування спеціальних кантувачів чи маніпуляторів для повороту стрижня навколо поздовжньої осі. Застосовують кантувач, у якому двотавровий стрижень закріплюється жорстко рухливими кронштейнами на вертикальних траверсах, що за допомогою приводного валу обертаються навколо горизонтальної осі. Стрижень поспідовно повертається для зварювання "у човник" усіх поясних швів. Також для складання двотаврових стрижнів застосовують ланцюговий кантувач, у якому стрижень повертається навколо своєї горизонтальної осі за рахунок замкнутих ланцюгів, що рухаються за допомогою електропривода.

Черговою операцією з виготовлення двотаврового стрижня є виправлення грибоподібності полиць, що здійснюється механічним способом на спеціальних верстатах (рис. 4.3).

Виправлення деформованих зварних стержнів виконують також місцевим нагріванням газовими пальниками. Нагрівають з опуклої сторони смугами, плямами чи трикутниками. Місцеве нагрівання доводять до температури 700...850°C.

Після виправлення виконують фрезерування торців стрижнів на торцефрезерних верстатах ІР-198, ТФС-4. Фрезерування торців забезпечує точні геометричні розміри стрижня по довжині і прямий кут між поздовжньою віссю стрижня і фрезерованою поверхнею. При фрезеруванні торців стрижнів, що мають монтажні отвори, лінії фрезерування намічають від існуючих отворів. В інших випадках фрезерується один торець, лінія фрезерування другого намічається на проєктний розмір по довжині елемента. Фрезерування торців виконують за 2...3 проходи, знімаючи за один прохід шар металу товщиною 3...4 мм

Двотавровий стрижень закріплюють на стелажах фрезерного верстата так, щоб дотримувався прямий кут між площиною фрези і віссю стрижня. Для закріплення стрижня існує система різних упорів і гвинтових притисків. Стрижень зверху притискають через траверсу гвинтом. Перший торець фрезерують до зникнення чорноти. Для контролю глибини фрезерування другого торця встановлюють контрольну фрезеровану планку. Перпендикулярність від фрезерованого торця щодо поздовжньої осі балки перевіряють оптичним пристроєм.

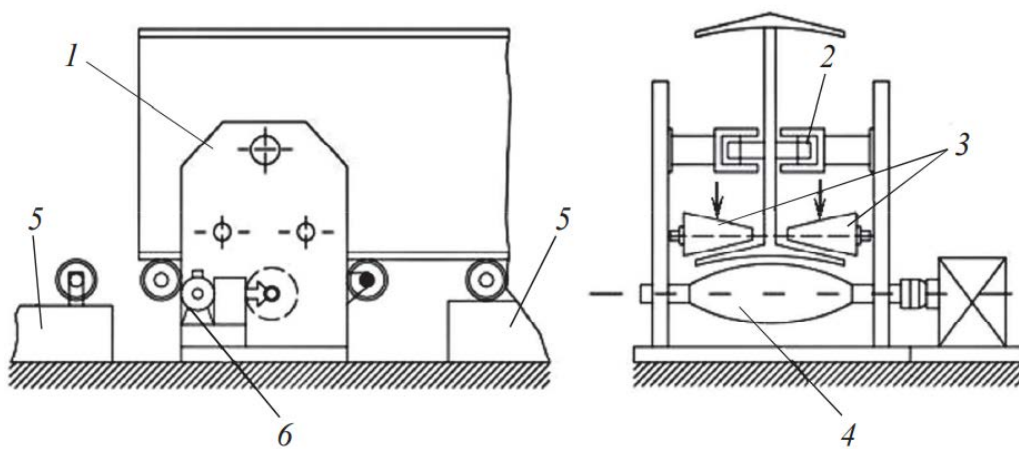


Рис. 4.3. Схема для правлення грибоподібності стрижнів двотаврового перерізу: 1 - станина; 2 - направляючі ролики; 3 - натискуючі ролики; 4 - привідний ролик; 5 - приймальні столи; 6 - привідний механізм

Сучасне виготовлення зварних двотаврових стрижнів базується на автоматизованих технологіях зварювання та високоточному профілюванні елементів.

Основні етапи включають.

1. Підготовку матеріалів - рулонну або листову сталь відповідного класу; контроль товщини й якості поверхні.

2. Формування полиць і грані - за допомогою вальцювання або прокатних ліній для отримання точного перерізу.

3. Зварювання швів - застосовуються автоматизовані методи контактного або дугового зварювання, що забезпечують однорідність швів, високу міцність і мінімальні деформації.

4. Обробку після зварювання - термічна або механічна обробка для зняття внутрішніх напружень, вирівнювання геометрії.

5. Контроль якості - неруйнівний контроль швів (ультразвук, магнітопорошкова дефектоскопія), перевірка геометричних розмірів, статичні випробування на міцність.

6. Підготовку до монтажу - свердління отворів, нанесення антикорозійного покриття, маркування та пакування для транспортування.

Сучасні лінії виготовлення забезпечують високу точність профілю та рівномірність механічних властивостей, що особливо важливо для промислових та будівельних конструкцій великого розміру. Крім того, застосовуються індустріальні системи автоматичного контролю (CNC, лазерні сканери), що дозволяють зменшити відходи матеріалу та підвищити продуктивність.

4.3. Виготовлення зварних підкранових балок

Технологічний процес виготовлення зварних двотаврових підкранових балок складається з двох основних етапів.

На першому етапі виготовляють зварний двотавровий стрижень відповідно до технології, викладеної в розділі 4.2.

На другому етапі двотавровий стрижень балки обладнують ребрами жорсткості, опорними плитами та іншими деталями.

Встановлення ребер жорсткості на балки виконують із розміткою місць їх розташування, враховуючи припуски на усадку зварних швів - 0,5 мм на одну пару ребер. Розмітку ведуть від середини довжини балки до її кінців. Притискування ребер до стінки здійснюють за допомогою скоб і клинів.

Перед установкою опорних плит на стінку стрижня тимчасово закріплюють прихватками технологічні планки. На плитах розмічають лінії установки вертикального листа стрижня. Потім опорні плити встановлюють у проектне положення, витримуючи розмір від струганого торця плити до верхньої площини горизонтального листа стрижня. Плину кріплять прихватками до вертикального листа.

Сучасний технологічний процес виготовлення зварних двотаврових підкранових балок - складається з двох основних етапів.

1. Підготовчий етап - включає розкрій і розмітку матеріалів, механічну обробку, очищення і підготовку поверхонь до зварювання. На цьому етапі елементи балки (пояси та стінка) вирізаються, фрезеруються або шліфуються відповідно до креслень КМД, контролюється точність геометрії та підготовка зварних швів.

2. Зварювально-збірний етап - включає попередню збірку елементів, точне вирівнювання та остаточне зварювання. Виконується зварювання поясів та стінки, контролюється якість швів, геометрична точність, а також застосовуються заходи для мінімізації деформацій балки. Після зварювання виконується термічна обробка (за потребою), шліфування швів і контроль готового виробу.

Примітка щодо нормативного забезпечення:

Технологічний процес виготовлення і контролю якості зварних підкранових балок повинен відповідати вимогам ДБН В.2.6-198:2014 у частині розділу 1, ДСТУ Б В.2.6-199:2014 у частині розділу 2, ДСТУ Б В.2.6-200:2014 у частині розділу 3 "Будівельні конструкції сталеві" та ДСТУ EN 1993-1-1 (Єврокод 3) "Проектування сталевих конструкцій. РОЗДІЛ 1-1: Загальні правила та правила для будівель".

Контроль геометрії, прямих кутів і відхилень по довжині балки повинен бути суворішим, ніж для інших балок, через високі експлуатаційні навантаження від кранів. Зварні шви, припуски та допуски виконуються за ДСТУ EN ISO 5817, клас відповідності В або С залежить від критичності. Особлива увага приділяється зварювальним деформаціям, контролю прогину і випрямлення після зварювання. Перед відвантаженням обов'язково проводиться візуальний та неруйнівний контроль (РК, ультразвук, магнітний контроль) для забезпечення безпеки експлуатації підкранових балок.

4.4. Виготовлення наскрізних одноступінчастих колон

У залежності від геометричних розмірів і маси колони можуть виготовляти цілком або у виді двох відправних марок - верхньої частини (двотаврового перерізу) і нижньої (наскрізного перерізу).

У практиці будівництва знайшов широке поширення безвивірковий монтаж колон, при якому опорну плиту бази виготовляють і монтують окремо від гілок колони. Це також вносить певні зміни в традиційну технологію виготовлення наскрізних колон. Виникає необхідність фрезерування стрижня колони і опорної плити. В опорних плитах фрезерують поверхні примикання до гілок колони, а в колоні - торці гілок.

Складання наскрізної колони, призначеної для безвивіркового монтажу, роблять у послідовності, яка наведена далі.

1. Окремо складають і зварюють верхню і нижню частини колони. Колони складають у складальному кондукторі (рис. 4.4).
2. На опорні балки 4 укладають одну з гілок колони, щільно притискаючи до торцевого упору 1 і бічних упорів 6, що служать фіксаторами проєктного положення гілки.
3. Фіксаторами положення для другої гілки при її укладанні на стелажі є діафрагми, які виготовлені з підвищеною точністю.
4. Діафрагми встановлюють по розмітці на першу гілку колони після її укладання в кондуктор чи заздалегідь.
5. Далі за допомогою крана в кондуктор укладають другу гілку колони і щільно притискають до базової плити і діафрагм пневмопритискувачами і гвинтовими упорами 7.
6. Елементи ґраток і бази колони (траверси, ребра) установлюють по розмітці.
7. Фрезеровані грані траверс і ребер бази примикають до опорної плити.
8. Потім оформляють підкрановий вузол колони.
9. Стрижень верхньої частини колони укладають на стелажі, фіксують його положення упорами і прикріплюють до нижньої частини колони.

10. Якщо верхню і нижню частину колони відправляють окремими марками, то на них накернюють і обводять яскравою олійною фарбою монтажні риски осей.

11. Після складення колону виймають з кондуктора краном і подають на зварювання.

Зварювання виконують напівавтоматом А-537У в середовищі вуглекислого газу.

Технологічний процес виготовлення і зварювання колон повинен відповідати вимогам ДБН В.2.6-198:2014, ДСТУ Б В.2.6-199:2014, ДСТУ Б В.2.6-200:2014 та ДСТУ EN 1993-1-1 (Єврокод 3).

Якість зварних швів - згідно з ДСТУ EN ISO 5817, клас відповідності В або С залежно від критичності колони.

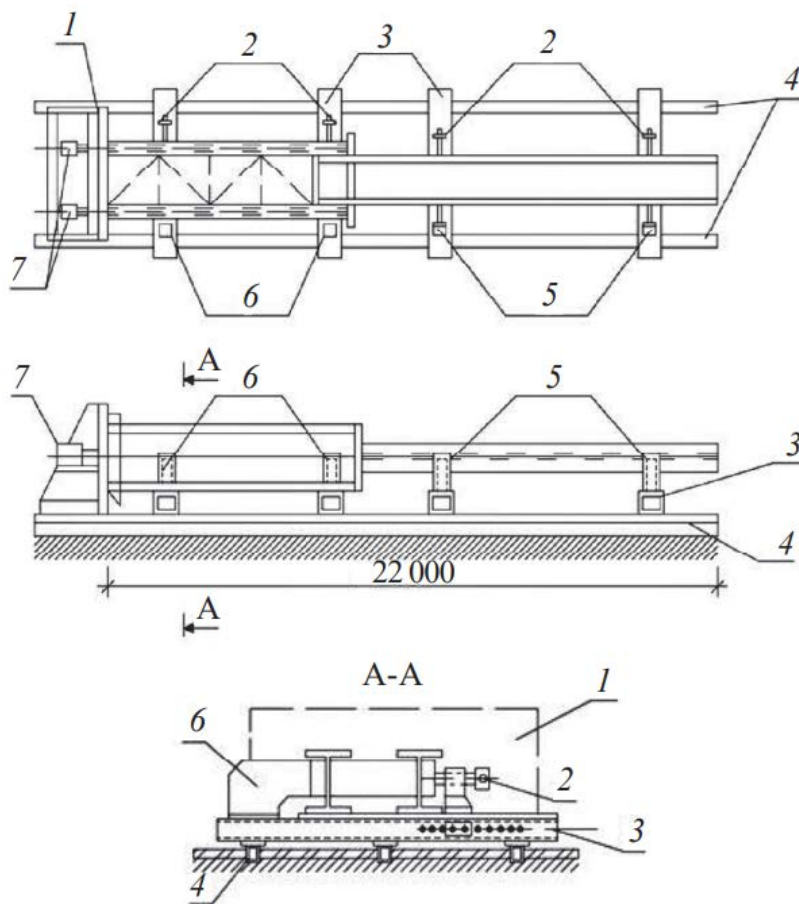


Рис. 4.4. Кондуктор для складання решітчастих колон:

*1 - торцевий упор; 2 - гвинтовий упор; 3 - опорні балки; 4 - закладні опори;
5,6 - бокові упори; 7 - пневмопритискувачі*

Перед зварюванням обов'язково проводиться геометричний контроль положення гілок і діафрагм, перевірка розмірів і монтажних рисок.

Виконується контроль площини опорної плити і стрижнів, щоб уникнути деформацій при монтажі.

Для підвищення точності часто застосовують пневмопритискувачі з регульованим зусиллям та технологічні кондуктори з цифровою розміткою.

Використання напівавтоматичного зварювання в середовищі CO_2 дозволяє зменшити ризик дефектів і підвищити продуктивність.

При великій масі колони можливе застосування модульного складання на виробництві з подальшою стиковкою на об'єкті.

Для безвивіркового монтажу потрібно планування переміщення та підйом колон на майданчику, забезпечення безпечного кріплення під час транспортування.

Підкранові вузли і траверси колони після складання піддають візуальному та неруйнівному контролю (ультразвук, магнітний контроль), що гарантує відповідність проєктним вимогам.

4.5. Виготовлення ферм

Найбільш розповсюдженими способами виготовлення плоских ґратчастих конструкцій є складання по копіру або у кондукторі.

Складання ферм виконують у виді відправних марок. При виготовленні негабаритних ферм, елементи яких відправляють із заводу розсипом, необхідно зробити контрольне складання першої ферми з метою запобігання помилок у геометрії.

Складання ферм по копіру. Процес складання ферм розділяють на три основних етапи:

1. Складання копіра (див. рис. 4.5,а).
2. Складання по копіру однієї половини ферми відносно осі симетрії, що лежить у площині ферми (див. рис. 4.5,б) та переверот ферми.
3. Повне оформлення ферми (див. рис. 4.5,в).

Копір виготовляють по розмітці на складальній плиті чи на складальних козлах. На плиті креслять у натуральну величину геометричну схему ферми, лінії обшків кутників і положення фасонки.

За наміченою схемою розкладають листи фасонки і кутники елементів ферми. Потім виконують перевірку правильності розкладки елементів ферми шляхом промірів і скріплюють їх між собою прихватками. У складеному копірі вимірюють діагоналі, будівельний підйом за допомогою сталеві струни. Копір переміщують на складальний стелаж, кантують його на 180°.

