

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ю.А.Гасило

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
«ЗВАРНІ КОНСТРУКЦІЇ»
для студентів усіх форм навчання
напряму 6.050504 «Зварювання»

Затверджено редакційно-видавничою секцією
науково-методичної ради ДДТУ
«__» _____ 2017 р. протокол № _____

Кам'янське
2017

Конспект лекцій з дисципліни «Зварні конструкції» для студентів напрямку 6.050504 «Зварювання»/ Укладач Ю.А.Гасило. – Кам'янське: ДДТУ 2016 - с.

Укладач: Ю.А.Гасило, канд. техн. наук, доцент
Відповідальній за випуск: зав. кафедрою ТУЗ: докт. техн. наук,
професор Камель Г.І.
Рецензент: завідувач кафедри ТМ, проф., д.т.н. Бельмас І.В.

Затверджено на засіданні кафедри ТУЗ, протокол №__ від ____ 2016 р.

Метою викладання дисципліни «Зварні конструкції» є вивчення широкого кола теоретичних і практичних питань для вдосконалення технології виробництва зварних та паяних конструкцій на основі останніх досягнень науки і техніки. Окрім того, для набуття студентами навичків використання нових матеріалів і методів розрахунку міцності зварних конструкцій, що є одним з основних завдань капітального будівництва.

Матеріал викладено з наведенням конкретних розрахунків зварних конструкцій, що сприяє спеціальній підготовці у вирішеннях задач проектно-конструкторської діяльності фахівця.

ЗМІСТ

Стор.

1	КЛАСИФІКАЦІЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ОСОБЛИВОСТІ ОКРЕМИХ ТИПІВ.....	
1.1	Принципи класифікації.....	
1.2	Балки і колони.....	
1.3	Балкові і гратчасті конструкції.....	
1.4	Оболонкові конструкції.....	
1.5	Корпусні транспортні конструкції.....	
2	СОРТАМЕНТ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	
2.1	Деталі машин і приладів.....	
3	ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ І АВТОМАТИЗАЦІЇ ЇХ ВИРОБНИЦТВА.....	
3.1	Раціональне проектування і технологічність зварних конструкцій...	
3.2	Технологія виготовлення і автоматизація виробництва зварних конструкцій.....	
3.3	Зварні з'єднання, виконані дуговим зварюванням.....	
3.4	Зварні з'єднання, виконані контактним зварюванням.....	
3.5	З'єднання при спеціальних методах зварювання	
4	РОЗРАХУНКИ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	
4.1	Приклади розрахунку.....	
5	З'ЄДНАННЯ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПЛАСТМАС.....	
5.1	Зварювання гарячим повітрям.....	
5.2	Зварювання нагрівальним елементом.....	
5.3	Зварювання струмами високої частоти.....	
5.4	Зварювання тертям.....	
5.5	Зварювання ультразвуком.....	
6	БОЛТОВІ З'ЄДНАННЯ.....	
7	КЛЕЄНОЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ.....	
8	ПАЯНІ З'ЄДНАННЯ.....	
9	ПОЗНАЧЕННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ НА КРЕСЛЕННЯХ.....	
10	З'ЄДНАННЯ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ВИГІН І СКЛАДНИЙ ОПІР.....	
	ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ.....	

1 КЛАСИФІКАЦІЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ОСОБЛИВОСТІ ОКРЕМИХ ТИПІВ

1.1 Принципи класифікації

Виняткова різноманітність зварних конструкцій утрудняє їх єдину класифікацію. Їх можна класифікувати по методу отримання заготовок (листові, литозварні, ковано-зварні, штампозварювальні конструкції), за цільовим призначенням (вагонні, суднові, авіаційні і так далі), залежно від товщини зварюваних елементів (тонкостінні і товстостінні) або по вживаних матеріалах (сталеві, алюмінієві, титанові і так далі) При розгляді питань проектування і виготовлення зварних конструкцій доцільнішою є класифікація залежно від характерних особливостей їх роботи. В цьому випадку можна виділити наступні типи зварних елементів і конструкцій і дати їм відповідні визначення.

Балки - конструктивні елементи, що працюють в основному на поперечний вигин. Жорстко сполучені між собою балки утворюють *рамні конструкції*.

Колонами називають елементи, що працює переважно на стискування або на стискування з подовжнім вигином.

Гратчасті конструкції є системою сполучених у вузлах таким чином, що стрижні випробовують головним чином розтягування або стискування. До них відносяться *ферми, щогли, арматурні сітки і каркаси*.

Оболонкові конструкції, як правило, випробовують надмірний тиск - до них пред'являють вимогу герметичності з'єднань. До цього типу відносять різні *ємкості, судини і трубопроводи*.

Корпусні транспортні конструкції піддаються завантаженням. До них пред'являють вимоги високою жест кістки при мінімальній масі. Основне конструкції даного типу - *корпуси судів, вагонів, кузова автомобілів*.

Деталі машин і приладів працюють переважно при змінних, завантаженнях, що багато разів повторюються. Характерною для них є вимога точних розмірів, що забезпечується головним чином механічною обробкою заготовок готових деталей. Прикладами таких виробів є *станини, вали, колеса*.

Відповідно до такої класифікації розглянемо конструктивні особливості кожного типу детальніше.

1.2 Балки і колони

Типи поперечних перетинів і розміри зварних балок вельми різноманітні. Якщо навантаження прикладене у вертикальній площині, найчастіше використовують балки *двотаврового перетину*. При додатку навантаження у вертикальній і горизонтальній площині, а також при дії моменту, що крутить, доцільніше використання *коробчатого перетину*.

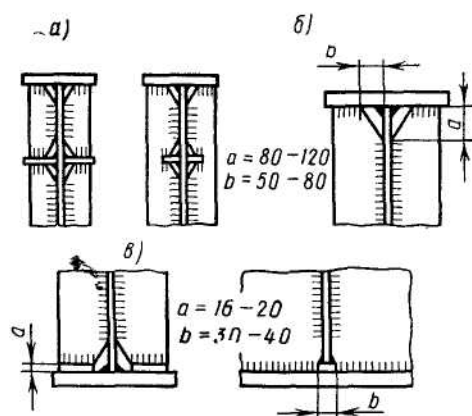


Рисунок 1. 1 - Конструктивне оформлення ребер жорсткості двотаврових балок

а - перетин вертикальних і горизонтальних ребер жорсткості; б - кріплення вертикальних ребер жорсткості до верхнього поясу; в - кріплення вертикальних ребер жорсткості до нижнього поясу.

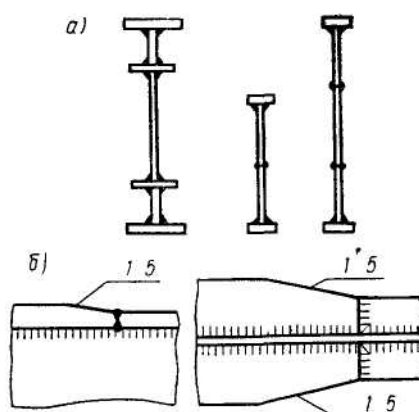


Рисунок 1.2 - Конструктивне оформлення двотаврових балок великих розмірів

а - з складеною стінкою; б - з полицею змінного перетину

Зазвичай зварний двотавр складається з трьох основних листових елементів : *стінки і двох полиць (поясів)*, але може мати вертикальні і горизонтальні *ребра жорсткості* (рис.1.1). При великих розмірах двотаврової балки її *стінка* (рис.1.2,а) і *пояси* (рис.1.2,б) можуть бути складеними. Такі балки знайшли застосування при споруді пролітних будов автодорожніх мостів. Сійкість вертикальної стінки забезпечується вертикальними і горизонталь-

ними ребрами жест кістки, перетин змінюється за сет зміни ширини і товщини поясів.

Пуск в 1978 р. Першого в СРСР цеху прокатних *широкополічкових* двутавров розширює можливості раціонального проектування зварних балочних і гратчастих конструкцій. Типові конструкції підкранових балок з тонкою стінкою і поясами з тавров, отриманих роспском широкополочных двутавров, показані на рис.1.3. Зварні балки прольотом 6м і висотою 800-1300 мм передбачається виготовляти з розширеними верхніми поясами під крани вантажопідйомністю 10-20т без ребер жорсткості і під крани 30-50 т з ребрами жорсткості. Балки прольотом 12 м і заввишки 1100-1600 мм передбачаються з поясами однакової ширини і з ребрами жорсткості.