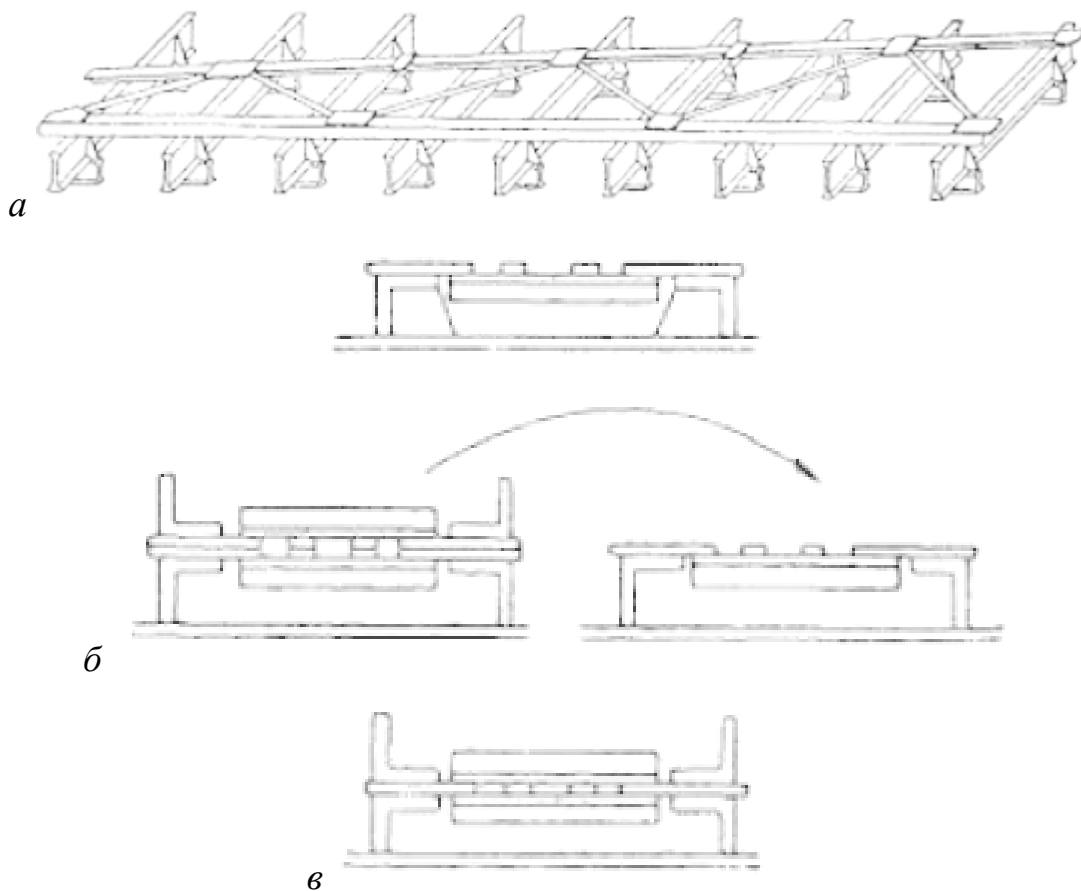


Рис. 4.5. Складання ферм по копіру: складання копіра (а); складання по копіру однієї половини ферми відносно осі симетрії, зняття ферми та переворот (б); повне оформлення ферми (в)

Найбільш відповідальною операцією є оформлення копіра деталями обпирання будівельних ферм. На кінцевих фасонках наносять центрові риски, укладають їх на пояси, сполучаючи риски. Фасонки прикріплюють до поясів струбцинами. Далі

проводять ретельну вивірку правильності установки, заміряючи відстань від центрів монтажних отворів до осі симетрії ферми; перпендикулярність лінії монтажних отворів до осей поясних кутників; відстань від торця поясного кутника до осі монтажних отворів; відстань між центрами крайніх отворів фасонки.

Натягнутою струною перевіряють співвісність монтажних отворів верхньої і нижньої кінцевих фасонки, а потім прикріплюють прихватками до поясних кутників. Готовий копір здають контролеру ВТК для оцінки його якості. Фланець при обпиранні на нього ферми встановлюється за фіксуючим упором чи по шаблону.

Складання ферм по копіру виконують у такій послідовності:

- а) на вузлові фасонки копіра укладають фасонки другої половини ферми;
- б) фіксують деталі обпирання ферми;
- в) укладають поясні кутники, сполучаючи їх з кутниками копіра;
- г) укладають кутники розкосів і стійок;
- д) за допомогою струбцин чи спеціальних пристосувань виконують притиск покладених кутників до вузлових фасонки копіра;
- е) намічають по копіру положення прокладок на кутниках поясів, стійок і розкосів;
- ж) знімають складену половину ферми і кантують її на 180° на суміжні стелажі;
- з) встановлюють прокладки відповідно до намічання і прикріплюють їх;
- и) накривають складену половину ферми зворотними кутниками, сполучаючи вертикальні площини полиць кутників, їхні торці і монтажні отвори;
- к) встановлюють опорні деталі;
- л) роблять притиск деталей і їх прихватку.

Потім виконують зварювання деталей ферми, переходячи від вузла до вузла. Для усунення явища короблення ферми при зварюванні встановлюються тимчасові розпорки між опорними фасонками в місці стиків поясних кутників.

Зварювання ферм виконують ручним чи напівавтоматичним способами в середовищі вуглекислого газу. Для зварювання використовують напівавтомати А-

537У и ПДГ-312. Діаметр, тип і марку електродів, а також зварювального дроту підбирають у залежності від товщини звареного шва і класу сталі.

Складання ферм у кондукторі

Кондуктор складають за геометричною схемою ферми на складальній плиті з фіксаторами: підставкою під поясні кутники, розкоси і стійки, підставками для вузлових фасонки, фіксаторами кінцевих опорних плит і фланців, поясних кутників, точеними пробками-фіксаторами, планками.

На рис. 4.6 наведена схема складання ферм у кондукторі - спеціальному монтажному стенді з плитою, пазами, регульованими опорами та зажимами для точного позиціонування елементів ферми під час зварювання або прихватки. Показано кондуктор, що складається з:

- плити зі Т-образними пазами, за допомогою яких можна переміщувати та фіксувати регульовані опори за геометричними вимірами ферми;
- регульовані опори, які фіксують деталі в горизонтальній площині, регулюючи висоту за допомогою різьбових елементів;
- упори, зони прихватки, зажими та затиски, які підтискають деталі перед зварюванням, забезпечуючи стабільність та точність збірки.

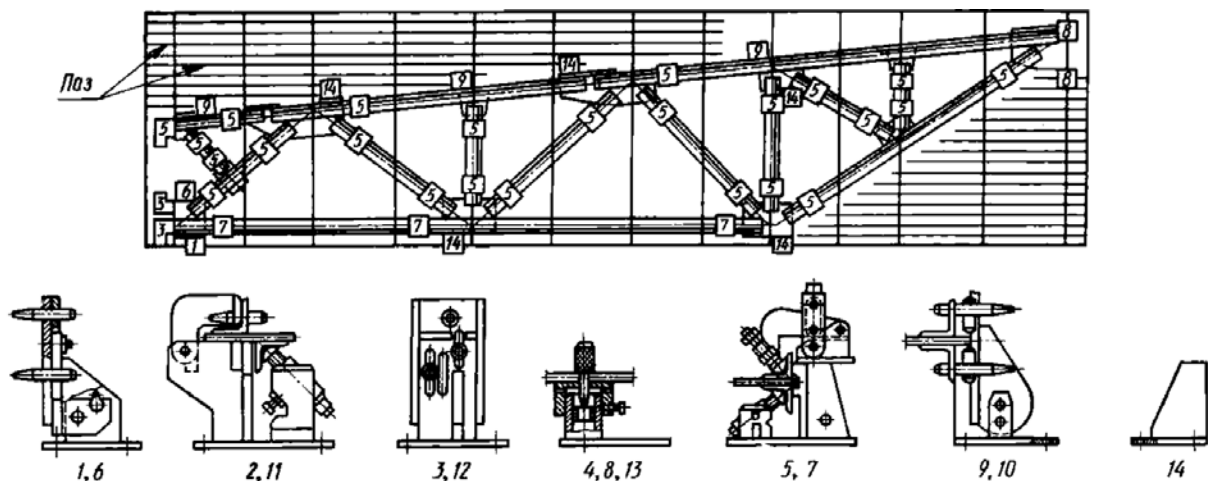


Рис. 4.6. Схема складання ферм у кондукторі

Зібраний кондуктор ретельно вивіряють.

Послідовність складання ферми в кондукторі:

- а) на підставки-фіксатори укладають пером униз нижні кутники поясів і ґратки, фіксують складальними пробками від горизонтального зсуву;
- б) на полки покладених кутників установлюють вузлові фасонки, сполучні прокладки, опорні деталі (фіксують пробками по отворах фіксаторів);
- в) деталі з'єднують між собою прихватками;
- г) укладають другі кутники елементів ферми, що також вивіряють по рисках і фіксують до раніше складеної половини ферми;
- д) ферму звільняють від пробок і притисків і після перевірки ВТК відправляють на зварювання.

Виготовлення ферми повинне відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.6-51:2008.

Сучасна збірка ферм.

Сучасні кондуктори оснащують регульованими фіксаторами, лазерними або цифровими мітками, що дозволяє контролювати положення елементів із точністю до 1-2 мм.

Для великих ферм застосовують модульні кондуктори, що дозволяють збирати частини ферми окремо і потім стикувати на основному складі.

Використання сучасних пневмо- або гідропритискувачів забезпечує рівномірне і надійне притискання деталей під час прихватки, зменшуючи ручну працю і підвищуючи точність.

Для великих або критичних ферм застосовують лазерні далекоміри, 3D-сканери або фотограмметричні системи, які дозволяють миттєво перевірити правильність розташування елементів та монтажних отворів.

Перед остаточною збіркою ферми на кондукторі частини елементів або вузли збирають в окремі модулі, що дозволяє скоротити час складання та зменшити ризик деформацій.

Для запобігання коробленню при зварюванні використовують тимчасові металеві або композитні розпірки, шаблони для фіксації кутів і осей.

Використовуються напівавтомати і роботи для зварювання в середовищі CO_2 , що дозволяє досягти більшої якості швів і одночасно прискорити процес.

Вибір класу зварювальних швів (В або С по ДСТУ EN ISO 5817) здійснюється залежно від критичності вузлів ферми.

Сучасна збірка включає цифрову фіксацію результатів контрольних вимірів, що дозволяє створювати електронний журнал перевірки кожної ферми.

Виконується візуальний контроль, ультразвуковий і магнітний контроль швів, особливо для вузлів підкранових ферм.

4.6. Виготовлення листових конструкцій

Трубопроводи. Складання трубопроводів виконують на роликовому стенді чи на стенді з пневматичними притискувачами. Складання ведуть із заздалегідь виготовлених обичайок, що вальцюють на трьох- або чотирьохвалкових вальцях.

При відношенні радіуса вигину до товщини металу не менш 20 вальцювання виконують у холодному стані. За довжиною вальці розділяють на короткі з довжиною валу 1,5...2 м, середні - 2,5...3,5 м і довгі - 8...12 м. Вальцювання виконують як на горизонтальних вальцях, так і на вертикальних. Кожні вальці розраховані на гнуття листів певних розмірів і певної марки сталі. Звальцьовані обичайки складають на складальному стенді в горизонтальному чи вертикальному положенні і після зварювання стикових швів подають на складальні стенди.

Складання трубопроводів на роликовому стенді здійснюють у такій послідовності (рис. 4.7). На ролики стенда 2 укладають дві обичайки 5 і 6, зрушують їх лопиком один до одного до стикування кромek. У стики закладають прокладки необхідної товщини, щоб забезпечити заданий зазор.

Над приводним роликом на стик обичайок накладають першу прихватку. За допомогою мотора надають руху приводному ролику, що починає обертати обичайки. Через 350...400 мм обичайки з'єднують по довжині стику прихватками. З'єднавши дві обичайки, на стенд укладають третю і приєднують її до перших двох у тій же послідовності.

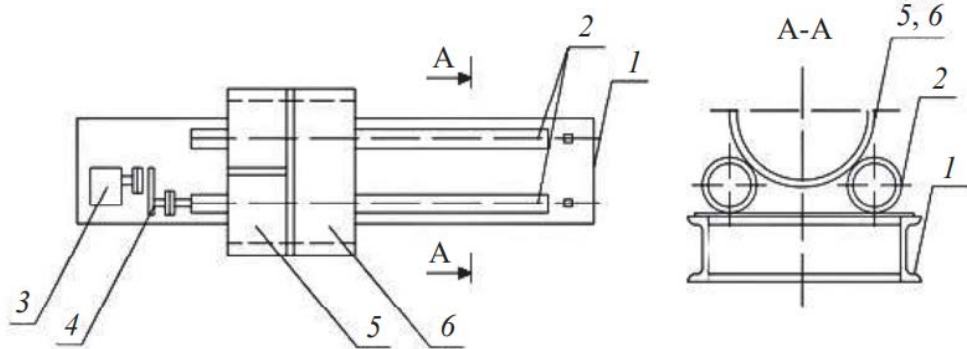


Рис. 4.7. Установка для складання елементів трубопроводів:

1 - рама; 2 - два ролика; 3 - мотор; 4 - редуктор; 5,6 - обичайки

Більш досконалим є стенд для складення трубопроводу, обладнаний пневматичними притисками (рис. 4.8).

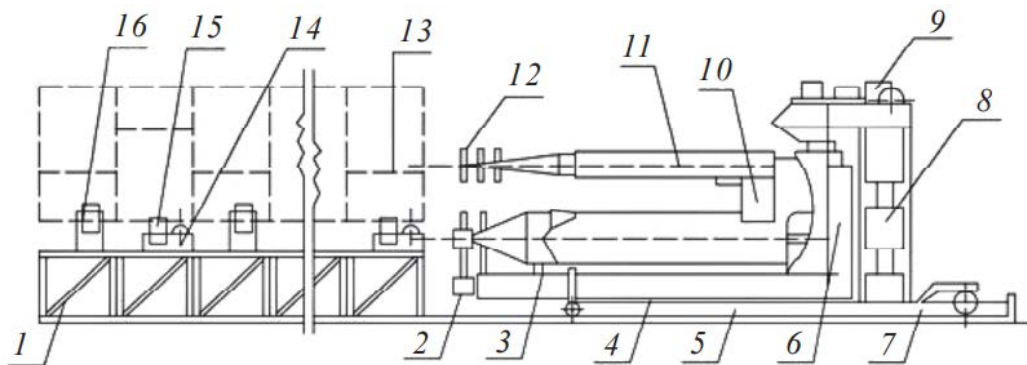


Рис. 4.8 Стенд для складання трубопроводу:

1 - рама обертача; 2 - пневмопритискувачі; 3 - опора; 4 - рама візка; 5 - база стенда; 6 - стійка; 7 - візок; 8 - колона; 9 - механізм підйому; 10 - упор; 11 - консоль; 12 - упор консолі; 13 - обичайки; 14 - мотор і редуктор; 15, 16 - опорні ролики

На ролики 15 і 16 установлюють дві обичайки 13. Візок з консоллю 7 пересувають електроприводом по рейковому шляху до обичайок. Консоль 11 вводиться усередину обичайок, кромка крайньої обичайки торкається упору 10, обичайки притискаються одна до одної. Включають пневмопритискувач 2 і стінки обичайок вирівнюються. Обичайки з'єднують прихватками. Далі стінки обичайок звільняються від пневмопритискувача, і приводний ролик повертає обичайку на 20...25 см. Знову

включають притиск і ставлять наступну прихватку. І так повторюють доти, поки обичайки не будуть з'єднані між собою прихватками по всьому кільцю.

При зварюванні трубопроводів спочатку заварюють поздовжні, а потім поперечні (кільцеві) шви. У трубопроводах діаметром до 1200 мм на внутрішній поверхні зварні шви накладають вручну; при великих діаметрах трубопроводів застосовують автоматичне зварювання. З зовнішньої сторони усі шви заварюють зварювальними тракторами.

При виготовленні листових металевих конструкцій необхідно керуватися положеннями ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6 [7]. При виготовленні листових металевих конструкцій, що зазнають дії навантажень поза площиною пластини, необхідно керуватися положеннями ДСТУ-Н Б EN 1993-1-7 [8].

Основним елементом конструкцій радіощогл і радіовеж є пояси, що виготовляють, в основному, з прокатних сталевих труб, як зв'язані між собою фланцевими з'єднаннями на болтах. Елементи радіовеж поставляють для монтажу розсипом і з'єднують між собою болтами чи зварними швами. Радіощогли складають із окремих секцій, що поставляють для монтажу у вигляді наскрізної конструкції повної заводської готовності. Складання секцій радіощогл, а також елементів радіовеж виконують у кондукторах.

Складання поясів. Для складання поясів застосовують два типи кондукторів - для установки фланців і для оформлення поясів фасонками. У разі потреби сталеві труби стикують між собою на складальному кондукторі. Стикування виконують з використанням підкладного кільця, що вставляється у середину труб, що з'єднуються.

При зварюванні на роликовому обертачі напівавтоматом ПДГ-508 використовують зварювальний дріт Св-08Г2С. Якість шва контролюють рентгенівським чи ультразвуковим способом.

Сучасна збірка сталевих листових конструкцій

1. Попередня підготовка листів.

Листові елементи очищують від іржі, окалини та мастильних матеріалів; при необхідності виконують фрезерування кромek, прорізання монтажних отворів і обробку поверхні під зварювання.

Використовують лазерну або ЧПУ-розмітку, що забезпечує точність розташування отворів, фасок і монтажних рисок.

2. Застосування кондукторів та шаблонів.

Листи фіксують у регульованих кондукторах або на складальних плитах, що дозволяє точно витримувати форму і геометрію конструкції.

Використовуються тимчасові підкладки, розпірки та струбцини для забезпечення правильного положення листів під час прихватки і зварювання.

3. Притиск і тимчасова фіксація.

Для зменшення деформацій застосовують пневматичні або гідравлічні притискувачі, які рівномірно утримують листи при складанні.

Прихватка виконується точково для контролю за співвісністю та точністю стикування листів.

4. Зварювання та з'єднання.

Використовують напівавтоматичне та роботизоване зварювання в середовищі CO₂ або аргоновому захисті, що забезпечує високу якість швів і мінімізує короблення.

Дотримуються класів якості швів по ДСТУ EN ISO 5817, залежно від відповідальності елементів.

5. Контроль геометрії і якості.

Застосовують лазерні далекоміри, 3D-сканери або фотограмметричні системи для контролю точності складання.

Виконується неруйнуючий контроль швів (ультразвук, магнітна дефектоскопія) та візуальний контроль відповідності кресленням КМД.

6. Модульний підхід.

Великі листові конструкції збирають по модульному принципу, коли окремі блоки збирають і зварюють окремо, а потім стикують у єдину конструкцію.

Це дозволяє зменшити габарити на складі і полегшити транспортування, а також скоротити час монтажу на об'єкті.

7. Документування процесу.

Всі операції, контрольні виміри і результати зварювання фіксуються в електронному журналі або системі управління виробництвом, що забезпечує прозорість і відповідність нормативам.

4.7. Виготовлення наскрізних трубчастих конструкцій радіо- і телеопор

Кондуктор для установки фланців і фасонок представлений на рис. 4.9. Кондуктор складається з комплекту типових пристосувань. Пояси оформляються в кондукторі в наступному порядку:

Фіксатори настроюють відповідно до установлюваного фланця.

Переставну опору встановлюють у положення, необхідне для складення пояса, і закріплюють.

Настроюють упор точного настроювання регульованої опори на розмір, що дорівнює довжині пояса, який складається, з урахуванням припуску на усадку зварних швів.

Припуск призначають при довжині пояса 2-6 м рівним 2 мм, при 6-10м рівним 3 мм.

Регульовані призми набудовують відповідно до діаметра труби пояса.

Перед складанням поясів труби розкладають на стелажах. У середину труб закладають заглушки і закріплюють їх прихватками.

Перед установкою заглушок внутрішня поверхня труб повинна бути очищена від бруду й іржі. На кінці труб закріплюють фланці, після чого трубу укладають на регульовані призми кондуктора. Регульовану призму подають до настроєного упору точного настроювання. Необхідно точно витримувати розмір від торця труби до фіксатора. Фланці фіксують точеними пробками і притискають Г-подібними прихватками до фіксаторів. Потім фланці закріплюють на трубі пневмопритискувачами в чотирьох діаметрально розташованих точках. Далі фланці звільняють від пневма-

притискувачів, пробок, регульовану опору відводять, зачищають місця прихваток, маркують і відправляють на зварювання. Зварювання виконують напівавтоматами на складальних роликоопорах.

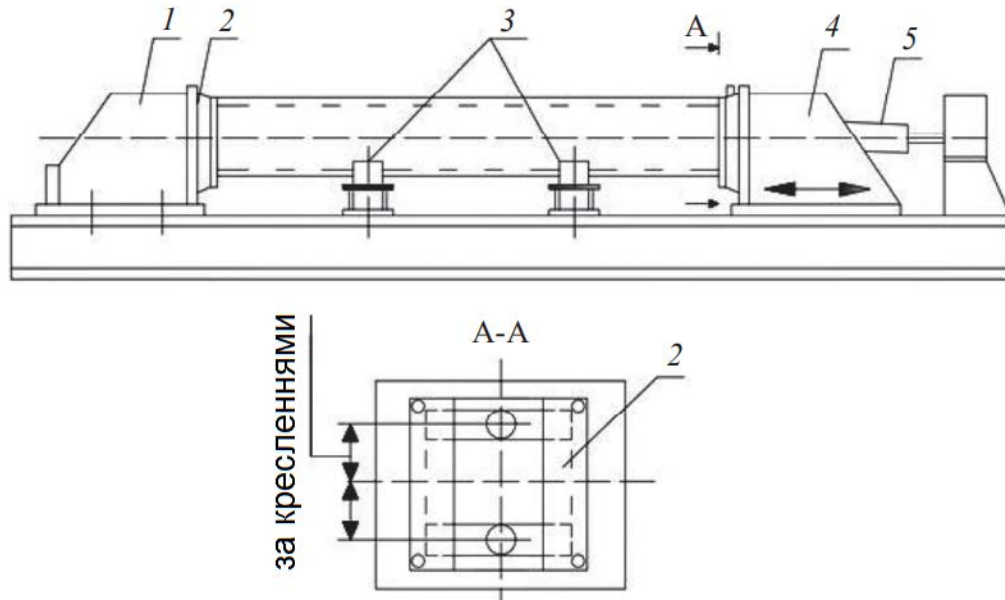


Рис. 4.9. Кондуктор для установлення фланців поясів щогли:

1 - переставна нерегульована опора; 2 - переставні фіксатори; 3 - призми, що регулюються; 4 - опора, що регулюється; 5 - пневмопритискувачі

Секції щогл трикутного чи квадратного перерізів складають з готових поясів в об'ємному кондукторі, складеному на твердій підставі, що складається з чавунних чи сталевих плит з пазами для кріплення пристосувань (рис. 4.10).

До тумб прикріплюють фіксатори болтами через отвори у вертикальних плитах тумб. Пояса через фланці закріплюють у фіксаторах 2, підтягують їх спеціальними болтами до однієї з тумб. З протилежної сторони, залишаючи технологічний зазор для зручності виймання готової секції з кондуктора, фланці фіксують оправками 4 і клинами 3. Установку фіксаторів і поясів в об'ємному кондукторі виконують за геометричною схемою нижньої площини секції, яка встановлена на опорній плиті відповідно до робочого креслення. За розміченою схемою встановлюють фіксатори ґрат і закріплюють їх до сталевій плити прихватками, до чавунного - болтами. Фіксаторами закріплюють елементи ґраток і приєднують до поясів прихватками. Знімають усі фіксуючі пробки і болти, і складену секцію з кондуктора краном заби-

рають на стелажі, де її оформляють деталями площадок, маркують, здають ВТК і відправляють на зварювання.

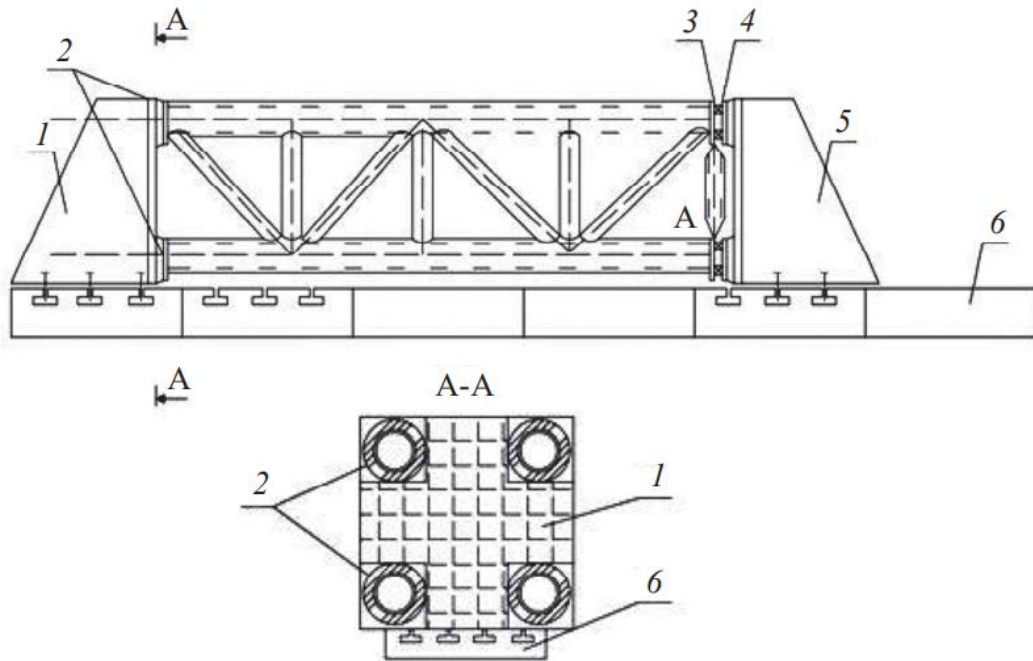


Рис. 4.10. Установка для укрупнювання секцій щогл:

1 - нерухомий упор-кондуктор; 2 - змінні фіксатори; 3 - клини; 4 - оправки;
5 - переставний упор кондуктор; 6 - плита чавунна

Можливе складання секцій щогли з попередньо складених площин.

4.8. Виготовлення горизонтальних резервуарів

Резервуар складається з днища, стінки та кілець жорсткості, патрубків та опорних конструкцій. Днища мають конічний або овальний контур. Конічне днище виготовляють з плоского конічного листа шляхом вальцювання на листозгинальних вальцях, овальне днище - штампуванням в холодному стані або вальцюванням на кромкозгинальних машинах. Стінка горизонтального резервуара є циліндричною оболонкою, зібраною з листових заготовок. Стінка формується із попередньо зібраного плоского полотнища методом навертання з застосуванням вимог [7,8]. Схема стенду виготовлення резервуарів шляхом навертання представлена на рис. 4.11.

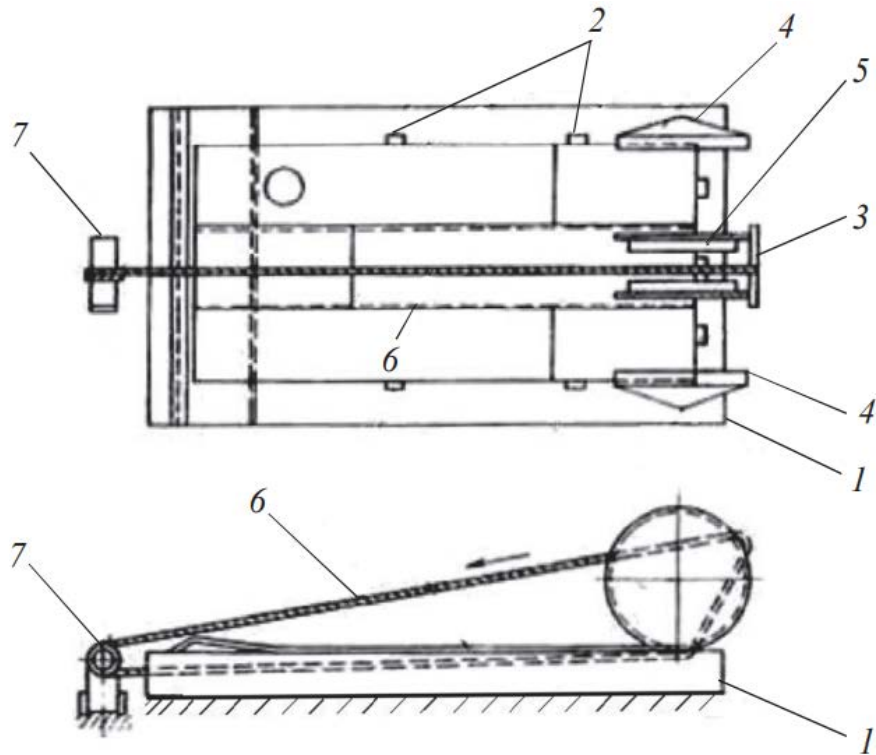


Рис. 4.11. Складальний стенд; 2 - нерухомі упори; 3 - допоміжна балка; 4 - днища; 5 - ребра жорсткості; 6 - канат; 7 - електролебідка

Процес складання стіни шляхом навертання полягає в наступному: на складальному майданчику, який обладнано системою нерухомих упорів, збирається полотнище стіни з окремих листів, що пройшли ретельну підготовку на потоковій лінії. Листи надсилаються без вивіряння до нерухомих упорів, стикаються і скріплюються зварювальними прихватками в поздовжньому та поперечному напрямках зварювальними автоматами.

Одночасно проводиться складання основи майбутнього резервуара, що складається з допоміжної балки, яка з'єднує днища та ребра жорсткості у проєктному положенні.

Полотно стінки кріпиться до допоміжної балки, до якої приєднаний кільцевий канат електричного візка. За допомогою каната лебідки, що тягне, вся система днищ і кілець жорсткості навертається в бік лебідки, навертаючи на себе полотнище стінки до отримання циліндричної оболонки. По ходу повороту стінка кріпиться прихватками до кільця жорсткості і днищам через 500...600 мм.

Зібраний корпус резервуару переміщується на стенд зварювання (рис. 4.12). Зварні стикові шви як зовні, так і зсередини виконують зварювальними автоматами.

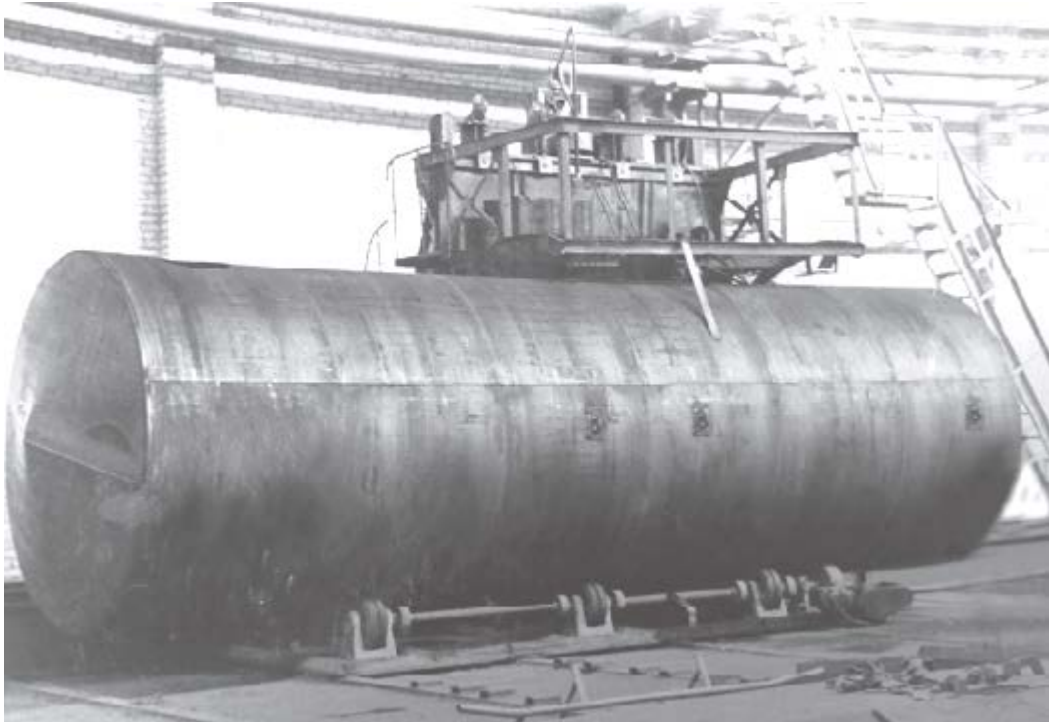


Рис. 4.12. Схема стенду автоматичного зварювання горизонтальних резервуарів

4.9. Виготовлення вертикальних сталевих резервуарів

Вертикальні сталеві резервуари (ВСР) призначені для зберігання та переробки різної рідини: води, сирої нафти, нафтопродуктів. Розрахунок вертикальних сталевих резервуарів на міцність, стійкість оболонкових елементів слід виконувати відповідно до вимог [7,8]. Залежно від призначення, ступеня відповідальності та району будівництва вертикальні сталеві резервуари мають різне конструктивне рішення:

- резервуари зі стаціонарним дахом;
- те саме з наявністю понтона;
- резервуари з плаваючим дахом;
- резервуари з додатковою захисною стінкою;
- резервуари з попередньо напруженою стінкою.