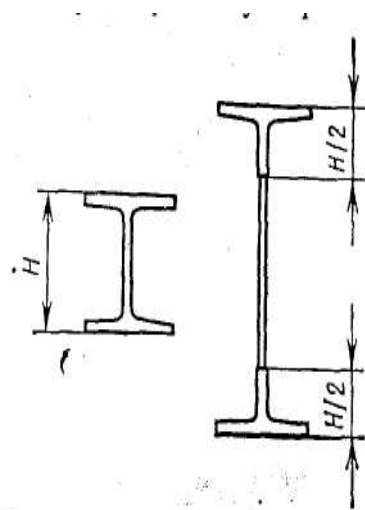


Рисунок 1.3 - Складені підкранові балки з використанням широкополічкових двутаврів

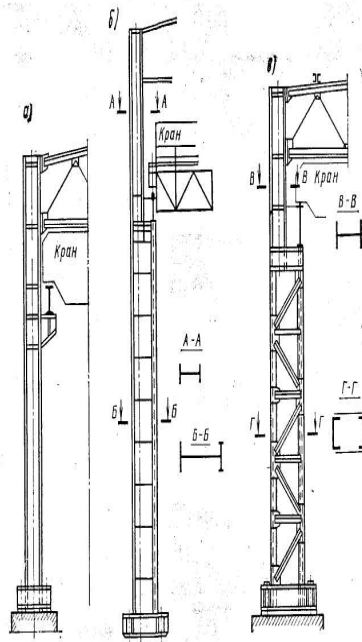


Рисунок 1.4 - Приклади колон постійного (а) і змінного (б, в) перетинів:
а, б - суцільні; в - крізна

Балки коробчатого перетину широко використовують в конструкціях мостових кранів. Зазвичай уздовж балки розташовують поперечні *діафрагми*, які приварюють до стислого верхнього поясу і до бічних стінок. Зварні елементи коробчатого перетину використовують також в якості стрижнем ферм крупних мостових пролітних будов. У конструкціях ферм авто- і залізничних мостів застосовують *уніфіковані зварні коробчаті елементи* шириною 526 і за вишки 450, 600 і 800 мм, завдовжки до 17 м. На відміну від балок ці елементи діафрагм не мають.

Колони можуть бути *суцільні* (рис.1,4,а, б) і *крізна* (рис.1.4, в).

Колони цехів сприймають навантаження від кривлі і від моста крана в місцях розташування опор підкранових балок. Різке збільшення нормальної сили і моменту, що вигинає, в цьому перетині нерідко приводить до необхідності використання ступінчастих колон (рис.1,4,б,в). Нижня частина колон має опорну плиту, передавальну навантаження на бетонний фундамент.

1.3 Балкові і гратчасті конструкції

Рами є об'ємною просторовою конструкцією, призначеною для об'єднання окремих деталей і механізмів в єдиний агрегат. Одна з головних вимог, що пред'являється до рам, - жорсткість конструкції. Тому входні до складу зварної рами балочні заготовки сполучають один з одним або безпосередньо, або за допомогою допоміжних елементів жорсткості. Розміри рам і їх конструкції

тивне оформлення вельми різноманітні, різні і методи отримання балочних заготовок. Так, рами клітей великих прокатних станів збирають і зварюють з балочних заготовок у вигляді масивних сталевих відливків (рис.1.5). У рамах візків залізничного рухомого складу нерідко також найбільш складні елементи виконують у вигляді сталевих відливків з відносно тонкими стінками. Прикладом цьому може служити рама візка електровоза ВЛ (рис.1.6), що складається з боковин 1, литого шкворневого бруса 2 і двох кінцевих брусів 3, де боковинами і кінцевими брусами є зварні балки коробчатого перетину. Крупніші рами зазвичай збирають з профільних і листових елементів, підкріплюючи їх в багатьох місцях ребрами жорсткості.

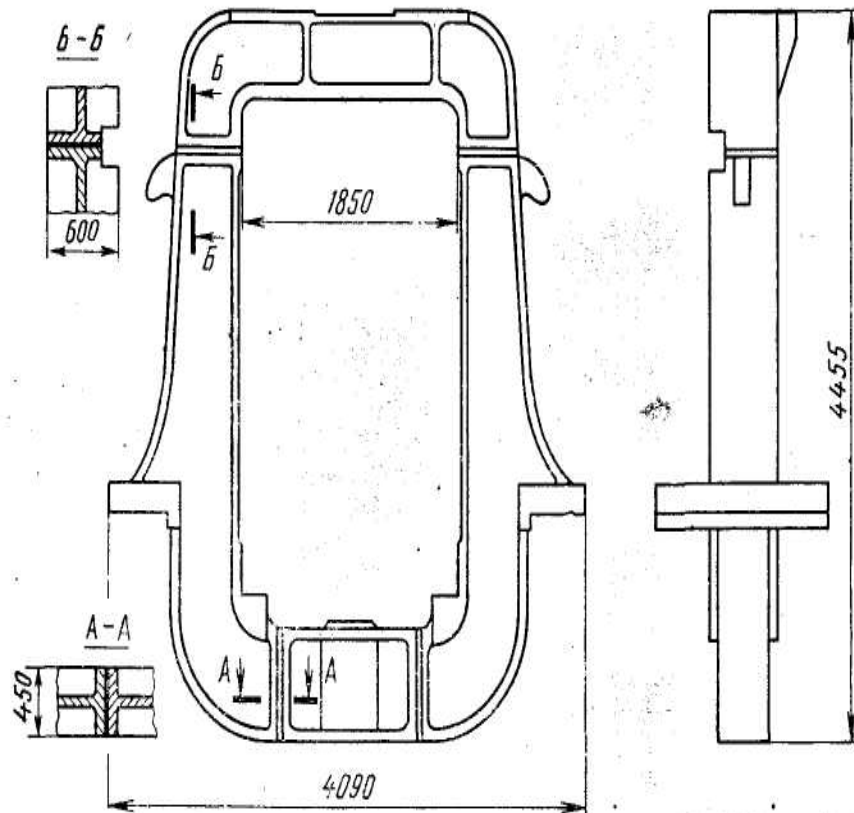


Рисунок 1.5 - Рама вертикальної кліті

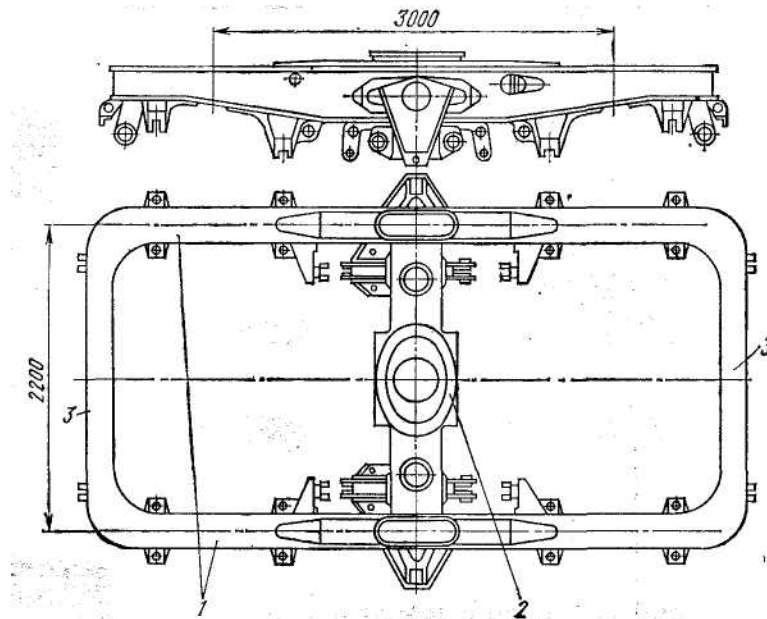


Рисунок 1.6 - Рама двовісного візка електровоза

Загальною для ґратчастих конструкцій є наявність у вузлах з'єднань декількох окремих стрижнів того або іншого перетину.

Ферми, як і балки, працюють на поперечний вигин. Конструктивні форми балок простіші, проте при достатньо великих прольотах застосування ферм виявляється економічнішим. Характерні схеми ґрат ферм показані на рис.1.7. Трикутна (а) і розкісна (б) схеми є основними. Ферми, що сприймають навантаження по верхньому або нижньому поясу, з метою зменшення довжини панелі виготовляють по схемах, зображених на рис.1.7, в, г. Іноді застосовують безраскосные ферми з жорсткими вузлами (рис.1.7д). По контуру поясів ферми можуть бути паралельними поясами або з поясами, утвореними ламаною лінією (рис.1.7,е). За призначенням ферми розділяють на *кроквяних і мостових*.

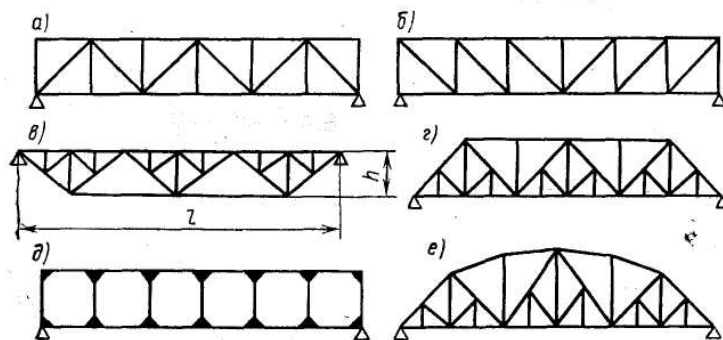


Рис. 12.7. Схеми решеток ферм

Рисунок 1.7 - Схеми ґрат ферм

Кроквяні ферми працюють при статичному навантаженні. Як стрижні використовують головним чином прокатні і значно рідше гнуті замкнуті зварні профілі і труби.

У загальному обсязі виробництва ферми з парних прокатних куточків складають близько 90%. Стрижні у вузлах сполучають або безпосередньо, або за допомогою допоміжних елементів головним чином дуговою зваркою. Перспективне застосування точкової контактної зварки. Із-за статичного характеру вантаження кроквяних ферм чутливість до концентрації напруги в точкових з'єднаннях мала; в той же час контактна зварка забезпечує значне підвищення продуктивності складально-зварювальних робіт.