Основні конструктивні елементи ВСР: днище, стінка, дах, понтон, патрубки, система контролюючих приладів та обслуговуюча сходові вежа.

У практиці вітчизняного резервуаробудування застосовуються два способи зведення ВСР - листове складання з готових вальцьованих листів (пелюстків) та метод рулонування.

Зведення ВСР передбачає поярусне складання з окремих пелюсток або складання укрупнювальними блоками, що збираються в кондукторі. Цей спосіб зведення ВСР досі використовується у світовій практиці.

Великий інтерес представляє спосіб рулонування. Особливість цього методу в тому, що днище та стінка резервуара виготовляються (збираються) у заводських умовах у вигляді рулону, скрученого з полотна навколо обслуговуючої ВСР вежі. Схему установки рулонування наведено на рис. 4.13.

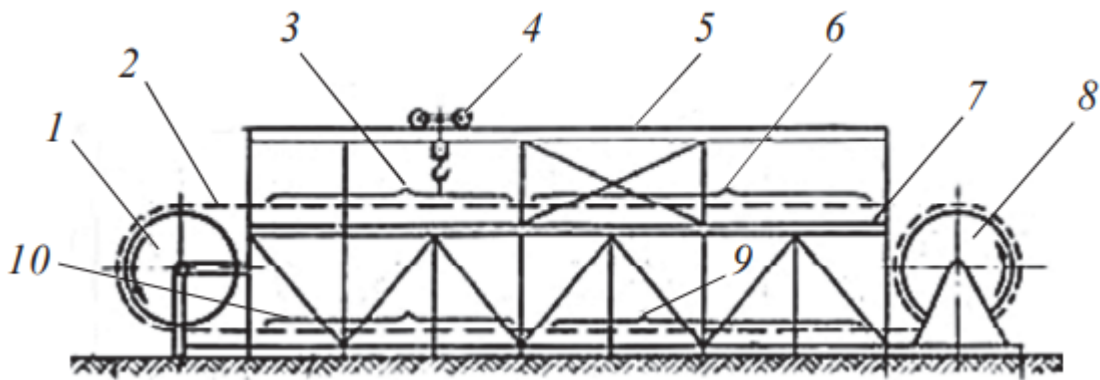


Рис. 4.13. Установка для виготовлення полотен рулонних заготовок:

- 1 - кружало; 2 - полотно; 3 - ділянка автоматичного зварювання; 4 - кран-балка;
5 - підкрановий шлях; 6 - ділянка складання; 7 - верхній робочий майданчик;
8 - пристрій для рулонування; 9 - ділянка контролю зварних швів;
10 - нижній робочий майданчик*

Установка рулонування складається з чотирьох основних технологічних ділянок, двох барабанів, вантажопідйомного механізму та платформи готових рулонів.

Технологічна послідовність рулонування: підготовлені плоскі листи укладають у шаховому порядку на складальну плиту з нерухомими упорами за допомогою вантажопідйомних механізмів (електроталі, магнітоукладачі), з'єднуючи їх з накладкою зварювальними прихватками (перша ділянка). Після перевірки якості складання ВТК полотно подається на другу ділянку, де проводиться накладання стикових

зварних швів зварювальними автоматами. Далі полотно подається на третю ділянку за допомогою кантувального барабана, де відбувається накладання зварних швів зовнішньої сторони зварювальними автоматами. На четвертій ділянці проводиться оцінка якості зварних швів рентгенівським чи іншим способом. При виявленні дефектів у швах виконують їх очищення та виправлення дефекту.

Далі полотнище подається на приймальний барабан (обслуговуюча вежа), скручується в рулон і скочується на приймальний майданчик.

Сучасні підходи до виготовлення конструкцій.

1. Проектна підготовка та конструкторська документація. Використовують 3D-моделі та цифрові креслення КМД, що дозволяють перевірити геометрію, стикування елементів та оптимізувати товщину стінок труб для зменшення маси конструкції без втрати міцності.

Передбачають розподіл конструкції на відправні марки - секції, які можна транспортувати та збирати на об'єкті.

2. Підготовка елементів. Конструкції розкроюють на відрізки потрібної довжини, виконують фаскування кромek, свердління монтажних отворів та обробку поверхні (піскоструминна очистка, ґрунтування). Використовують лазерну або ЧПУ-розмітку для точного позиціонування монтажних отворів і стиків.

3. Складання та тимчасова фіксація. Секції збирають на кондукторах або складальних плитах, що дозволяє підтримувати вертикальність і точність геометрії конструкції. Використовують пневматичні або гідравлічні притискувачі, струбцини та тимчасові розпірки для фіксації труб перед прихваткою.

4. Зварювання та контроль швів. Секції зварюють напівавтоматично або роботизовано в середовищі захисного газу, що забезпечує стабільну якість шва та мінімізує деформації. Контроль якості швів здійснюється візуально та за допомогою неруйнуючих методів (ультразвук, магнітна дефектоскопія). Для критичних вузлів застосовують клас В по ДСТУ EN ISO 5817, для менш відповідальних - клас С.

5. Модульний та секційний підхід. Наскрізнi опори виготовляють у вигляді сегментів (секцій), які потім стикують і з'єднують на монтажному майданчику. Це

забезпечує зручність транспортування, швидкий монтаж і можливість заміни окремих секцій у процесі експлуатації.

6. Сучасний контроль геометрії та якості. Використовують лазерні далекоміри, 3D-сканери, фотограмметрію для перевірки точності складання, вертикальності та збіжності монтажних отворів. Результати фіксують у цифровому журналі контролю якості, що дозволяє підтвердити відповідність конструкції нормам та кресленням.

7. Екологічна та безпечна підготовка. Поверхні обробляють з урахуванням антикорозійного захисту; для цього використовують сучасні фарби та ґрунти для зовнішніх металоконструкцій. Дотримуються правил безпеки та охорони праці під час монтажу великих секцій і зварювання на висоті.

Сучасні європейські підходи до складання і зварювання металевих конструкцій.

У європейській практиці проєктування та виготовлення металевих конструкцій велика увага приділяється комплексному підходу до якісного складання та зварювання, що включає стандартизацію, контроль і забезпечення надійності конструкцій.

Основними документами є Єврокод 3 (EN 1993 «Проектування сталевих конструкцій») та низка стандартів EN ISO, які регламентують процеси зварювання.

Важливими є стандарти:

- EN ISO 9606-1 - кваліфікація зварників;
- EN ISO 15614 - кваліфікація технології зварювання;
- EN ISO 3834 - вимоги до системи якості зварювального виробництва;
- EN 1011 - настанови щодо зварювання металів.

Підготовка та складання елементів. Перевага надається високоточній механічній обробці елементів для мінімізації деформацій і спрощення складання. Використовуються сучасні методи 3D-сканування та цифрового моделювання, що дозволяють ще на етапі проєктування визначити оптимальну послідовність складання.

Складання виконується із застосуванням позиціонерів, фіксаторів та автоматизованих систем вирівнювання, що зменшує похибки та скорочує ручну працю.

Зварювальні технології. Поширені сучасні методи:.

- MIG/MAG - напівавтоматичне зварювання у середовищі захисних газів;
- TIG - аргонодугове зварювання для високої точності;
- лазерне та гібридне зварювання, що забезпечують мінімальну зону термічного впливу та високу продуктивність;
- зварювання під флюсом (SAW) для товстостінних елементів.

Значна увага приділяється зниженню залишкових напружень і деформацій, у тому числі, за рахунок попереднього підігріву та контролю температурних режимів.

Контроль якості. Європейські стандарти передбачають 100% контроль критичних зварних швів методами неруйнівного контролю: ультразвуковим, рентгенівським, магнітопорошковим. Обов'язковим є впровадження системи менеджменту якості згідно з EN ISO 9001 та EN ISO 3834.

Використовуються цифрові системи моніторингу параметрів зварювання у реальному часі.

Екологічність та безпека. Зварювальні процеси організовуються з урахуванням вимог ISO 14001 (екологічний менеджмент) та ISO 45001 (охорона праці та безпека персоналу). Використовуються енергоефективні та низьковитратні технології зварювання, знижується рівень шкідливих викидів.

Інноваційні тенденції. Роботизація зварювання - у Європі дедалі частіше застосовуються промислові роботи, що підвищують якість та продуктивність. Цифрові двійники зварювальних процесів дозволяють моделювати поведінку конструкцій і прогнозувати дефекти. Адитивні технології (3D-друк металом) починають використовуватись для створення складних вузлів із подальшим їхнім зварюванням у єдину систему.

Таким чином, сучасні європейські підходи до складання і зварювання металевих конструкцій ґрунтуються на стандартизації, цифровізації, автоматизації та контролі якості, що забезпечує довговічність і безпечність конструкцій.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ПО РОЗДІЛУ 4

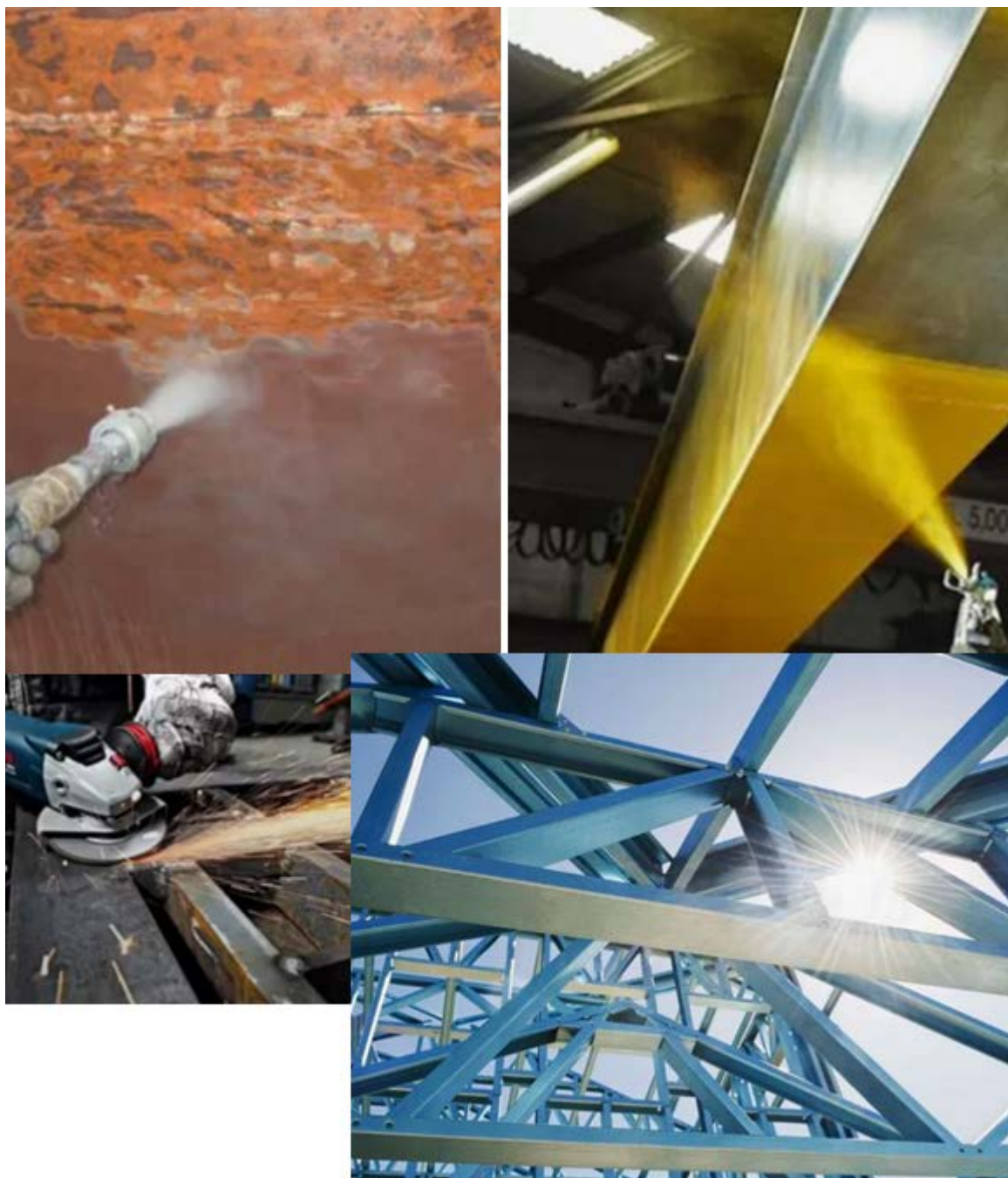
1. Які основні етапи технології складання та зварювання металевих конструкцій визначають при розробці відправної марки?
2. Яке обладнання та інструменти застосовують для складання металевих виробів?
3. Як враховують припуски, допуски і зазори при складанні та зварюванні деталей?
4. Які основні вимоги до підготовки поверхонь деталей перед зварюванням?
5. Які типи з'єднань використовуються у зварюваних металевих конструкціях?
6. Які нормативні документи регламентують технологію складання і зварювання металевих конструкцій?
7. Які способи складання двотаврових стрижнів застосовують у майстернях малої потужності?
8. Як працює механізований стенд з рухливим порталом для складання стрижнів двотаврового перерізу?
9. Які операції виконують після складання стрижня перед зварюванням поясних швів?
10. Яким чином виправляють грибоподібність полиць стрижнів?
11. Для чого фрезерують торці двотаврових стрижнів і як контролюють точність фрезерування?
12. Які засоби контролю геометрії та прямолінійності стрижнів застосовують після складання?
13. Виготовлення зварних підкранових балок
14. Які основні етапи технологічного процесу виготовлення зварних підкранових балок?
15. Як встановлюють ребра жорсткості на двотавровий стрижень балки?
16. Яким чином кріплять опорні плити до стрижня перед остаточним зварюванням?
17. Які нормативні документи регламентують виготовлення та контроль якості

зварних підкранових балок?

18. Як контролюють точність розміщення ребер жорсткості та опорних плит?
19. Які заходи запобігають деформаціям балки під час зварювання?
20. Які варіанти виготовлення колон існують залежно від їх геометричних розмірів і маси?
21. Що таке безвивірковий монтаж колон і як він впливає на технологію виготовлення?
22. Як здійснюють складання верхньої та нижньої частин колони у кондукторі?
23. Які пристрої фіксують проєктне положення гілок колони при складанні?
24. Яке обладнання та методи зварювання застосовують для складання колон після установки в кондукторі?
25. Як контролюють вертикальність та геометричні розміри колони під час складання?
26. Які методи запобігання коробленню та викривленню колон застосовують при зварюванні?
27. Які основні способи складання плоских ґратчастих конструкцій застосовують у виробництві ферм?
28. У чому полягає процес складання ферм по копіру? Назвіть основні етапи.
29. Як перевіряють правильність розкладки елементів ферми на копірі?
30. Опишіть послідовність складання ферми по копіру від розкладки фасонки до прихватки.
31. Які заходи застосовують для усунення короблення ферми під час зварювання?
32. Які типи зварювального обладнання використовують для ферм і за якими критеріями підбирають електроди чи дріт?
33. У чому полягає відмінність складання ферм у кондукторі порівняно з копіром?
34. Як контролюють точність і жорсткість вузлів ферм після зварювання?
35. Які методи складання листових конструкцій застосовують у виробництві?
36. Як здійснюють центрування і фіксацію листів перед зварюванням?

37. Які способи зварювання листових з'єднань найефективніші для тонколистової сталі?
38. Які заходи застосовують для запобігання деформації листових конструкцій при зварюванні?
39. Які види стендів застосовують для складання трубопроводів і трубчастих конструкцій?
40. Опишіть послідовність складання трубопроводу на роликовому стенді.
41. Як працює стенд із пневмопритискувачами для складання трубопроводу?
42. В якому порядку виконують зварювання стикових швів у трубопроводах?
43. Які основні елементи конструкцій радіощогл і радіовеж і як їх збирають на заводі?
44. Як здійснюють стикування сталевих труб на складальному кондукторі для поясів?
45. Які основні етапи складання поясів щогл у кондукторі?
46. Як визначають припуск на усадку зварних швів при складанні поясів різної довжини?
47. Які фіксатори та регульовані елементи застосовують у кондукторі для складання поясів?
48. Опишіть порядок укрупнювання секцій щогл в об'ємному кондукторі.
49. Які етапи складання і зварювання горизонтальних резервуарів?
50. Як контролюють геометрію і герметичність горизонтальних резервуарів?
51. Які основні технологічні прийоми застосовують при складанні та зварюванні вертикальних сталевих резервуарів?

РОЗДІЛ 5. ЗАХИСТ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД КОРОЗІЇ



5.1. Очищення металу

Усі металеві конструкції повинні бути захищені від впливу навколишнього середовища, яке викликає корозію поверхні конструкцій. Ступінь корозії металевих конструкцій залежить від агресивності середовища, в умовах якого передбачається їхня експлуатація. Ступінь агресивного впливу середовища визначається середньою швидкістю корозії (мм/рік).

Основним способом боротьби з корозією металу є створення захисних покриттів - лакофарбових чи металевих.

На заводах металеві конструкції ґрунтують чи фарбують по ґрунту. Ґрунт захищає конструкції на період транспортування, збереження і монтажу, після чого їх фарбують за один чи два рази. Ґрунтування і фарбування виконують після прийому конструкцій ВТК.

Технологічний процес захисту металевих конструкцій лакофарбовим покриттям включає підготовку поверхні металу, ґрунтування і нанесення покриття.

Підготовку поверхні металопрокату і конструкцій, призначених для експлуатації в неагресивних і слабоагресивних середовищах, здійснюють механічним способом за допомогою ручного або механізованого інструмента (дротових щіток, шкребків, електричних, пневматичних, шліфувальних машин, голкофрез). Жирові плями, забруднення видаляють ганчірками, які змочені в уайт-спіриті.

Поверхню конструкцій, що експлуатується у середньо- і сильноагресивних середовищах, очищають механічним способом, застосовуючи сухий абразив. Дробоструменевий або дробеметальний спосіб очищення використовують, як правило, на потокових лініях. Як абразив беруть чавунний дріб від N 0,5 до N 0,1 чи металевий пісок.

При тривалому збереженні (більш 20 діб) очищений прокат чи конструкції покривають ґрунтовкою, що їх консервує. Для очищення конструкцій простої конфігурації, де є лише стикові з'єднання, використовуються очищення хімічним способом: знежирення у водяних лужних розчинах, в органічних розчинниках, травлення в кислотах.

Процес знежирення в лужних розчинах заснований на здатності їх омилювати чи емульгувати жири й олії, що легко змиваються в процесі очищення; в органічних розчинниках - на здатності розчиняти жирові забруднення мінерального і тваринного походження.

Травлення - це процес очищення металевих конструкцій у розчинах чи кислот лугів (хімічні речовини, що мають лужні властивості, протилежні кислотам). Кислотне травлення допускається при очищенні конструкцій, що не мають кишень, щілин і т.ін. і в яких можуть накопичуються залишки електроліту. Рекомендується методом травлення очищати конструкції, на які наносяться металеві покриття (цинкові, алюмінієві). Лужне травлення - очищення металевих поверхонь за допомогою лужних розчинів (наприклад, натрію гідроксиду чи калію гідроксиду). Травлення й обробка сухим абразивом забезпечує другий ступінь очищення поверхні металу (ДСТУ EN ISO 12944 (захист від корозії фарбами), які є гармонізованими з європейськими нормами EN ISO 12944).

В окремих випадках можливе застосування термічного очищення поверхні конструкцій полум'ям газової суміші, що складається з 50% кисню і 50% пального газу. При нагріванні поверхні металу до 130...160° відбувається видалення хімічно зв'язаної води з окалини чи іржі; сухий пил окислів заліза, що залишився, видаляють щітками.

Поєднання механічної та хімічної обробки : наприклад, дробеструменева очистка + фосфатування або кислотне травлення перед цинкуванням.

Використовуються спеціальні нанопокриття та каталізатори, які поліпшують адгезію фарбувальних і металевих покриттів.

Використовують візуальний контроль, товщиноміри залишкового оксидного шару, тест на змочування поверхні, контроль рН залишкових розчинів.

Забезпечується відповідність стандартам ISO 8501-1 та ДСТУ, що визначають ступені очищення металу перед покриттям.

Використовуються замкнуті цикли збирання абразиву і відпрацьованих розчинів, нейтралізація кислот і лугів.

Застосовуються водні розчини та безпечні органічні розчинники, щоб зменшити шкоду для персоналу та навколишнього середовища.

Сучасні методи очищення металу перед фарбуванням (європейський досвід)

У ЄС застосовуються методи, що відповідають стандартам ISO 8501, ISO 8504, ISO 11124, ISO 11126 (система вимог до очищення поверхонь перед нанесенням покриттів) [50,51].

Механічні методи очищення

Абразивоструменева (піскоструменева, дробеструменева) обробка. Використовуються сталевий дріб, корунд, гранатовий пісок, скляні кульки. Ступені очищення за ISO 8501: Sa 1-Sa 3. Переваги: найкраща підготовка для антикорозійних покриттів, створення рівномірної шорсткості. Недоліки: пил, шум, необхідність аспіраційних систем. У ЄС активно переходять на закриті дробеструменеві камери з системами рекуперації абразиву.

Механічне шліфування та щіткування. Використовують шліфувальні машини, сталеві щітки. Вимоги ISO 8501 - ступені St 2, St 3 (ручне і механізоване очищення).

Хімічні методи очищення. Лужне знежирення. Застосовуються лужні розчини (NaOH, фосфати, силікати) у ваннах або у вигляді розпилення. Видаляють мастила, емульсії, органічні забруднення. У Європі поширені водорозчинні екологічні склади з нейтралізацією стічних вод.

Кислотне травлення (pickling). Використання HCl, H₂ SO₄ або ортофосфornoї кислоти. Видаляє окалину та іржу. Сучасний варіант у ЄС - інгібоване травлення (добавки, що сповільнюють надмірну корозію).

Фосфатування (залізо-, цинко-, марганцево-фосфатні плівки). Створює мікропористу плівку, яка підвищує адгезію фарби. Знижує швидкість корозії. У Європі поширене цирконієве або нанокерамічне покриття як екологічна альтернатива фосфатам.

Фізико-хімічні методи.

Аквабластинг (гідроабразивна очистка). Струмінь води високого тиску з абразивом. Дає якісну чисту поверхню без пилу. Струмінь води високого тиску з

абразивом дає якісну чисту поверхню без пилу. Використовується у ЄС замість піскоструменевої обробки в екологічно чутливих зонах.

Плазмова очистка. Використовується іонізований газ для видалення органіки й окисів. Дає високу активацію поверхні перед порошковим фарбуванням.

Лазерна очистка. Лазер випаровує забруднення, іржу, окалину. Дуже точний метод, який не пошкоджує метал. Застосовується в аерокосмічній та енергетичній галузях ЄС.

Екологічні інновації в Європі. Відмова від піскоструменевої обробки кварцовим піском (через канцерогенність пилу). Використання замкнених циклів води та абразиву. Заміна фосфатування на цирконієві нанопокриття (менше стічних вод, нижчий вплив на довкілля). Активне впровадження CO_2 - очищення сухим льодом (сублімація кристалів CO_2 знімає забруднення без абразиву).

5.2. Захист металевих конструкцій лакофарбовими матеріалами

Лакофарбове покриття на очищену поверхню металу наносять різними способами в залежності від конфігурації конструкції: пневматичне розпилення, безповітряне розпилення, струменевий облив, фарбування вручну щіткою.

При пневматичному розпиленні лакофарбові матеріали стисненим повітрям перетворюються в тонку дисперсну масу, що через сопло діаметром 1...2 мм наноситься на поверхню металу.

Таким методом одержують покриття всіх класів незалежно від складності поверхні і застосовуваних матеріалів. Покриття наносять ручними фарборозпилювачами, до яких подається очищене стиснене повітря від індивідуального компресора чи від загальної заводської мережі (рис. 5.1).

В основі процесу безповітряного розпилення закладена здатність лакофарбових матеріалів розпорошуватися за рахунок різкого падіння тиску від 100...150МПа до атмосферного.

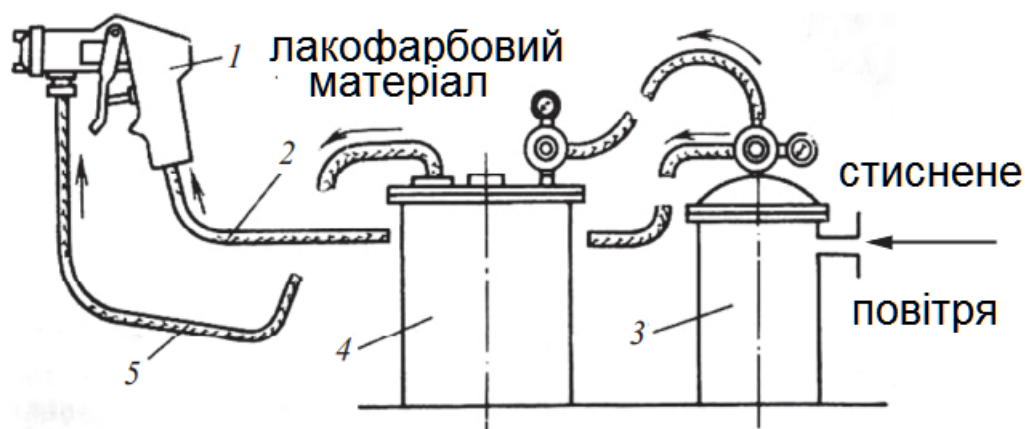


Рис. 5.1. Установка для пневматичного розпилення: 1 - фарборозпилювач; 2 - шланг для подачі стисненого повітря; 3 - маслоотделитель; 4 - фарбонагнітальний бак; 5 - шланг для лакофарбового матеріалу

Відбувається миттєвий випар частини розчинників, збільшення об'єму матеріалу, що фарбує, і формування смолоскипа фарби з чіткими межами і майже однаковою щільністю по всьому перетину. Перевага цього способу у тому, що значно зменшуються туманоутворення, втрати лакофарбового матеріалу, поліпшуються умови праці робітників, підвищується продуктивність праці. При безповітряному розпиленні застосовують установки "Веселка", "Смолоскип-3" і "Viza" (Чехія, рис. 5.2), 2600Н, 7000Н.

Метод струменевого обливу в основному застосовується на заводах, що виконують панельні віконні рами. Конструкції офарблюються соплами, установленими по контуру конструкцій. Після фарбування конструкції поміщають у камеру, де витримують визначений час у парах розчинників. Процес формування покриття (висихання фарби) затримується через надлишок пару розчинників; надлишковий лакофарбовий матеріал стікає з конструкції, а той що залишився рівномірно розподіляється по поверхні.

Найбільш ефективним, з погляду економії лакофарбових матеріалів, є ручний спосіб нанесення покриття, але він дуже трудомісткий і непродуктивний [51].

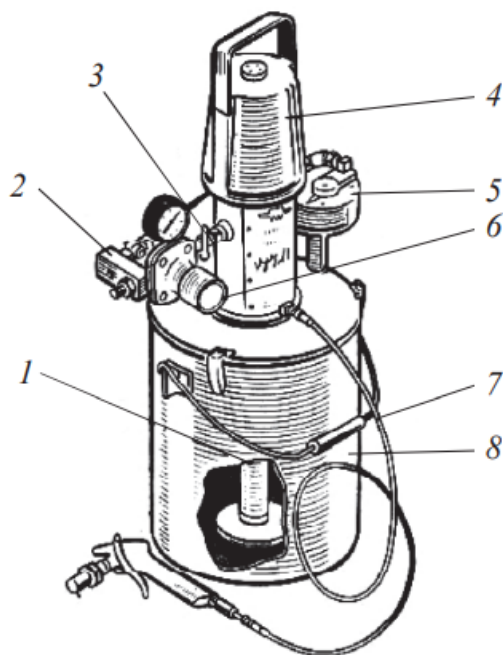


Рис. 5.2. Установка Viza: 1 - поршневый насос; 2 - пневмопривід; 3 - триходовый кран; 4 - двигатель; 5 - ротационный мотор; 6 - клапан; 7 - шланг; 8 - посуди́на для лако-фарбових матеріалів

Сучасні методи нанесення лакофарбових покриттів на металеві конструкції

1. Пневматичне розпилення

При пневматичному розпиленні лакофарбовий матеріал під тиском стисненого повітря подається через спеціальне сопло (діаметром 1-2 мм). У результаті утворюється дрібнодисперсний аерозоль, який рівномірно осідає на поверхню металу.

Переваги:

- висока якість покриття, рівномірність шару.
- підходить для деталей складної форми.
- можливість нанесення широкого спектра ЛФМ - від ґрунтів і проміжних шарів до фінішних емалей.

Типові матеріали:

- епоксидні ґрунти (для захисту від корозії).
- поліуретанові емалі (для атмосферного захисту і декоративного покриття).
- акрилові фарби.

Обладнання.

Пневматичні фарбопульти (наприклад, Wagner, Graco).

Компресори з фільтрацією повітря.

2. Безповітряне (безповітряно-струминне) розпилення

В цьому методі ЛФМ розпорошується завдяки високому тиску (10-35 МПа) без застосування стисненого повітря. Фарба утворює стійку та щільну плівку з мінімальними втратами.

Переваги:

- зменшення туманоутворення та втрат фарби (економія матеріалу).
- підвищена продуктивність (швидкість нанесення).
- кращі умови праці через зменшення аерозольного пилу.

Матеріали:

- поліуретанові лаки і емалі.
- епоксидні і поліефірні ґрунти та фарби.
- водно-дисперсійні фарби.

Обладнання:

Установки Graco Mark V, Wagner Airless, сучасні аналоги «Веселка», «Смоло-ска-3».

Регулювання тиску і об'єму для оптимізації нанесення.

3. Струменевий облив

Застосовується переважно для плоских великих виробів (панельні віконні рами, фасадні елементи). Лакофарбовий матеріал подається через сопла, розміщені по периметру.

Переваги. Рівномірне покриття великих поверхонь. Можливість автоматизації процесу. Висока продуктивність.

Матеріали:

- водно-дисперсійні фарби;
- поліуретанові та акрилові системи.

Після нанесення конструкції проходять сушіння у спеціальних камерах, де контролюється температура і вологість.

4. Ручне фарбування

Нанесення фарби пензлем або валиком, зазвичай для ремонтних робіт або складних ділянок.