Мостові ферми працюють при змінних навантаженнях і нерідко при низьких кліматичних температурах, що визначає високу чутливість їх зварних з'єднань до концентрації напруги. Тому в процесі проектування і виготовлення зварних мостових пролітних будов особливу увагу приділяють запобіганню і усуненню концентрації напруги в зварних з'єднаннях і вузлах.

Гратчасті пролітні будови з їздою низом застосовують головним чином для залізничних мостів. Для автодорожніх мостів характерніше використання сталевих і сталебетонних сплошностінчастих пролітних будов з їздою зверху.

Просторові гратчасті конструкції баштового типу (радіощогли, радіобашти, бурові вежі і так далі) унаслідок великої висоти піддаються значним вітровим навантаженням, тому їх виготовляють переважно з трубчастих елементів. Оскільки розміри цих конструкцій перевищують габарит залізничного рухомого складу, їх вмонтовують із зварених на заводі секцій. Основні стійки башти розташовуються по кутах граней секцій і є поясами плоских ферм. Стійки складаються з окремих труб стандартної довжини і через приварені до їх торців фланці з'єднуються між собою болтами.

У особливо скрутних умовах працюють бутові вежі для здобичі нафти і газу у відкритому морі на глибинах порядку 150-200м. Окрім вітрової вони випробовують значні навантаження від ударів хвиль. Тому в цих конструкціях використовують труби великих діаметрів. Так, опори бурових веж для здобичі нафти в Північному морі на глибинах більш 150м споруджують з труб діаметром до 4270 мм при товщині стінок до 64мм.

Щогли ліній електропередачі також є просторовими гратчастими конструкціями, але для їх виготовлення використовують прокат у вигляді куточків. До гратчастих конструкцій слід віднести і зварні елементи арматури залізобетону: сітки, плоскі і просторові каркаси. Сітки з взаємно перпендикулярних стрижнів круглого або періодичного профілю, що сполучаються контактною зваркою. Можуть бути рулонні (мал. 1.8,а) і плоскі (рис.1.8,б). Їх призначення - армування плит перекриттів, перегородок, покриття дорогий, аеродромів, каналів і інших елементів конструкцій і споруд. Типи зварних каркасів різноманітні. Плоскі каркаси використовують в балочних перекриттях (рис.12.9), вони складаються з подовжньої арматури (поясів) і сполучних грат у вигляді окремих стрижнів або безперервної змійки. Плоскі каркаси, як

і сітки, зварюють на точкових контактних машинах. Просторові каркаси зазвичай мають поясні подовжні стрижні і сполучні грати або у вигляді окремих стрижнів, що розташовуються по кожній з граней, або у вигляді безперервного дроту, що називається по спіралі.

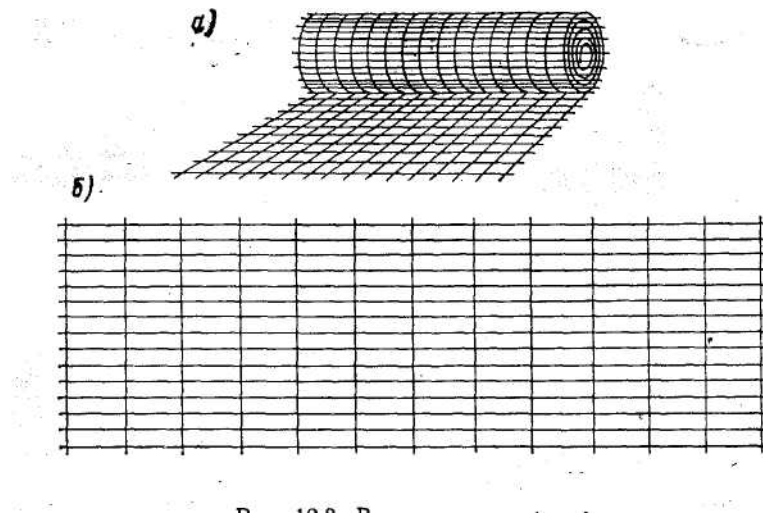


Рисунок 1.8 - Види зварних сіток

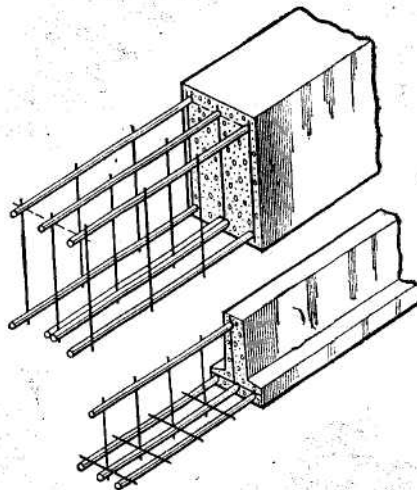


Рисунок 1.9 - Армування балок плоскими зварними каркасами

1.4 Оболонкові конструкції

Конструкції оболонкового типу збирають з листових заготовок і зварюють герметичними швами. Залежно від габаритних розмірів, конструктивного оформлення і характерних особливостей виготовлення і експлуатації оболонкові конструкції можна розділити на ємкості негабаритів і споруди, судини, що працюють під тиском, труби і трубопроводи.

Ємкості і споруди нерідко мають розміри, що набагато перевищують

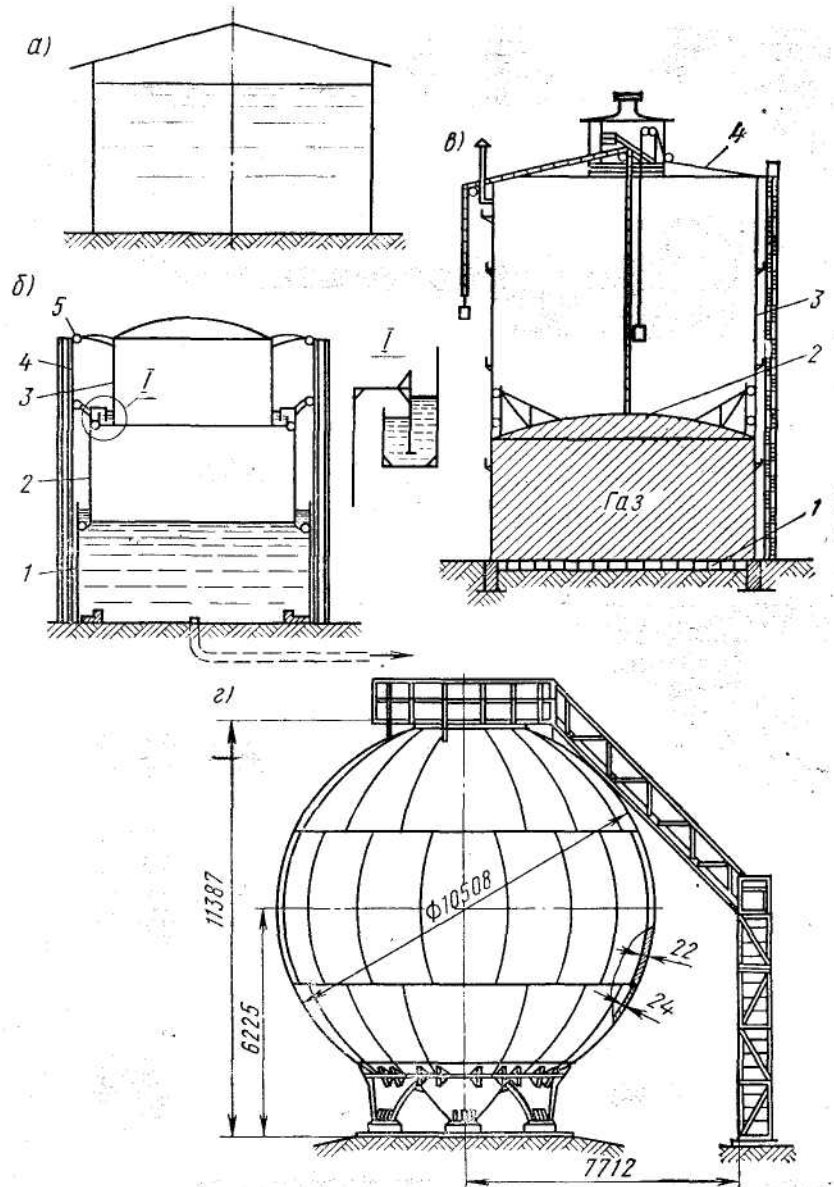


Рисунок 1.10 - ємкості негабаритів:
 а - вертикальний циліндровий резервуар; б - мокрий газгольдер;
 в- сухий газгольдер;

габарит рухомого залізничного складу. Такі вироби доводиться виготовляти на заводі по частинах і відправляти на місце монтажу окремими секціями. Характерні приклади негабаритних ємкостей приведені на рис.1.10.

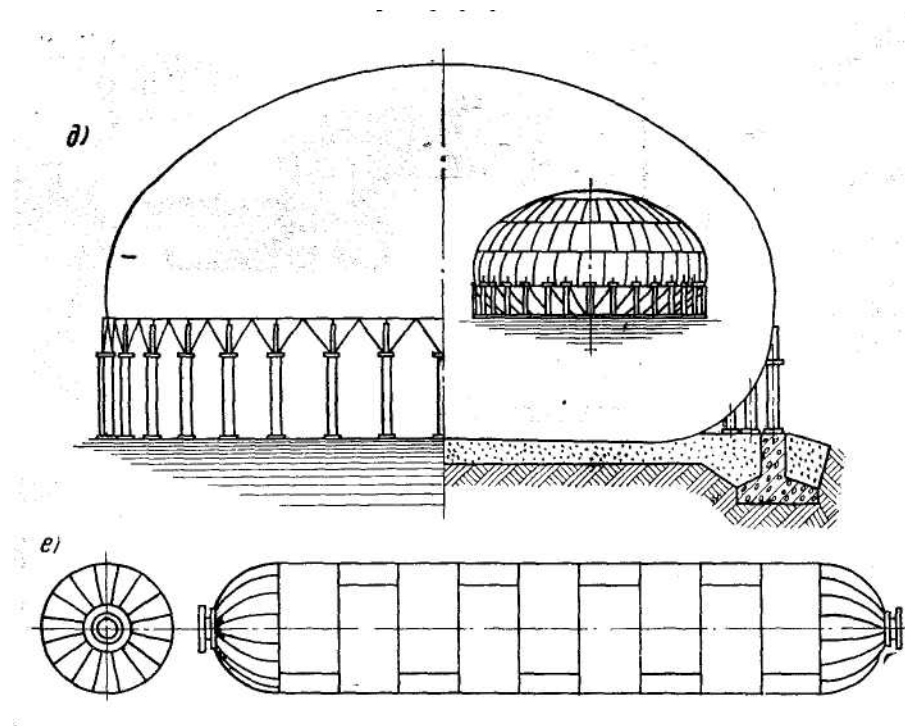


Рисунок 1.10 - Продовження
 д - сферичний резервуар; е - газгольдер постійного об'єму

Вертикальні циліндрові резервуари (рис.1.10,а) найчастіше використовують для зберігання нафтопродуктів. Висота резервуару зазвичай не перевищує 12-18 м. У нашій країні споруджують такі резервуари місткістю до 50000м³, за кордоном - до 200 000м³. У географічних зонах, де відсутнє снігове завантаження, споруджують резервуари з плаваючим дахом.

Мокрий газгольдер (рис.1.10,б) для зберігання вибухонебезпечних або отруйних газів складається з резервуару 1 і коло кола 3 з телескопом 2 або без нього. Переміщення коло кола і телескопа відбувається в тих, що направляють 4, по яких перекочуються ролики 5. Ущільнення в зчленуваннях досягається водяними затворами.

Сухий газгольдер має нерухомий корпус 3 з днищем 1 і дахом 4 і рухомий поршень 2 (рис.1.10,в). Об'єм мокрих газгольдерів досягає 50000м³, а сухих ще більше.

Сферичні газгольдери (рис.1.10,г) призначені для зберігання газів під тиском до 1,8 Мпа. Їх збирають з листових заготовок просторової кривизни і

зварюють стиковими з'єднаннями. У нашій країні типовими є газгольдери місткістю 600 і 2000 м³. Термообробка всієї конструкції після зварки не проводиться, тому товщина стінок не перевищує 36 мм.

Краплевидні резервуари (рис.1.10,д) призначені для зберігання нафтопродуктів під тиском 0,04 -0.06МПа з метою уникнути втрат із-за циркуляції пари в результаті добових змін температури. Проте унаслідок складності отримання листових заготовок змінної кривизни і трудомісткості їх кладання і зварювання краплевидні резервуари не знайшли широкого застосування.

Для зберігання газу під тиском іноді використовують **циліндрові газгольдери** постійного об'єму діаметрів 3,25 м і більш з сферичними днищами (рис.1.10,е). Довжина газгольдера може бути значною, товщина стінок, як і у сферичних резервуарів не більше 40 мм.

До споруд негабаритів відносять, наприклад, споруди доменних комплексів (мал. 1.11,а), що мають висоту 40 м і більше. До них пред'являють вимоги герметичності і міцності. Кожух доменної печі - конструкція, що несе; його збирають з листових елементів завтовшки до 60 мм і зварюють стиковими з'єднаннями. Діаметр кожуха може перевищувати 15 м. **Повітрянагрівачі, пилловловлювачі і скрубери** є циліндрові посудини діаметром 7-11м із сферичними або конічними куполами. Їх зскладають і зварюють стиковими з'єднаннями з листових елементів завтовшки 10-20мм.

Корпус цементної печі (рис.1.11,б) є циліндровою трубою діаметром 45-7м і довжиною 170-230 м.

На корпус насаджують бандажні кільця, якими він спирається на роликові опори. Спіральна камера могутньої гідротурбіни є складною зварною конструкцією великих розмірів (рис.1.11,в). Листові заготовки, що мають змінну просторову кривизну, зварюють стиковими швами. Необхідність обмеження відхилень від проектних розмірів і форми готової камери примушує пред'являти жорсткі вимоги до точності розкрою і монтажу за допомогою зварювання.

Посудини, що працюють під тиском, доцільно розділити на наступні групи: тонколистові, із стінками середньої товщини, товстостінні і багат шарові. При розрахунку на міцність посудину вважають за тонкостінну, якщо товщина його стінки значно менше інших розмірів (у 20 разів і більш). З позицій конструктивного оформлення зварних з'єднань і технології виготовлення посудину вважають за тонкостінну, якщо товщина стінки не перевищує 7-10мм.

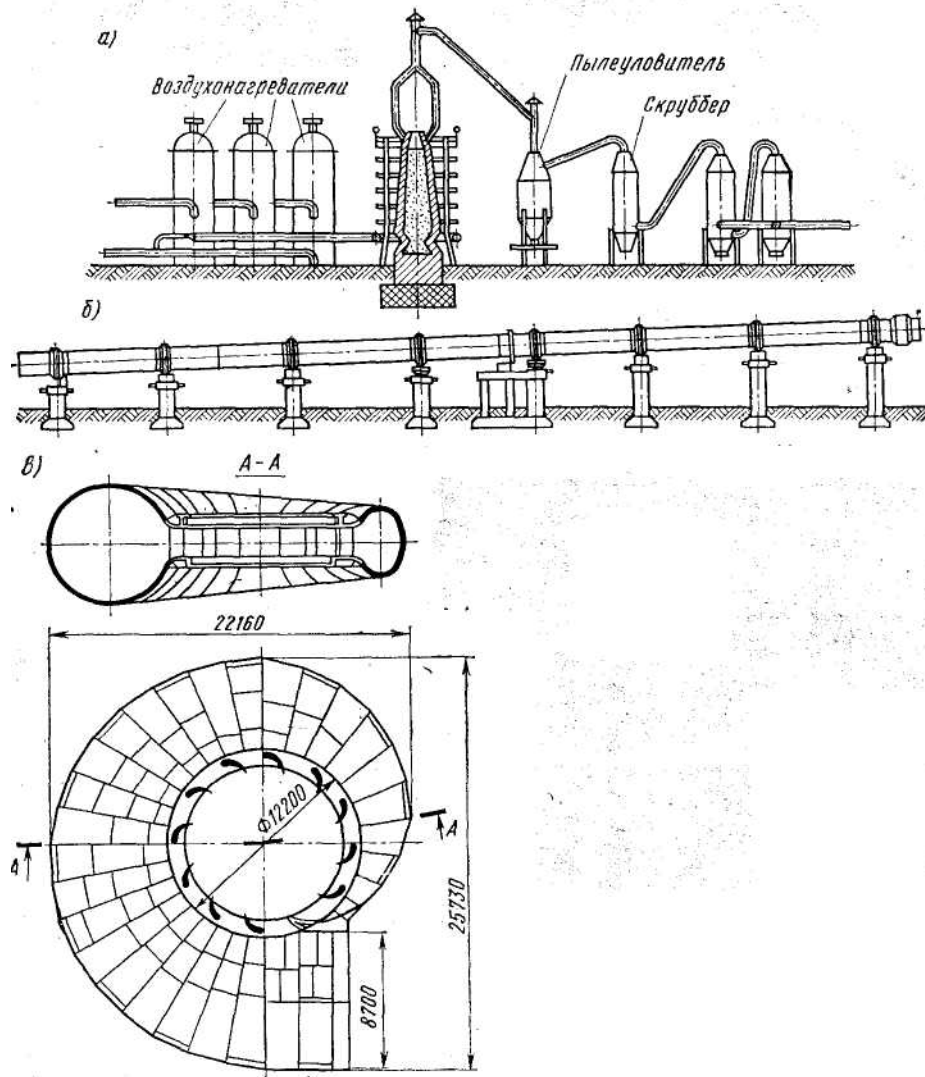


Рисунок 1.11 - Характерні приклади споруд негабаритів оболонкового типу:
 а - конструкції доменного комплексу; б - корпус цементної печі;
 в - спіральна камера гідротурбіни

Тонкостінним посудинам зазвичай надають форму циліндра, сфери або тору (рис.1.12). Вибір форми може визначатися різними міркуваннями.