Переваги: максимальна гнучкість; можливість локального відновлення покриття.

Недоліки: висока трудомісткість; низька продуктивність.

Сучасні методи захисту металевих конструкцій лакофарбовими системами в Європі.

Основний стандарт ISO 12944 деталізує: підготовку поверхні (частина 4), композиції лакофарбових систем (5), випробування (6), виконання та контроль фарбувальних робіт (7), специфікації для нових і обслуговування (8), особливі системи для офшорних конструкцій (9).

Корисні класи терміну служби: низький - до 7 років, середній - 7-15 років, високий - 15-25 років, дуже високий - понад 25 років.

Порошкові покриття (Powder Coating) широко застосовуються для фасадів, елементів архітектури, освітлення - надають не лише захист, а й декоративну ефектність та текстуру. Порошкові покриття, які сертифіковані відповідно до GSB International і QUALICOAT гарантують довговічність та стійкість кольору.

Епоксидні системи (Fusion-Bonded Epoxy - FBE). Термореактивне порошкове покриття, що наноситься на дощоквану поверхню сталі при 180-200 °C. забезпечує надміцне зчеплення та стійкість до агресивного середовища - часто застосовується в нафтоіндустрії, трубопроводах.

Фосфатне хіміко-конвертаційне покриття. Хімічна обробка поверхні (наприклад, розчином фосфатів заліза, цинку або марганцю) створює тонку захисну плівку і це покращує корозійну стійкість та адгезію наступних лакофарбових шарів.

Новітні алюмінатні покриття (Zinc-Magnesium - ZM). Сучасна альтернатива цинкуванню: шар із сплаву цинк-магній-алюміній. Легші, тонші, більш екологічні та стійкі до корозії.

Передові технології - нанопокриття, PVD, PACVD. PVD / PACVD - наношарувальні методи, які утворюють дуже тонкі, жорсткі, зносостійкі, стійкі до корозії шари (кераміка, метал).

Нанопокриття - застосування матеріалів на нанорівні, що дають значний бар'єр проти корозії, іноді навіть з антикорозійною індикацією (щупають зміну кольору при появі корозії).

Гібридні та «розумні» системи. Гібридні системи об'єднують декілька методів (наприклад, ZM + порошкове покриття). Smart-покриття - з вбудованою функцією індикації корозії (наприклад, зміна кольору при пошкодженні).

Сосооп - еластичне безшовне антикорозійне покриття з антибактеріальними властивостями, вогнестійкістю, надзвичайно низьким проникненням водяної пари.

5.3. Лакофарбові матеріали

Для захисту металевих конструкцій застосовують ґрунтовки ГФ-020, ФЛ-03-К, ГФ-021, а також ґрунтовку на основі залізного сурику густотертого й оліфи оксоль.

На конструкції, що експлуатуються в умовах неагресивного середовища, наносять в один шар ґрунтовку з залізного сурику й оліфи оксоль. Для таких конструкцій можуть бути використані ґрунтовки ГФ-020 чи ГФ-021.

Конструкції, що експлуатуються в слабоагресивних середовищах, покривають ґрунтовкою ГФ-020 в один шар, а в середньо- і сильноагресивних - у два шари.

ґрунтовку ФЛ-03-К використовують для особливо відповідальних конструкцій. ґрунтовку на основі перхлорвінілового сполучного ХС-010 наносять тільки на поверхню металу, очищену піскоструменевим способом.

Для захисту металевих конструкцій використовують емалі:

а) на основі пентафталевого сполучного - ПФ-133 (наносять по ґрунтовках ГФ-020 чи ФЛ-03ДО);

б) на основі перхлорвінілового сполучного - ХВ-110 (наносять по ґрунтовках ГФ-020, ГФ-0119, ФЛ-ОЗК, ПФ-020, при захисті оцинкованої сталі, а на алюмінію емаль наносять по ґрунтовках ФЛ-03Ж и АК-070).

Фарба МА-011, лак ВТ-577 і органосилікатний барвник ОС-12 наносять на поверхню конструкції без ґрунту. При цьому потрібно дробеструменева чи дробеметалева обробка металу.

Після нанесення лакофарбові покриття конструкцій вимагають сушіння в природних умовах при температурі $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ протягом 24 годин, за винятком ґрунтовки ГФ-020 (48 годин).

Для захисту металевих конструкцій застосовують сучасні ґрунтовки на основі епоксидних, поліуретанових та акрилових сполучних, які забезпечують високу адгезію, корозійну стійкість і довговічність покриття.

Для конструкцій, які працюють в умов з низькою агресивністю середовища застосовують одношарові ґрунтовки на основі залізного сурику або епоксидні ґрунти, наприклад, ЕР-ґрунти виробників Hempel, Jotun, Sigma або Sherwin-Williams. Такі ґрунтовки забезпечують надійний захист металу від корозії та сумісні з різними фінішними системами.

Конструкції, які експлуатуються у слабоагресивних середовищах рекомендується наносити епоксидні ґрунтовки в один шар, а конструкції, які експлуатуються у середньо- та сильноагресивних - у два шари або необхідно використовувати двокомпонентні епоксидні системи з підвищеною товщиною покриття.

Для особливо відповідальних конструкцій застосовують поліуретанові ґрунтовки або поліефірні ґрунти, які мають покращену атмосферо- та хімічну стійкість, наприклад, системи Polyurethane Primer від AkzoNobel або Jotun.

При застосуванні піскоструменевого очищення поверхні металу (згідно з ДСТУ EN ISO 8501-1) рекомендується використовувати спеціалізовані епоксидні ґрунтовки, такі як ХС-010 або їх сучасні аналоги, що забезпечують максимальну адгезію та довговічність.

Для фінішного покриття металевих конструкцій застосовують емалі на основі.

Пентафталевих сполучних - наприклад, сучасні поліуретанові емалі на пентафталевій основі, які наносять по відповідній ґрунтовці (аналог ПФ-133) і вони забезпечують високу зносостійкість і декоративність.

Перхлорвінілових сполучних - використовуються рідше через екологічні обмеження, однак деякі спеціалізовані емалі (аналог ХВ-110) застосовуються в промисловості.

Поліуретанових і акрилових емалей - наприклад, системи Hempel Hemplathane, Sherwin-Williams Macropoxy, які забезпечують стійкість до УФ-випромінювання, хімічних впливів і механічних навантажень.

Для захисту оцинкованих сталей і алюмінію використовують спеціальні емалі на акриловій або поліуретановій основі, які наносяться по спеціальних ґрунтовках, наприклад, ФЛ-03Ж або АК-070 за старою класифікацією, або їх сучасних еквівалентах.

Лакофарбові матеріали наносяться на поверхню, ретельно очищену та підготовлену відповідно до ДСТУ EN ISO 12944 та ДСТУ EN ISO 11124 (піскоструменева обробка, дробеструменеве очищення). Перед нанесенням покриттів необхідне забезпечення параметрів температури (20 ± 2 °C) та вологості, а сушіння здійснюється відповідно до технологічних регламентів - зазвичай 16-24 години для поліуретанових систем і до 48 годин для епоксидних ґрунтів.

Нормативні посилання:

ДСТУ EN ISO 12944 [20,46] - визначення систем покриттів, вибір матеріалів і контроль якості.

ДСТУ EN ISO 8501-1 [49] - очищення поверхонь сталевих конструкцій від окалини, іржі та старих покриттів.

Рекомендації виробників ЛФМ (Hempel, Jotun, Sherwin-Williams) для вибору систем покриттів за типом експлуатаційного середовища.

Двошарові покриття проходять пошарове природне сушіння протягом 12...16 год.

Витрата лакофарбових матеріалів визначають по формулі:

$$N_p = S N_H \quad (5.1)$$

де N_H - нормативна витрата матеріалів (г/м²);

S - площа покриття (м²);

$$N = mv100 / h(1 - k) \quad (5.2)$$

де **m** - товщина покриття (під час ґрунтування 12...15 мкм; при фарбуванні 50...80 мкм);

v - щільність плівки (г/см³);

p - сухий залишок (%);

k - коефіцієнт втрат.

На багатьох заводах металеві конструкції фарбують на потокових лініях.

Технологічна карта нанесення лакофарбового покриття на металеві конструкції

1. Підготовчі роботи

- Очищення поверхні металу від бруду, жиру, мастил і інших забруднень (механічне знежирення або мийка спеціальними розчинниками).

- Піскоструменеве або дробеструменеве очищення поверхні згідно з ДСТУ EN ISO 8501-1 до ступеня Sa2 або Sa2.5.

- Перевірка чистоти поверхні візуально і за допомогою контролю адгезії.

2. Підготовка матеріалів і обладнання

- Підготовка ґрунтовки (наприклад, епоксидної ґрунтовки EP Primer).

- Перевірка технічних характеристик ЛФМ (в'язкість, змішування компонентів, термін придатності).

- Підготовка обладнання: фарбувальні пістолети (пневматичні або безповітряні), компресори, фільтри.

3. Нанесення ґрунтовки

- Нанесення ґрунтовки в 1-2 шари.

- Товщина шару ґрунтовки - 80-120 мкм (залежно від виробника).

- Витримка між шарами - 2-4 години при температурі 20±2 °С.

- Перевірка товщини нанесеного шару за допомогою товщиноміра.

4. Сушка ґрунтовки

- Природна сушка при температурі 20±2 °С протягом 16-24 годин або примусова сушка при 60-80 °С протягом 1-2 годин.

5. Нанесення фінішного покриття (емалі)

Підготовка емалі (поліуретанова, акрилова, або інша відповідно до специфікації).

Нанесення 1-2 шарів емалі.

Товщина шару емалі - 40-80 мкм.

Витримка між шарами - 4-6 годин.

6. Фінальна сушка

Природна сушка при 20 ± 2 °C - 24-48 годин або полімеризація в сушильній камері за температури 60-80 °C - 2-4 години.

7. Контроль якості

Візуальний огляд покриття (відсутність потьоків фарби, пор, тріщин).

Вимір товщини лакофарбового покриття.

Перевірка адгезії методом нанесення на покриття сітки з паралельних і перпендикулярних надрізів до основи металу (за ISO 2409 або ASTM D3359).

Вологість поверхні перед нанесенням - не вище 6%.

Всі роботи виконуються при температурі повітря від +10 до +30 °C і відносній вологості не більше 80%.

Використовувати тільки сертифіковані лакофарбові матеріали з паспортом якості.

Перед початком фарбування необхідно переконатися у відповідності підготовки поверхні вимогам ДСТУ EN ISO 12944.

Сучасні лакофарбові матеріали в Європі.

Європейський ринок лакофарбових матеріалів оцінюється в 40,6 млрд €, де лідирує сегмент декоративних покриттів (21,8 млрд €); решту ринкових часток займають промислові, автомобільні, дерев'яні та порошкові покриття [61]).

Прогнозується зростання з річним темпом CAGR 3,4% за вартістю і 1,5% за обсягом до 2028 року, завдяки інноваціям, регуляторному тиску та зростанню попиту в будівництві, мобільності й індустрії [61].

Еко-тенденції та сталий розвиток. Водорозчинні (waterborne) покриття займають понад 65% ринку Західної Європи, поступово витісняючи сольвентні фарби з високим вмістом легких органічних сполук (VOCs) [61].

Розвиваються біобазовані формули під Єко-стандарти (Green Deal до 2050 року).

Активно впроваджуються самоочисні нанопокриття, що знижують температуру поверхні на 15 °C, забезпечуючи енергоефективність [61].

Цифрові рішення та «розумні» покриття. Штучний інтелект і спектрофотометри використовуються для реального підбору кольору з точністю до 95%, що зменшує втрати матеріалів на 20-25% [61]).

Розвиваються розумні покриття - термочутливі чи очищувальні, особливо популярні у Німеччині та скандинавських країнах; поки вони займають лише 8-10 % ринку, але зростають швидше за галузь [61]).

Порошкові лакофарбові покриття - тривалий захист. Домінують у промисловому і антикорозійному захисті металевих конструкцій. Преваги: наявність високого сухого залишку, відсутність VOC, довговічність покриття [61]. Особливо актуальні у нафтогазовому, суднобудівному та промисловому застосуванні; наприклад, поліуретан без розчинника зі 100 % сухим залишком («Wimadur DS», Німеччина) або однокомпонентні покриття для умов високої вологості [61].

Спеціалізовані сегменти: банки (баночні покриття). Ринок Європи оцінено у 86,1 млн дол. США (2024), з прогнозом зростання до 116,5 млн дол. США (2030).

Найбільший сегмент - акрилові покриття; найшвидший ріст - епоксидні [61].

5.4. Захист конструкцій металевими покриттями

Для захисту металевих конструкцій від корозії найчастіше застосовують металізацію та гаряче цинкування [51]. Ці методи забезпечують тривалий строк експлуатації конструкцій навіть в агресивних середовищах.

Металізація - це процес напилювання розплавленого металу на очищену поверхню конструкції за допомогою струменя стисненого повітря або інертного газу (аргону, азоту). Напилення виконується ручними або стаціонарними електрометалізаторами, які утримують сопло на відстані 80...120 мм від поверхні.

Матеріали для напилювання: зазвичай використовують цинковий дріт (марка Ц1) діаметром 2-2,5 мм. Дріт подається в сопло електрометалізатора, де між дрітом і електродом виникає дуга, яка розплавляє дріт. Розплавлений метал потоком стисненого повітря наноситься на поверхню.

Особливості процесу.

Втрати металу під час напилення складають 30-40% (пил і пари).

Робота електрометалізаторів ведеться від джерела постійного струму.

Поверхня перед металізацією очищається дробеструменевим або піскоструменевим засобом до ступеня очищення Sa2.5 (ДСТУ EN ISO 8501-1).

Переваги.

Можливість нанесення покриття на великі і складні за формою елементи.

Відносна економічність та мобільність.

Гаряче цинкування - більш економічний та довговічний спосіб захисту сталевих виробів. Процес включає наступні етапи:

1. Підготовка поверхні:

Знежирення органічними розчинниками (наприклад, у відповідності з ДСТУ EN ISO 1461).

Травлення у розчині сірчаної кислоти для видалення іржі, окалини (згідно з технологією ГОСТ 9.402 або аналогами).

Промивання у гарячій (50-70 °C) або холодній (18-20 °C) воді.

Офлюсування хлористим цинком із домішками хлористого амонію (з метою видалення залишкових оксидів та поліпшення зчеплення).

2. Сушка: при температурі 120-160 °C.

3. Занурення: у ванни з розплавленим цинком (марки Zn3-Zn4) при температурі близько 450 °C. Товщина цинкового шару - 100-150 мкм (100-150 10^{-6} метра = 0,001 мм).

4. Контроль якості: нанесення сітки 1×1 мм на покриття; якщо покриття не відшаровується, якість вважається задовільною.

Витрати цинку: до 60 кг цинку на 1 тону металоконструкції.

Гальванічне оцинкування

Виконується для виробів, де товщина покриття не перевищує 15-18мкм. Застосовується для дрібних деталей та елементів із складною формою.

Комбіновані покриття

Для особливо відповідальних і унікальних конструкцій застосовують комбіновані системи захисту: гаряче цинкування або металізація з подальшим нанесенням 2-3 шарів лакофарбового покриття. Це значно збільшує строк служби до 30-40 років без додаткових заходів.

Алюмінівання

Алюмінієві покриття характеризуються істотно вищою корозійною стійкістю порівняно з цинковими: у 5–6 разів за однакової маси та приблизно у 2,5 рази за однакової товщини шару.

Технологія (метод Сендзіміра):

Нагрівання сталевих листа до 450 °С в окисній атмосфері для видалення забруднень.

Відновлення поверхневих оксидів в печі з відновлювальною атмосферою при 730-800 °С.

Занурення в розплав алюмінію.

Охолодження і змотування в рулон.

Добавки: до розплаву можуть додавати кремній (2-6%), який підвищує стійкість покриття до тріщин при штампуванні та згинанні.