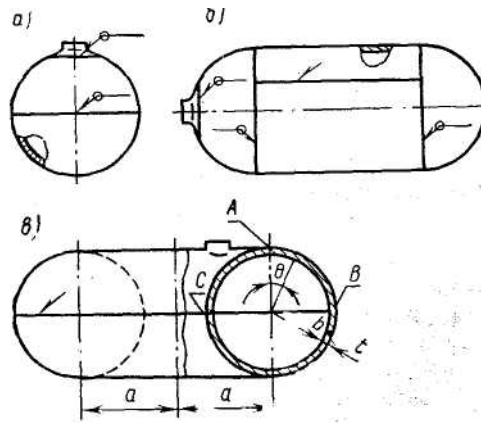


Рисунок 1.12 - Характерні типи судин:
 а - сферичний; б - циліндровий; в - торовий

Сферична посудина при заданій ємкості має мінімальну масу, торовий можна компактно розмістити, наприклад, навколо камери згоряння ЖРД, циліндрова форма посудини забезпечує найбільш технологічне конструктивне оформлення. З'єднання здійснюють подовжніми, кільцевими і круговими швами. Тонкостінні посудини зазвичай є конструктивними елементами різних транспортних установок. У тих випадках, коли не потрібна економія маси, використовують матеріали невисокої міцності, що добре зварюються. Залежно від зварюваності металу і його чутливості до концентрації напружень уявлення про технологічність одного і того ж конструктивного оформлення можуть виявитися різними. Характерна для низковуглецевих сталей хороша зварюваність і мала чутливість до концентрації напружень дозволяють використовувати будь-які типи зварних з'єднань. Тому при використанні таких матеріалів головним завданням ставиться зниження трудомісткості виготовлення виробу. Прикладом цього служать конструкції гальмівних повітряних балонів вантажних автомобілів, що виготовляються в умовах великосерійного і масового виробництва, коли технологічність виробу особливо важлива. Такий балон (рис.1.13,а) має обичайку з гарячекатаної сталі 20кп і два штамповані днища із сталі 08кп товщиною 2,5 мм. До дна дуговим або рельєфним зварюванням приварені бобишки. З'єднання дна з обичайкою нахлисне. Таке рішення полегшує механізацію складання шляхом одночасної запресовки обох днищ в обичайку. Для цього відбортована частина дна надають конічну форму, що забезпечує відцентрування їх щодо обичайки при складанні. Ацетиленовий балон (рис.1.13,б) виконаний з міцнішої низьколегованої сталі 15ХСНДі нахлисні з'єднання при його виготовленні недопустимі. Всі робочі з'єднання - стикові, причому кільцеві шви допускається виконувати на підкладках. При використанні високоміцної сталі 25ХСНВФА ($\sigma_s = 1400 \text{ МПа}$) підкладні кільця у стикових з'єднань вже застосовувати не можна (рис.1.13,в).

Іноді для зниження робочих напружень в зоні зварного з'єднання збільшують товщину металу в місцях розташування швів (рис.1.13,з).

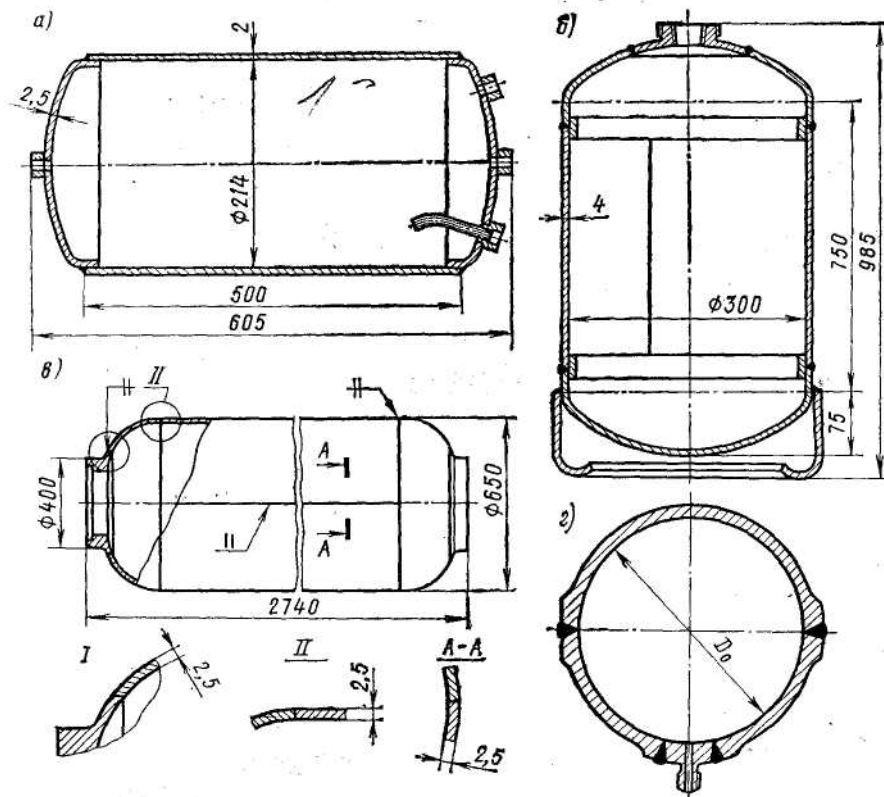


Рисунок 1.13 - Тонкостінні посудини:

a - гальмічний резервуар вантажного автомобіля; *б* - ацетиленовий балон;
в - посудина високого тиску; *з* - куля-балон з титанового сплаву

Посудини із стінками середньої товщини (до 40 мм) широко використовуються в хімічному апаратобудуванні, а також як ємкості для зберігання і транспортування рідин і зріджених газів. Нерідко потрібний захист робочої поверхні апарату від корозійної дії середовища і збереження в'язкості і пластичності матеріалу конструктивних елементів, що несуть, при низькій температурі. Тому використовуювані матеріали вельми різноманітні: вуглецеві і високолеговані сталі, мідь, алюміній, титан і їх сплави. Оскільки для забезпечення необхідного терміну служби апарату досить мати шар корозійностійкого матеріалу завтовшки всього декілька міліметрів, то нерідко використовують двошаровий прокат.

Апаратуру ємкісного типу зазвичай виконують у вигляді циліндрових посудин. При надмірному тиску 0,4-1,6МПа і вище, а також в ємкостях, використовуваних для транспортування рідин, з'єднання листових елементів обичайок і днищ виконують тільки стиковими (рис.1.14).

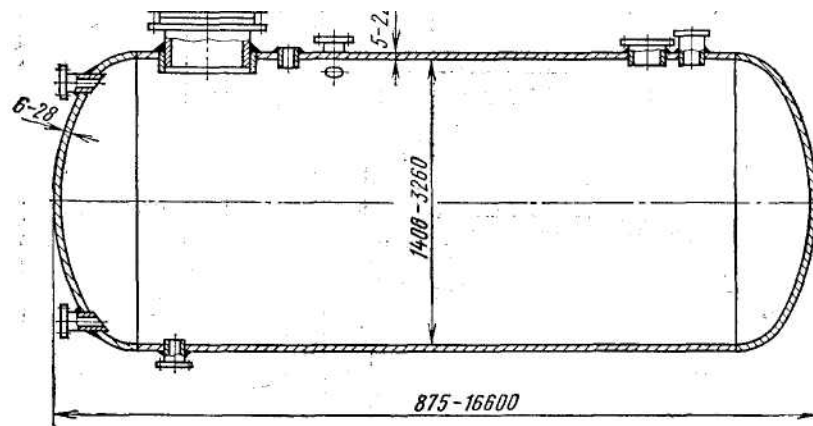


Рисунок 1.14 - Конструкція резервуару з еліптичними відбортованим дном

Прикладом таких посудин служать залізничні цистерни різного призначення. Для перевезення нафтопродуктів випускають цистерни місткістю 60 і 120 т діаметром до 3 м з сферичними або еліпсоїдними днищами; їх виготовляють із сталі ВстЗсп або 09Г2С. При виготовленні цистерн для перевезення кислот застосовують двошарову сталь, алюмінієві сплави, різні захисні покриття.

Посудини для зберігання і транспортування рідких газів виконують двохстінними. Внутрішню посудину цистерни для рідкого азоту (рис.1.15) виконують із сплаву Амц, він кріпиться ланцюгами до зовнішнього, виконаного із сталі 20. Міжстінний простір заповнюють аерогелем і викачують повітря.

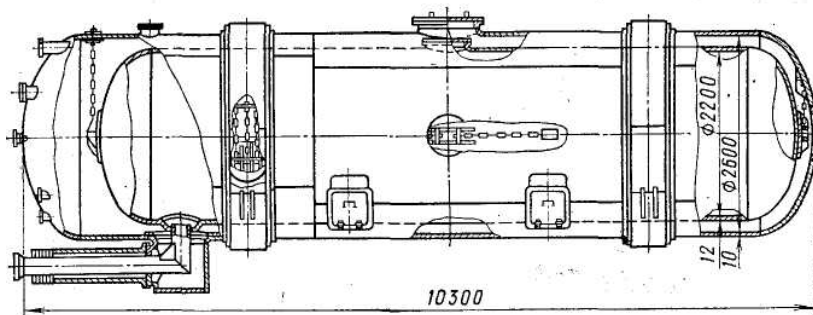


Рисунок 1.15 - Цистерна для рідкого азоту

Характерним прикладом хімічного апарату може служити теплообмінник кожухотрубчастого типу (рис.1.16).

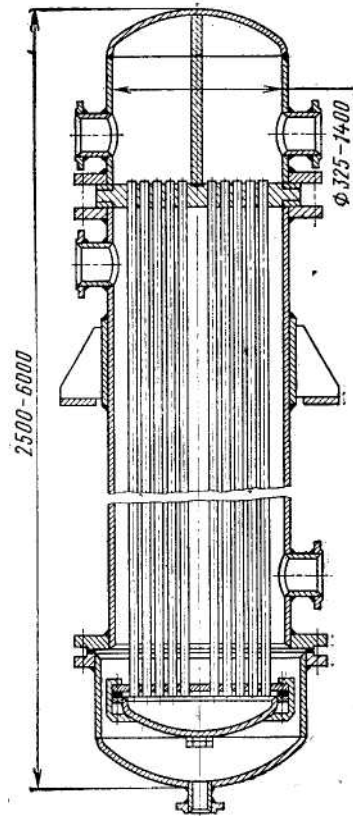


Рисунок 1.16 - Кожухотрубчатий теплообмінник з плаваючим компенсатором

Слід відмітити, що його конструктивне оформлення зводиться до комбінації пластин, оболонок і труб різноманітних перетинів і контурів.

Товстостінні посудини ($s > 40\text{мм}$) зазвичай збирають з вальцьованих або штампованих листових заготовок, що зварюються подовжніми і кільцевими стиковими швами. На рис.1.17 зображена конструкція гідравлічного балона із сталі 22К з товщиною стінок 150мм, з'єднання виконані електрошлаковим зварюванням. Кутові шви використовуються тільки для кріплення підставка до нижнього дна. Для котельних посудин характерна велика кількість штуцерів, до яких стиковими швами приварюють труби. Як правило, дно роблять опуклими з відбортовкою, що забезпечує виведення зварних з'єднань із зони дії значних напружень вигину. Посудини з внутрішнім діаметром менш 500мм, наприклад, камери казанів, допускається виготовляти з плоскими днами. Особливо відповідальні посудини, як, наприклад, корпуси атомних реакторів з товщиною стінки до 200 мм і вище, виготовляють з суцільнокованих обичайок, що зварюються між собою кільцевими швами.

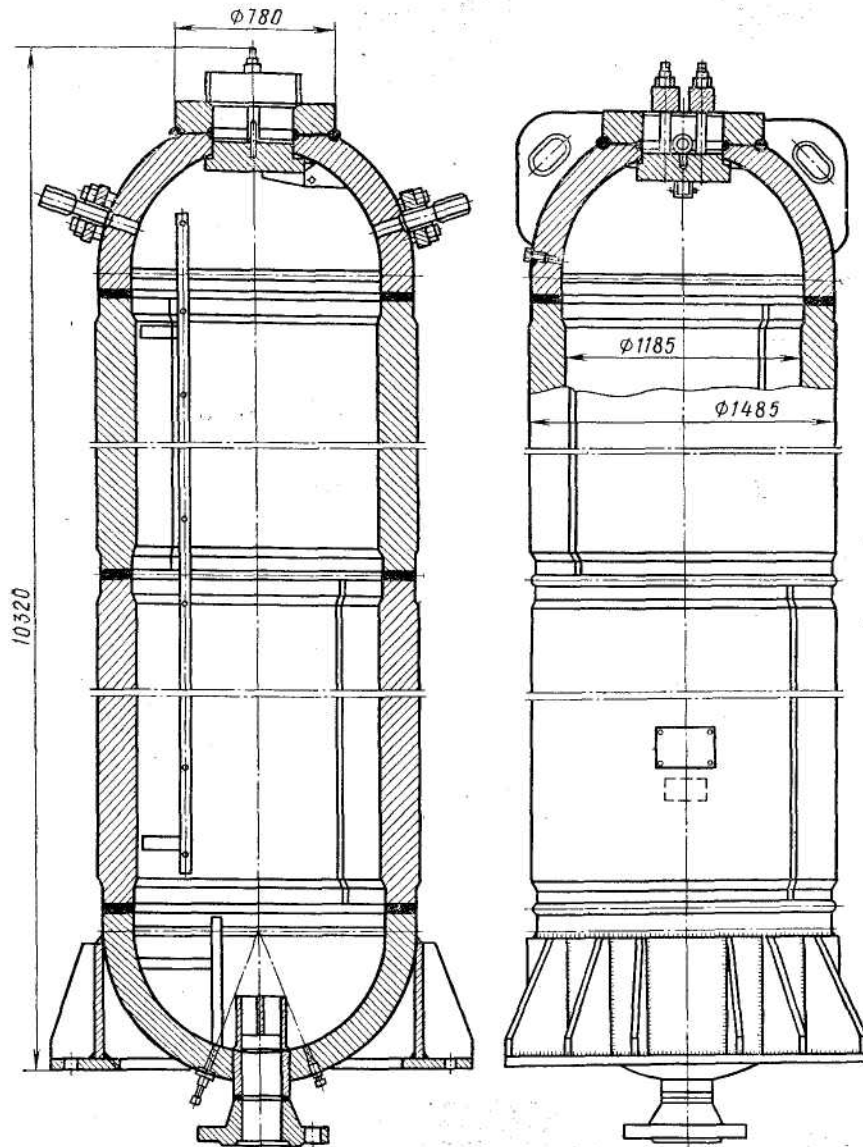


Рисунок 1.17 - Балон гідравлічний місткістю 10 м³

У крупних посудин високого тиску, що застосовуються в хімічній промисловості, товщина стінки досягає 200-400 мм. Разом з технологічними труднощами виготовлення товстостінних монолітних обичайок зростає небезпека їх крихкого руйнування. Тому все частіше застосовують *багатошарові посудини*, діаметр яких може перевищувати 5 м (рис.1.18,*а,б*). Дно і фланці таких посудин роблять суцільними і приварюють до торців багатошарової обичайки стиковими швами. Залежно від робочого середовища внутрішня обичайка може бути двошаровою або з корозійностійкої сталі, а зовнішні частини корпусу - з низьколегованої сталі. Залежно від методу отримання багатошарової обичайки окремі шари або щільно прилягають один до одного, або між шарами можливі зазори. У останньому випадку уварювати штуцера в стінку

обичайки недоцільно, оскільки це порушує основну умову надійної роботи такої стінки - вільне переміщення шарів один щодо одного в процесі завантаження. Штуцера прагнуть розміщувати в суцільних днах або в суцільному кільці, увареному між багат шаровими обичайками. Це обмежує використання багат шаровості стосовно конструкцій барабанів котлів.

На виготовлення труб витрачають близько 10% всього світового виробництва сталі, причому частка випуску зварних труб росте і вже перевищує половину виробництва зварних конструкцій.

В умовах великосерійного виробництва, використовуючи різні методи зварювання, випускають зварні труби із зовнішнім діаметром від 6 до 1420мм. Труби діаметром від 6 до 529 мм виготовляють з рулонного матеріалу з прямим швом, а труби великих діаметром - з рулонного матеріалу

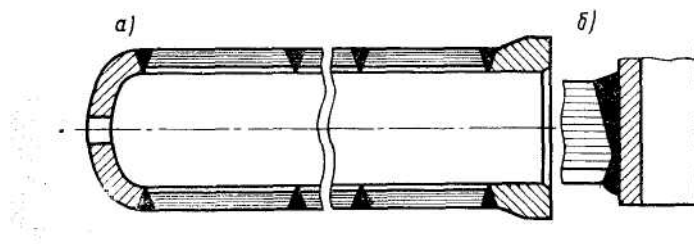


Рисунок 1.18 - Конструктивне оформлення багат шарової посудини:
а - загальний вигляд; б - проварка штуцера

з спіральним швом або з окремих листів з прямими швами. Оскільки рулонний матеріал має обмежену товщину (до 14 мм), то при випуску труб великого діаметру (до 2520мм) для роботи під високим тиском їх доводиться виконувати або з безперервної стрічки, отриманої нарощуванням листів необхідної товщини, або в два шари. Використання багат шарових труб при будівництві магістральних трубопроводів дозволить істотно підвищити їх стійкість проти протяжного руйнування. У зв'язку з цим вже початий випуск двошарових спіралевидних труб великого діаметру. Надалі має бути організоване виробництво труб, що отримуються згортанням щодо тонкого листа (близько 4 мм) в декілька шарів з розташуванням подовжніх нахлестних швів початку і кінця листа відповідно всередині і зовні труби уздовж створюючої. Отримані таким чином короткі труби передбачається укрупнювати в довгомірних (12 м) за допомогою багат шарових кільцевих швів.

При монтажі заводських трубопроводів, окрім стиків, доводиться зварювати головним чином відведення, компенсатори, фланці, розвилки, патрубки, штуцера і інші фасонні деталі (рис.1.19). Зварювальні роботи в котлобудуванні і апаратобудуванні включають стиковку труб екранів і зміювиків, з'єднання труб з трубними дошками в теплообмінниках, приварювання

до труб подовжніх або спіральних ребер, виготовлення газощільних панелей з труб, що зварюються одна з іншою безперервними швами через проставки.