Рекомендації виробників ЛФМ і металевих покриттів - наприклад, AkzoNobel, Jotun, Sherwin-Williams.

Технологічна карта

Нанесення захисних металевих покриттів на сталеві конструкції

1. Область застосування

Технологічна карта розробляється для нанесення металевих покриттів (гаряче цинкування, металізація цинком) на сталеві конструкції для захисту від корозії відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 12944 та ДСТУ EN ISO 1461.

2. Вихідні матеріали та обладнання

2.1. Матеріали:

- сталеві конструкції, очищені до класу Sa 2.5 (повне очищення до металевого блиску за ДСТУ EN ISO 8501-1);
- цинковий дріт (Ц1) діаметром 2-2,5 мм для металізації;
- цинк марки Zn3-Zn4 для гарячого цинкування;
- флюс: хлористий цинк із домішками хлористого амонію;
- органічні розчинники для знежирення;
- стиснене очищене повітря або інертний газ (для металізації).

2.2. Обладнання:

- електрометалізатори стаціонарні та ручні;
- піскоструменеве обладнання;
- ванни для гарячого цинкування із системою підігріву до 450 °С;
- камери сушки;
- компресори для подачі стисненого повітря;
- прилади контролю товщини покриття (мікрометри, калібри).

3. Технологічний процес

3.1. Підготовка поверхні

1. Механічне очищення сталевої конструкції дробеструменевим або піскоструменевим методом до ступеня очищення Sa 2.5 (видалення іржі, окалини, масла та інших забруднень).

2. Очищену поверхню знежирити органічними розчинниками.

3. Перед металізацією поверхню необхідно обробити стисненим повітрям для видалення пилу.

3.2. Нанесення металевого покриття

3.2.1. Металізація цинком

Відстань сопла електрометалізатора від поверхні - 80-120 мм.

Швидкість напилення - відповідно до технічних характеристик обладнання.

Товщина покриття - 80-120 мкм (з урахуванням втрат).

3.2.2. Гаряче цинкування

Знежирення поверхні органічними розчинниками.

Травлення в сірчанокиислому розчині (концентрація і час згідно з регламентом).

Гаряче або холодне промивання.

Офлюсування (хлористий цинк + хлористий амоній).

Сушка при 120-160 °С.

Занурення у ванну з розплавленим цинком при 450 °С.

Товщина цинкового шару - 100-150 мкм.

Охолодження та контроль якості (метод нанесення сітки 1×1 мм).

4. Контроль якості

Візуальний огляд на наявність пропусків і дефектів покриття.

Вимірювання товщини покриття мікрометром або спеціальним приладом (товщина згідно з нормативами).

Перевірка адгезії покриття (нанесення сітки 1×1 мм, оцінка відшарування).

Випробування на корозійну стійкість згідно з ДСТУ EN ISO 12944 (за потреби).

5. Вимоги безпеки

Виконувати роботи в спецодязі, рукавицях, респіраторах.

Забезпечити вентиляцію робочої зони.

Дотримуватися правил техніки безпеки при роботі з розплавленим металом і стисненим повітрям.

Зберігати та утилізувати відходи відповідно до екологічних норм.

Сучасні європейські підходи до захисту конструкцій металевими покриттями.

У країнах Європейського Союзу питання довговічності та надійності металевих конструкцій тісно пов'язані з сучасними підходами до їх захисту від корозії. Базовим документом у цій сфері є EN 1090 (виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій), а також комплекс стандартів EN ISO 12944, що регламентує захисні покриття від корозії сталевих конструкцій.

Принципи сучасної системи захисту. Комплексний підхід: оцінюється не лише тип металевих покриття, але й умови експлуатації, агресивність середовища (класи C1-C5 та CX за EN ISO 12944-2).

Життєвий цикл: вибір системи покриття здійснюється з урахуванням терміну служби конструкції та економічної ефективності (концепція Life Cycle Cost Analysis).

Сумісність матеріалів: особлива увага приділяється адгезії покриття до сталі, можливості ремонту та повторного нанесення.

Основні види металевих покриттів. Гаряче цинкування (EN ISO 1461, EN ISO 14713). Один з найпоширеніших методів, що забезпечує катодний і бар'єрний захист. Використовується для мостових, енергетичних і промислових конструкцій.

Металізація (напилення цинку, алюмінію або їх сплавів). Надає покриття з підвищеною корозійною стійкістю, особливо у морських та промислових середовищах.

Комбіновані системи (дуплекс-системи). Поєднання гарячого цинкування та лакофарбового шару (наприклад, порошкове фарбування). Такий підхід значно збільшує термін служби (до 40-60 років без капітального ремонту).

Алюмінієві покриття. Використовуються у випадках дії високих температур або агресивних атмосфер (наприклад, у хімічній промисловості).

Додаткові сучасні тенденції. Використання наноструктурованих і тонкошарових металевих покриттів для покращення антикорозійних та механічних властивостей. Розвиток екологічно безпечних технологій : мінімізація використання шкідливих речовин (свинцю, хрому VI), відповідність директивам REACH та RoHS. Впровадження цифрових систем контролю якості нанесення покриттів, зокрема датчиків товщини шару, вологості та адгезії.

Європейський підхід у практиці проектування. При проектуванні конструкцій враховується захист від корозії на етапі створення проекту, а не лише після виготовлення. У ЄС активно застосовується концепція Design for Durability - «проектування для довговічності». Конструкції проектують з урахуванням легкості доступу для огляду та ремонту покриттів.

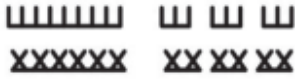
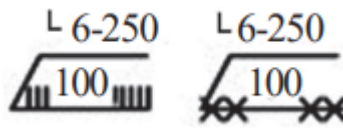
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ПО РОЗДІЛУ 5

1. Як ступінь корозії металевих конструкцій залежить від агресивності середовища?
2. Які основні способи захисту металевих конструкцій від корозії застосовують на заводах?
3. На якій стадії приймають металеві конструкції для подальшого фарбування?
4. Які механічні засоби застосовують для очищення поверхні металу в неагресивних середовищах?
5. Як контролюють стан металу під час тривалого зберігання?
6. Які методи хімічного очищення застосовують для простої конфігурації конструкцій?
7. В яких випадках застосовують кислотне травлення і які обмеження при цьому існують?
8. Які види абразиву використовують при очищенні металу (розміри, типи)?
9. Який принцип термічного очищення поверхні металу полум'ям газової суміші?
10. Який додатковий етап обробки необхідний після термічного очищення для повного видалення залишків окислів?
11. Як перевіряють чистоту та шорсткість поверхні після очищення?
12. Які сучасні методи очищення металу використовують для складних конструкцій (плазмове, ультразвукове, абразивоструменеве)?
13. Які основні способи нанесення лакофарбового покриття на металеві конструкції застосовують залежно від конфігурації виробу?
14. У чому відмінність пневматичного та безповітряного розпилення ЛФМ?
15. Які переваги та недоліки ручного фарбування металевих конструкцій?
16. Які переваги безповітряного розпилення порівняно з пневматичним?
17. Яке обладнання використовують для безповітряного розпилення фарби?
18. Як регулюють процес нанесення фарби при безповітряному розпиленні для оптимальної якості?
19. Як контролюють товщину та рівномірність нанесеного покриття?

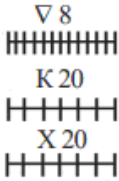
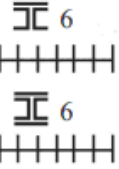
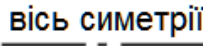
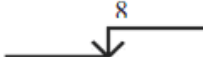
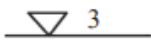
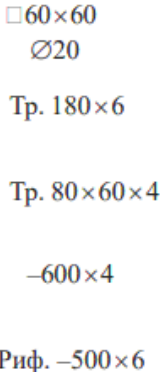
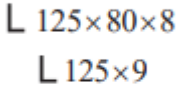
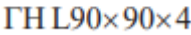
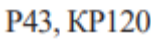
20. Які дефекти покриття можуть з'явитися при неправильному нанесенні і як їх усувають?
21. Лакофарбові матеріали
22. Які емалі використовують для фінішного покриття металевих конструкцій і які їх властивості?
23. Які ґрунти застосовують для захисту металу і як вони взаємодіють із фінішним покриттям?
24. Які типи ЛФМ забезпечують високу атмосферостійкість у промислових умовах?
25. Які властивості фарби впливають на адгезію до металу?
26. Як визначають строк служби лакофарбового покриття?
27. Як впливає температура та вологість на процес сушіння ЛФМ?
28. Які сучасні ЛФМ з підвищеною стійкістю до корозії застосовують для конструкцій у морських і агресивних середовищах?
29. Які методи нанесення металевих покриттів застосовують для захисту від корозії?
30. В чому полягає різниця між гарячим цинкуванням та холодним металевим покриттям?
31. Як контролюють товщину металевих покриттів?
32. Які переваги і недоліки хімічного металевих покриттів порівняно з електрохімічним?
33. Які метали найчастіше застосовують для захисних покриттів (цинк, алюміній, нікель)?
34. Як впливає структура металевих покриттів на його корозійну стійкість?
35. Які дефекти металевих покриттів найчастіше зустрічаються і як їх усувають?
36. Як комбінують ЛФМ і металеві покриття для підвищення терміну служби конструкції?
37. Як здійснюють контроль корозійної стійкості готової конструкції на заводі?
38. Які емалі використовують для фінішного покриття металевих конструкцій і які їх властивості?

ДОДАТОК А. Приклади креслень КМД

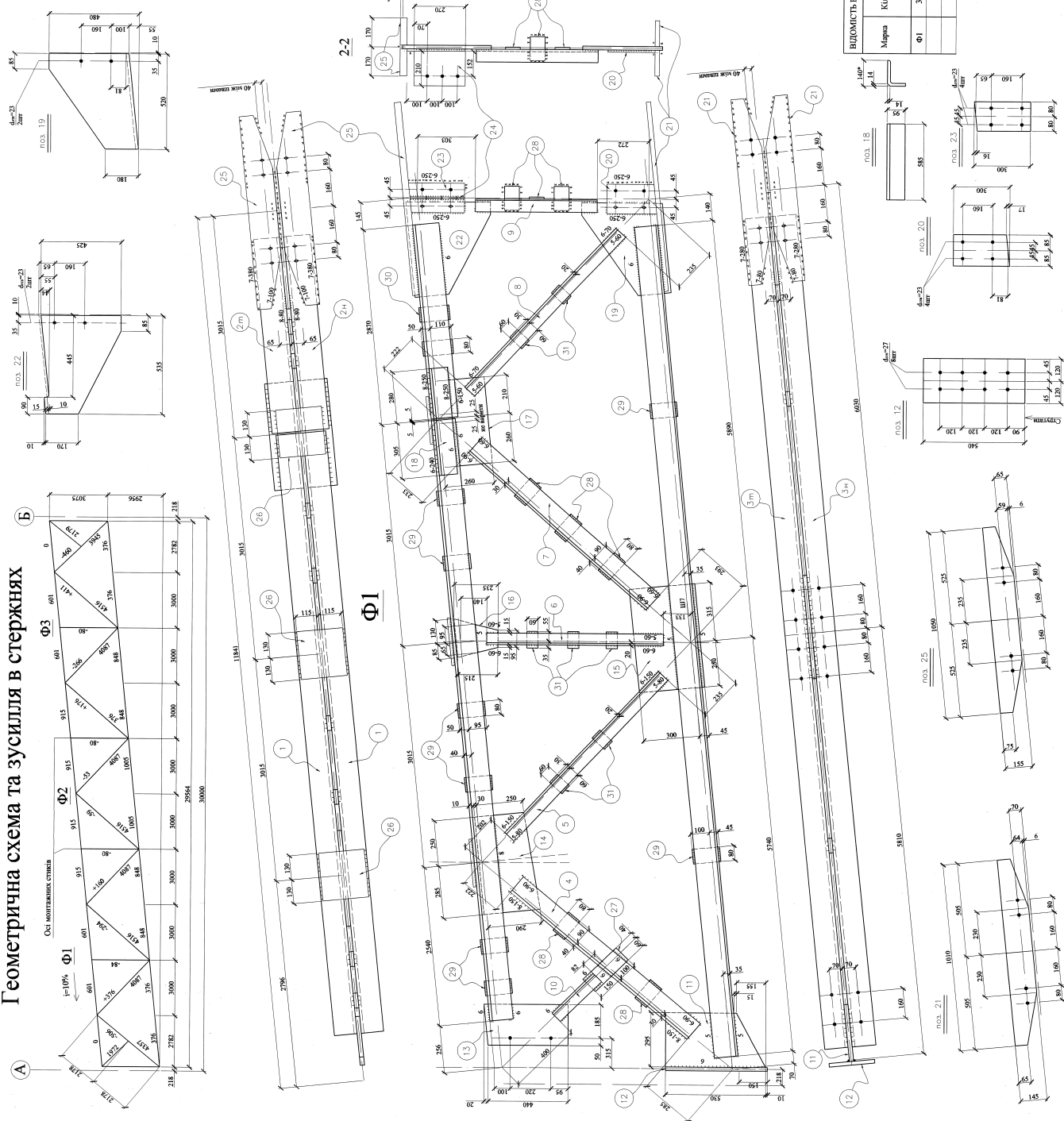
Умовні позначення на робочих кресленнях металоконструкцій

Найменування	Позначання
Отвір:	
кругле	
овальне	
з різьбленням	
Заклепка з нормальною головкою	
Болт (грубої та нормальної точності): заводський	
монтажний	
болт високоміцний	
Зварний кутовий шов (видимий та невидимий): заводський монтажний	
Зварений кутовий уривчастий шов (видимий та невидимий): заводський монтажний	
Зварний стиковий шов (видимий та невидимий): заводський монтажний	
Катет та довжина кутового шва	
Зварний кутовий уривчастий шов (заводський та монтажний) із зазначенням катета, довжини та проміжку між ділянками шва 100 мм	

Умовні позначення на робочих кресленнях металоконструкцій

Найменування	Позначання
Шов зварний стиковий з обробкою кромки: V-подібної (5=8 мм) К-подібної (5 = 20 мм) Х-подібної	
Стиковий зварний шов без обробки кромки (5 < 8 мм): при зварюванні з одного боку при зварюванні з двох сторін	
Вісь симетрії	
Відмітки Допуски розмірів підвищеної точності	
Фрезерування, стружка (глибина оброблення 3 мм)	
Сталь: квадратна кругла (діаметр 20 мм) Труба кругла (зовнішній діаметр 180мм, товщина 6мм) Труба прямокутна (зі сторонами 80 і 60мм, товщина 4мм) Сталь листова гладка (ширина 600 мм, товщина 4 мм) Сталь листова рифлена	
Сталь просічно-витяжна (товщина заготовки 5 мм, ве- личина подачі 8 мм, ширина листа 600 мм)	
Куток: нерівнобокий (нерівнополичний) рівнобокий (рівнополичний)	
Балка двотаврова	
Швелер (номер профілю 30)	
Сталь холодногнута кутова рівнополична	
Рейка (залізничний і крановий)	