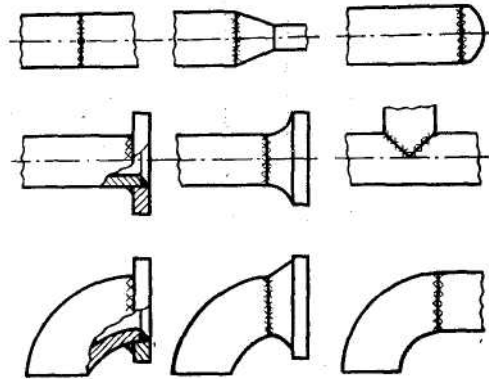


Рисунок 1.19 - Схеми зварних вузлів заводських трубопроводів

1.5 Корпусні транспортні конструкції

До таких конструкцій відносять кузови суцільнометалевих вагонів і автомобілів і корпусу судів. Загальним для них є використання плоских або зігнутих листових елементів і полотниць з подальшим об'єднанням їх в жорстку просторову конструкцію, здатну сприймати вібраційні і динамічні навантаження.

Кузов пасажирського вагону має грати-основи 2 з гнутих Z-подібних профілів, повністю закрити зовнішньою тонколистовою ($s - 1,5-4\text{мм}$) обшивкою 1 (рис.1.20,*a*). Місцева жорсткість листової обшивки

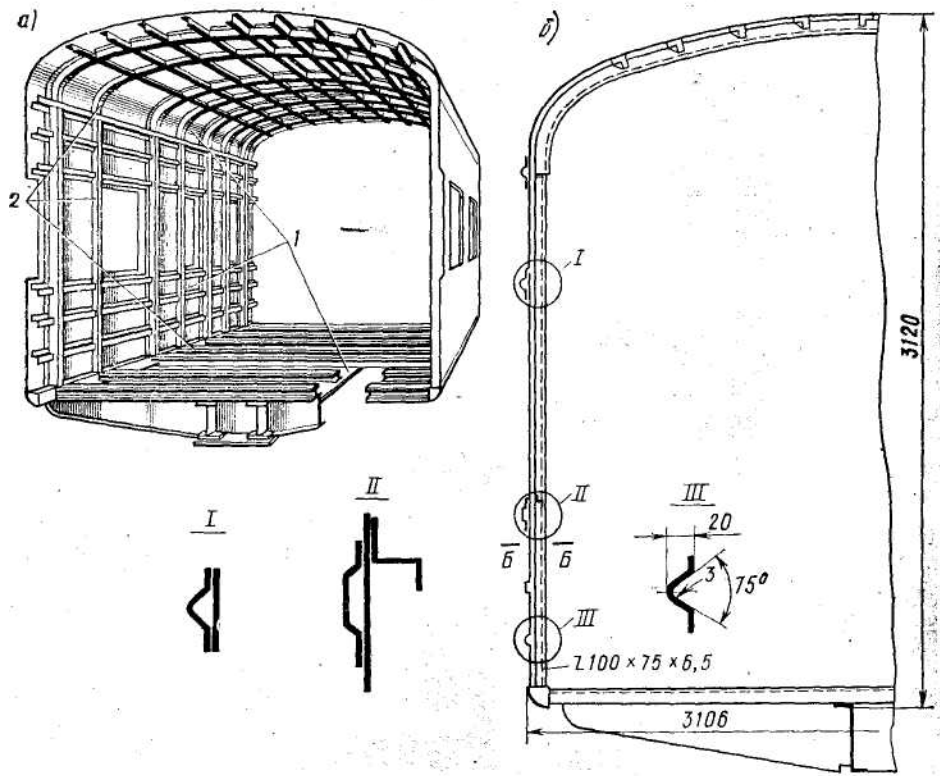


Рисунок 1.20 - Кузов суцільнометалевого пасажирського вагону:
 а - загальний вигляд; б- поперечний перетин

збільшується за рахунок створення гофрів. При цьому підвищується стійкість тонколистових елементів під навантаженням і знижується їх викривлення від зварювання (рис.1.20,б). Кузов вагону збирають і зварюють із заздалегідь виготовлених великогабаритних вузлів; даху, бічних стінок, настилу підлоги, кінцевих і тамбурних стін. З'єднання обшивки з елементами жорсткості виконують контактним зварюванням.

У вантажного піввагона (вагон без даху) бічні стіни, жорстко сполучені з рамою піввагона утворюють несучу конструкцію. Торцеві стіни і дахи люків підлоги виконані поворотними для полегшення навантажувально-розвантажувальних робіт. Бічна стіна такого чотиривісного вагону є плоскою конструкцією (рис.1.21), що складається з полотнища 1, верхнього 2 і нижнього 3 обв'язувань, кутових 5, шкворневих і проміжних 4 стійок. Полотнище складається з 14 нчвоподібних штампованих з листа деталей завтовшки 5мм, зварених стиковими швами. Верхнє обв'язування зварене з двох профілів, посилених ребрами жорсткості, нижнє обв'язування має скоби 6

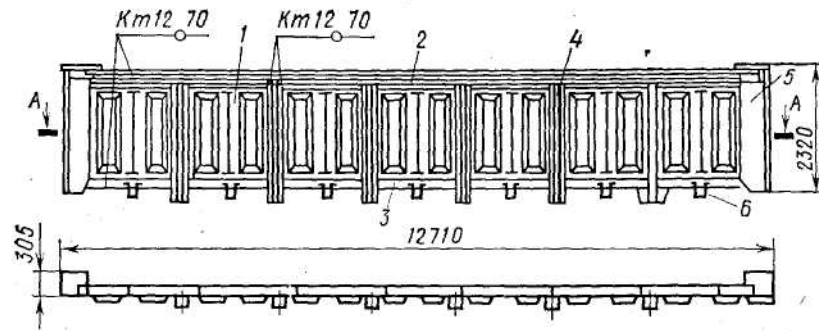


Рисунок 1.21 - Бічна стіна вантажного піввагона

для підтягання люків. Кутові стійки складаються з Z-подібних профілів з привареними до них жорсткостями і петлями, проміжні і шкворневі стійки виконані з Ω -подібних профілів. Верхнє і нижнє обв'язування разом з кутовими, шкворневими і проміжними стійками складають каркас бічної стінки який приварюють до полотнища контактним точковим зварюванням.

Кузови легкових і кабіни вантажних автомобілів випускають в умовах великосерійного виробництва. Тому до вимог мінімальної маси і необхідної жорсткості кузова як конструкції транспортного типу додаються вимоги високої точності заготовок і технологічності зварних з'єднань і вузлів. Кузови автомобілів збирають із заготовок, штампованих з тонкого листа, і зварюють контактною точковим зварюванням.

В даний час всі типи судів, у тому числі і найбільші танкери водотоннажністю 200000т і вище, випускаються виключно із зварними корпусами. На рис.1.22 дана схема конструкції корабля.

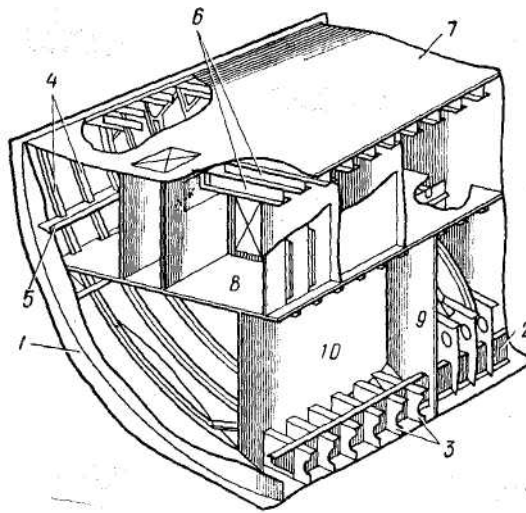


Рисунок 1.22 - Конструкція корпусу корабля

Корпус має зовнішню обшивку 1, верхню 7 і нижню 8 палуб, подовжніх 10 і поперечні 9 перегородок, виконаних з листових елементів і сполучених герметичними швами. Загальна і місцева жорсткість корпусу забезпечується приварюванням різних прокатних і зварних балочних елементів: флор 3, шпангоутів 4, бортових стрингерів 5, бімсів 6, вертикального кіля 2. Велика кількість пересічних елементів, особливо у поєднанні з вимогою герметичності з'єднань, ускладнює конструкцію вузлів і технологію їх виконання.

Величезні розміри суцільнозварної конструкції і неможливість зняття залишкових зварювальних напружень зумовлює великий запас пружної енергії, накопичений в корпусі корабля. У цих умовах неможливий мимовільний розвиток тріщини на великому протязі, що приводить до руйнування корпусу. При проектуванні зварних з'єднань і вузлів використовують метал з високим опором розвитку тріщин і передбачають усунення концентрації напружень, а в процесі виготовлення приймають заходи по запобіганню і усуненню дефектів зварювання.

Контрольні питання до розділу 1

1. Як класифікуються зварні конструкції?
2. Що таке балки та колони?
3. Дайте визначення гратчастих, оболонкових та корпусних транспортних конструкцій?
4. Призначення краплевидних резервуарів.
5. Наведіть характерні приклади негабаритів оболонкового типу.
6. Галузі використання посудин із стінками середньої товщини та тонкості них посудин.
7. Якими швами зварюються товстостінні посудини?
8. Приклади корпусних транспортних конструкцій.