Геометрична схема та зусилля в стержнях



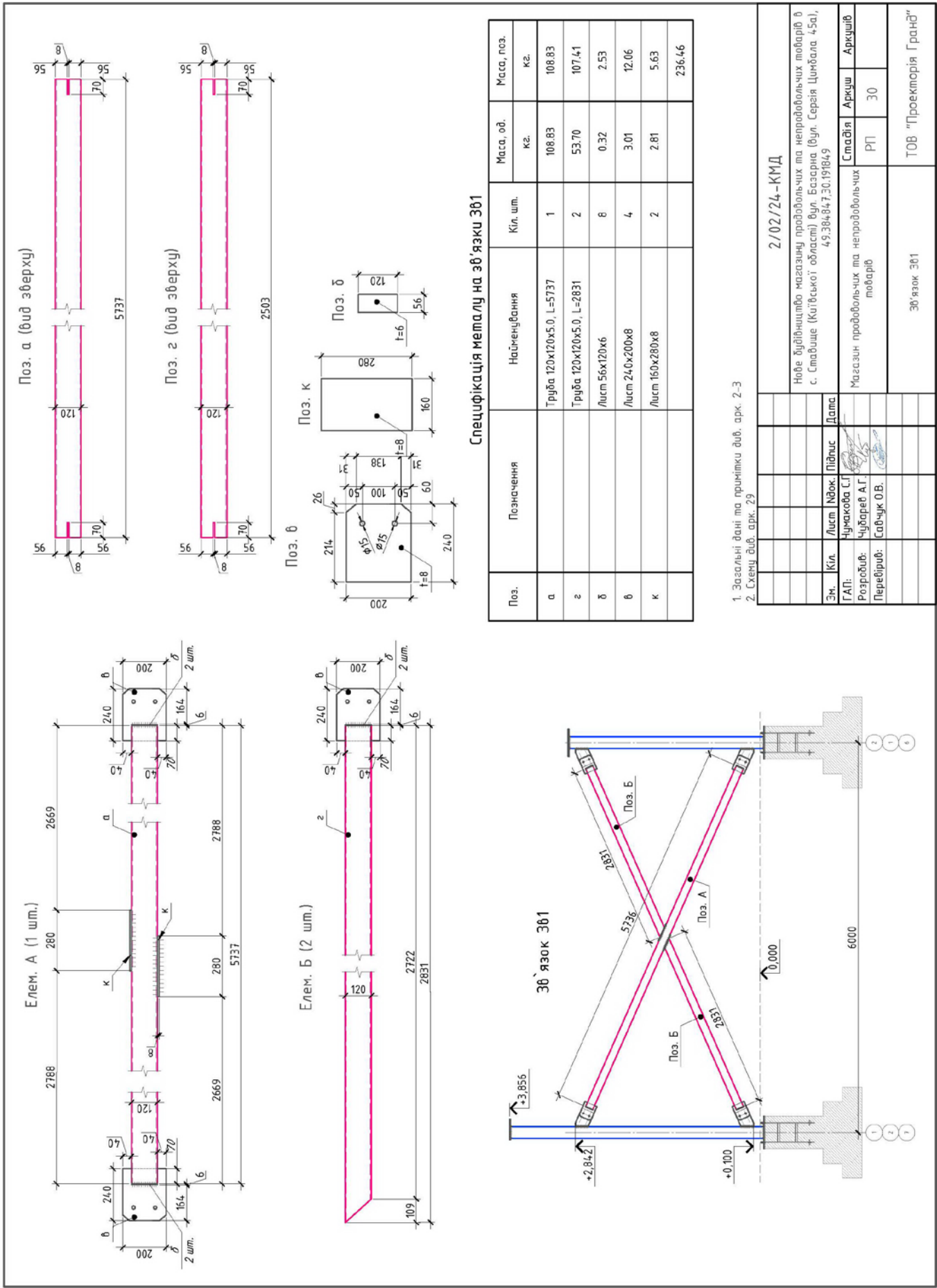
СПЕЦИФІКАЦІЯ СТАЛІ

[illegible]

- [illegible]

ВІДОМІСТЬ ВІДПРАВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ				ЗАВОДСЬКА ВІАРІШКА					
Марка	Клас		Мас ш.	Марка	Клас	Товщ. листу	Довжина міжуш.	Тип свердлов	Примітка
	марган	асп							
Ф1	30	1474	44220	Ф1	30	5	15,52	405,6	Сп-08Т.2С
						6	9,05	270,9	Сп-08Т.2С
						8	2,8	79,2	Сп-08Т.2С
						6	2,64	79,2	Сп-08Т.2С

[illegible]



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі Зміною № 1. На заміну ДСТУ Б В.2.6-194:2013 та ДБН В.2.6-163:2010 ; чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 199 с.
2. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT). Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 27 с.
3. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT). Зі Змінами. Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 106 с.
4. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів (EN 1993-1-3:2006, IDT). З поправкою. Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 220 с.
5. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-4. Загальні положення. Додаткові правила для нержавіючої сталі (EN 1993-1-4:2006/A2:2020, IDT). Зміна № 3:2022. Чинний від 2022-12-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
6. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи (EN 1993-1-5:2005, IDT). Проект. Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2013. 97 с.
7. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонок (EN 1993-1-6:2007, IDT). Чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 146 с.
8. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-7:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-7. Пластинчасті конструкції при навантаженні поза межами площини (EN 1993-1-7:2007, IDT). Зміна № 1. Проект, остаточна редакція. Чинний від 2014-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 26 с.
9. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій.

- Частина 1-8. Проектування з'єднань (EN 1993-1-8:2005, IDT). Чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 203 с.
10. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-9:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-9. Витривалість (EN 1993-1-9:2005, IDT). Зміна № 1. Чинний від 2014-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 84 с.
11. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-10:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-10. Властивості тріщиностійкості і міцності матеріалу у напрямі товщини прокату (EN 1993-1-10:2005, IDT). Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013.
12. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-11:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-11. Проектування конструкцій з розтягнутими елементами (EN 1993-1-11:2006, IDT). Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 62 с.
13. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-12:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-12. Додаткові правила до EN 1993 для сталей класів не вище S 700 (EN 1993-1-12:2007, IDT). Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 26 с.
14. ДСТУ-Н Б EN 1993-2:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 2. Сталеві мости (EN 1993-2:2006, IDT). Проект. Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013.
15. ДСТУ-Н Б EN 1993-3-1:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 3-1. Башти, щогли і димові труби. Башти і щогли (EN 1993-3-1:2006, IDT). Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013.
16. ДСТУ-Н Б EN 1993-3-2:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 3-2. Башти, щогли і димові труби. Димові труби (EN 1993-3-2:2007, IDT). Проект. Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013.
17. ДСТУ Н Б EN 1993-4-1:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-1. Силоси (EN 1993-4-1:2007/A1:2017, IDT). Зміна № 2:2019. Чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2021.
18. ДСТУ-Н Б EN 1993-4-2:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій.

Частина 4-2. Резервуари (EN 1993-4-2:2007, IDT). Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2013.

19. ДСТУ-Н Б EN 1993-4-3:2012. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-3. Трубопроводи (EN 1993-4-3:2007, IDT). Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013.

20. ДСТУ EN ISO 12944-2:2022. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 2. Класифікація середовищ (EN ISO 12944-2:2017, IDT; ISO 12944-2:2017, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.

21. ДСТУ EN ISO 14731:2019. Координація зварювальних робіт. Завдання та функції (EN ISO 14731:2019, IDT; ISO 14731:2019, IDT). Чинний від 2019-11-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.

22. ДСТУ EN 10025-1:2007. Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 1. Загальні технічні умови постачання (EN 10025-1:2004, IDT). На заміну ДСТУ EN 10025:2005 ; чинний від 2024-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 29 с.

23. ДСТУ EN 10025-2:2022. Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей (EN 10025-2:2019, IDT). На заміну ДСТУ EN 10025-2:2007 ; чинний від 2023-09-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 39 с.

24. ДСТУ EN 10025-3:2022. Гарячекатані вироби з конструкційних сталей. Частина 3. Технічні умови постачання нормалізованого/нормалізованого прокату зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей (EN 10025-3:2019, IDT). На заміну ДСТУ EN 10025-3:2007 ; чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.

25. ДСТУ EN 10210-1:2009. Профілі порожнисті гарячого оброблення з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 1. Технічні умови постачання (EN 10210-1:2006, IDT). На заміну ДСТУ EN 10210-1:2006 (EN 10210-1:1994, IDT) ; чинний від 2011-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 42 с.

26. ДСТУ EN 10210-2:2009. Профілі порожнисті гарячого оброблення з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 2. Розміри, граничні відхилення та характеристики (EN 10210-2:2006, IDT). На заміну ДСТУ EN 10210-2:2006 ; чинний від 2011-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 34 с.
27. ДСТУ EN 10219-1:2009. Профілі порожнисті зварні холодного формування з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 1. Технічні умови постачання (EN 10219-1:2006, IDT). На заміну ДСТУ EN 10219-1:2006 (EN 10219-1:1997, IDT) ; чинний від 2011-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2011. 67 с.
28. ДСТУ EN 10219-2:2009. Профілі порожнисті зварні холодного формування з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 2. Розміри, граничні відхилення та характеристики (EN 10219-2:2006, IDT). На заміну ДСТУ EN 10219-2:2006 (EN 10219-2:1997, IDT) ; чинний від 2011-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2011. 34 с.
29. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT). На заміну ДСТУ ISO 5817:2016 (ISO 5817:2014, IDT) ; чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 33 с.
30. ДСТУ EN ISO 15614-1:2019. Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 1. Дугове та газове зварювання сталей і дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів (EN ISO 15614-1:2017, IDT; ISO 15614-1:2017, Corrected version 2017-10-01, IDT). Чинний від 2019-11-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
31. ДСТУ EN 1011-1:2022. Зварювання. Рекомендації щодо зварювання металевих матеріалів. Частина 1. Загальні правила щодо дугового зварювання (EN 1011-1:2009, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
32. ДСТУ EN 1011-2:2022. Зварювання. Рекомендації щодо зварювання металевих матеріалів. Частина 2. Дугове зварювання феритних сталей (EN 1011-2:2001,

IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.

33. ДСТУ EN 1011-3:2022. Зварювання. Рекомендації щодо зварювання металевих матеріалів. Частина 3. Дугове зварювання нержавіжних сталей (EN 1011-3:2018, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
34. EN 10130:2006. Cold rolled low carbon steel flat products for cold forming. Technical delivery conditions. Effective from 2006-12-06. Official edition. Brussels : CEN, 2006. 24 p.
35. EN 10131:2006. Cold rolled uncoated and zinc or zinc-nickel electrolytically coated low carbon and high yield strength steel flat products for cold forming. Tolerances on dimensions and shape. Effective from 2006-07-12. Official edition. Brussels : CEN, 2006. 20 p.
36. ДСТУ EN 10051:2022. Неперервно гарячекатана смуга та плита/лист, вирізані з широкої смуги нелегованої та легованої сталі. Допуски на розміри та форму (EN 10051:2010, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
37. EN 10143:2006. Continuously hot-dip coated steel sheet and strip. Tolerances on dimensions and shape. Effective from 2006-06-28. Official edition. Brussels : CEN, 2006. 18 p.
38. ДСТУ EN 10365:2022. Швелери сталеві гарячекатані І та Н перерізів. Розміри та маси (EN 10365:2017, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 24 с.
39. ДСТУ EN 14399-4:2024. Болтові комплекти конструкційні високоміцні для попереднього натягу. Частина 4. Система HV. Болти та гайки шестигранні (EN 14399-4:2015, IDT). На заміну ДСТУ EN 14399-4:2022 (EN 14399-4:2015, IDT) ; чинний від 2025-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2025. 35 с.
40. ДСТУ ISO 898-1:2015. Механічні властивості кріпильних виробів із вуглецевої сталі й легованої сталі. Частина 1. Болти, гвинти та шпильки. Механічні властивості та методи випробування (ISO 898-1:2013, IDT). Чинний від 2016-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 64 с.
41. ДСТУ EN ISO 4032:2022. Гайки шестигранні стандартні (тип 1). Класи виробу

А і В (EN ISO 4032:2012, IDT; ISO 4032:2012, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.

42. ДСТУ EN 14399-2:2024. Болтові комплекти конструкційні високоміцні для попереднього натягу. Частина 2. Придатність для попереднього натягу (EN 14399-2:2015, IDT). На заміну ДСТУ EN 14399-2:2022 (EN 14399-2:2015, IDT) ; чинний від 2025-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2025. 35 с.
43. ДСТУ EN ISO 7089:2022. Шайби плоскі. Нормальна серія. Клас виробу А (EN ISO 7089:2000, IDT; ISO 7089:2000, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
44. ДСТУ EN ISO 7090:2022. Плоскі шайби з фаскою. Нормальна серія. Клас виробу А (EN ISO 7090:2000, IDT; ISO 7090:2000, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
45. ДСТУ EN 14399-3:2024. Болтові комплекти конструкційні високоміцні для попереднього натягу. Частина 3. Система HR. Болти та гайки шестигранні (EN 14399-3:2015, IDT). На заміну ДСТУ EN 14399-3:2022 (EN 14399-3:2015, IDT) ; чинний від 2025-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2025. 43 с.
46. ДСТУ ISO 12944-5:2020. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 5. Захисні лакофарбові системи (ISO 12944-5:2019, IDT). На заміну ДСТУ ISO 12944-5:2019 (ISO 12944-5:2018, IDT) ; чинний від 2021-11-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 29 с.
47. ДСТУ Б В.2.6-199:2014. Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення. На заміну ДБН В.2.6-163:2010 частина 2 ; чинний від 2015-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2015. 36 с.
48. ДСТУ Б В.2.6-200:2014. Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу. На заміну Розділ 3 ДБН В.2.6-163:2010 ; чинний від 2015-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2015. 52 с.
49. ДСТУ EN ISO 8501-1:2022. Готування сталевих поверхонь перед нанесенням фарб і подібної продукції. Візуальне оцінювання чистоти поверхні. Частина 1. Ступені іржавіння та ступені підготовки непофарбованих сталевих поверхонь і

сталевих поверхонь після повного видалення попереднього покриття (EN ISO 8501-1:2007, IDT; ISO 8501-1:2007, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 21 с.

50. Lyons A. *Modern Methods of Construction and Innovative Materials*. London : Routledge, Taylor & Francis, 2024. 382 p. ISBN 978-1-0324-1482-9.
51. Bayliss D. A., Deacon D. H. *Steelwork Corrosion Control*. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2019. 432 p. ISBN 978-0-367-87159-8.
52. Мартинюк А. В. Технології та обладнання для виготовлення металевих конструкцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 280 с.
53. Ситник В. І. Технологія виготовлення металевих конструкцій : навч. посіб. Київ : Видавничий дім "Кондор", 2021. 320 с.
54. Пасічник О. П., Кравченко І. В. Металеві конструкції будівель і споруд: теорія і практика. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2019. 408 с.
55. Петров І. М. Основи технології зварювання та виготовлення металоконструкцій. Одеса : ОНУ ім. І. І. Мечникова, 2019. 240 с.
56. Al-Bakri A. M. M., Yahya Z., Mohd Salleh M. A. A. *Innovative Materials and Technologies* / ed. by M. A. A. Mohd Salleh. Zurich : Trans Tech Publications, 2016. 242 p.
57. Narayanan R. *Steel Structures: Practical Design Studies*. Boca Raton : CRC Press, 2020. 480 p.
58. Buchan R. J. D. *Fabrication and Welding Engineering*. Sawston : Woodhead Publishing, 2018. 560 p.
59. Harris M. R. *Structural Steel Fabrication: Techniques and Procedures*. Amsterdam : Elsevier, 2019. 410 p.
60. Jones N. *Modern Steel Construction: Theory and Practice*. Hoboken : Wiley, 2022. 450 p.
61. Europe Architectural Coatings Market, Outlook and Forecast 2025-2032. *Global Chemical Market Reports & Insights*. 24Chemical Research. URL: <https://www.24chemicalresearch.com/reports/296381/europe-architectural-coatings-market> (date of access: 03.03.2025).

Навчальне видання

*Радкевич Анатолій Валентинович, Давидов Ігор Ігорович,
Ковтун-Горбачова Тетяна Анатоліївна*

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Навчально-практичний посібник

Електронне видання

Відповідальний редактор Т. А. Ковтун-Горбачова
Комп'ютерна верстка І. І. Давидов
Дизайн обкладинки І. І. Давидов

Експертний висновок склав д-р техн. наук, проф. Світлана Шехоркіна

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 64/4 від 14.10.2025)

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 12,13. Обл.-вид. арк. 12,25.
Зам. № 120.

Видавець: Український державний університет науки і технологій.
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022