2 СОРТАМЕНТ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1 Деталі машин і приладів

У машинобудуванні за допомогою зварювання виготовляють корпуси і станини, вали і колеса. При виготовленні їх в зварного виконання необхідну точність розмірів і форми забезпечують, як правило, механічною обробкою. Вироби важкого і енергетичного машинобудування випускають дрібними серіями (станини пресів, вали і колеса могутніх турбін і так далі); зварні вузли мають зазвичай вельми великі розміри і товщину елементів до 100 мм (в деяких випадках і значно вище). Частини унікальних машин можуть мати товщину, 1м, що перевищує, і їх виготовлення у вигляді поковки або відливання або неможливо, або недоцільно. Розчленовування таких деталей на дрібніші відливання або поковки значно полегшує виробництво, тоді як зварювання будь-яких найбільших перетинів електрошлаковим методом зазвичай особливих утруднень не викликає. Готові деталі перед остаточною механічною обробкою, як правило, проходять термообробку. Характерним прикладом може служити станина пресу зусиллям 40000 кН (рис. 2.1). У цій конструкції

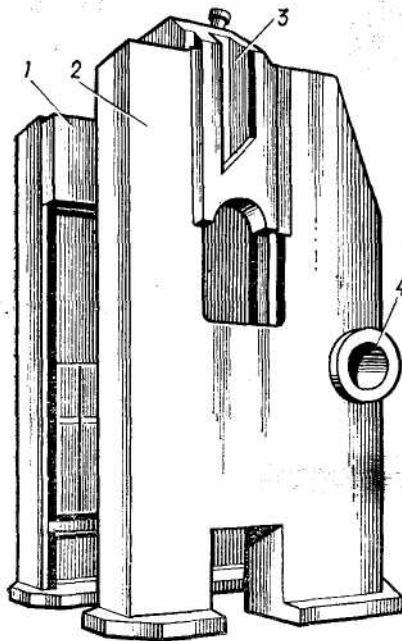


Рисунок 2.1 - Зварна станина преса

Основні елементи 1 і 2 - з толстолистого прокату, за винятком масивної траверси 3 і труби 4, виконаних у вигляді сталевих відливань і поковки відповідно.

Деталі великих розмірів іноді не вдається цілком виготовити в умовах заводу із-за труднощів доставки. Через відсутність спеціального устаткування зварні з'єднання на монтажі доводиться виконувати так, щоб розміри і форма

зварного вузла задовольняли вимогам точності без додаткової механічної обробки. Зварні деталі загального машинобудування вельми різноманітні по конструкції, розмірам і використуванним матеріалам. Вимоги до конструктивного оформлення і технології виготовлення цих деталей багато в чому визначаються серійністю виробництва і умовами експлуатації. Так, на рис.12.24 показаний розріз зварної станини шліфувального верстата. Особливо жорсткі вимоги пред'являються до прямолінійності, що направляють 1 і 2 в процесі експлуатації. Висока подовжня і крутильна жорсткість досягається за рахунок замкнутого коробчатого перетину станини. Для забезпечення прямолінійності що направляють при їх механічній обробці і в процесі подальшої експлуатації станину після зварювання піддають термообробці для зняття залишкових напружень.

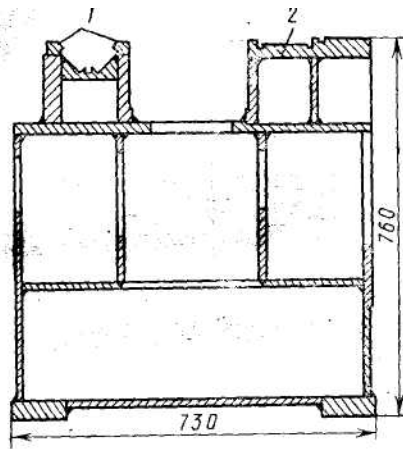


Рисунок 2.2 - Розріз зварної станини шліфувального верстата

При зварюванні валів з декількох заготовок необхідно запобігти викривленню осі звареної конструкції. Особливо це важливо при великосерійному виробництві для зменшення припуску на подальшу механічну обробку. На рис.2.2 показано два варіанти зварювання карданного валу вантажної автомашини ЗІЛ з двох кінцевих частин 1 і 2, отриманих гарячим штампуванням, і обрізання труби 3. Одночасне зварювання

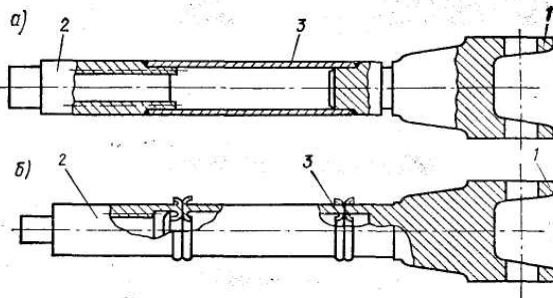


Рисунок 2.3 - Карданний вал:

a - зварні з'єднання виконані зварюванням в CO₂;

б - зварні з'єднання виконані зварювання тертям

тертям двох стиків (рис. 2.3,*б*) забезпечує високу продуктивність і супроводиться меншими деформаціями в порівнянні із зваркою електродуги в середовищі CO₂ (рис. 2.3,*a*). Крім того, використання зварки тертям полегшує автоматизацію складально-зварювальних робіт, що дуже важливе при великосерійному виробництві. Ще кращі результати отримані при зварюванні валів лазером.

У зварних деталях приладів використовують найрізноманітніші матеріали і їх поєднання при товщині елементів від декількох нанометрів до декількох міліметрів. Це корпуси приладів, чутливі пружні елементи, деталі радіоламп, транзисторів і так далі. Виробництво таких деталей зазвичай має масовий характер (мільйони штук в рік). Ввиду малих розмірів перетинів зварюваних елементів широке застосування знаходить контактна, конденсаторна, мікроплазмова, електроннопроменева, лазерна і інші зварювання, що характеризуються у край локальним підведенням теплоти.

Контрольні питання

1. Чим забезпечується точність розмірів і форми сортаменту зварних конструкцій у машинобудуванні?
2. Основні вимоги при виготовленні деталей великих розмірів.
3. Як запобігти викривленням осей зварної конструкції?
4. Який вид зварювання полегшує автоматизацію складально-зварювальних робіт?

3 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ І АВТОМАТИЗАЦІЇ ЇХ ВИРОБНИЦТВА

3.1 Рациональне проектування і технологічність зварних конструкцій

Завдання створення оригінальних машин або механізмів, призначених для виконання яких-небудь нових функцій або відомих функцій, але новим способом, в практиці проектування зустрічається досить рідко. В більшості ви-

падків створювана конструкція є підсумком роботи проектувальників декількох поколінь. Проте, проєктований виріб має елемент оригінальності. Різноманітність призначень, форм і розмірів зварних конструкцій, а також прогрес техніки і технології не дозволяють конструктору просто повторювати готові рішення. Тому проєктування - творче завдання, що не виключає розумної конструктивної спадкоємності. Оптимальними є такі конструктивні форми, які відповідають службовому призначенню виробу, забезпечують надійну роботу в межах заданого ресурсу, дозволяють виготовити виробів при мінімальних витратах матеріалів, праці і часу. Ці ознаки визначають поняття *технологічності конструкції*. Крім того, необхідно, щоб конструкція відповідала вимогам технічної естетики. Ці вимоги повинні дотримуватися на всіх стадіях проєктування конструкції і в процесі її виготовлення.

На етапі *ескізного проєктування* виявляють принципову можливість забезпечення заданих службових властивостей виробу при різних варіантах конструктивного оформлення і оцінюють їх технологічну доцільність.

Генеральне конструктивне оформлення зазвичай зумовлюється попереднім досвідом створення виробів даного типу. Навпаки, вибір форми і розміром окремих елементів конструкції визначається параметрами і особливостями даної проєктованої машини. При проєктуванні цих елементів одночасно з вибором матеріалу і методу отримання заготовок конструктор призначає розташування зварних з'єднань, їх тип і спосіб зварювання. Таким чином, основні питання технологічності зварних конструкцій вирішуються вже на першому етапі проєктування шляхом умілого використання багатих можливостей компоновки з окремих заготовок і застосування найбільш прогресивних прийомів виготовлення за допомогою зварювання.

Технолог не в змозі ефективно використовувати передову технологію там, де конструкція розроблена без урахування технологічності. Тому на всіх стадіях проєктування зварної конструкції при відробітку технологічності конструктивних рішень обов'язкова участь технологів-зварювачів, яка забезпечується як через технологічні відділи конструкторського бюро, так і шляхом узгодження з відділом головного зварювача.

На стадії *технічного проєкту* конструкції всіх основних вузлів і найбільш трудомістких деталей зазвичай розробляють в декількох варіантах, які потім порівнюють по їх технологічності і надійності в експлуатації. У разі потреби при цьому проводять розрахунки трудомісткості виготовлення, металоємності і інших показників. Не завжди вдається знайти варіант, що істотно перевершує всі інші. Тоді вибір проводять на підставі того показника, який в даному випадку є вирішальним.

На етапі *робочого проєктування* проводять детальне технологічне опрацювання прийнятого варіанту конструкції. Насамперед опрацюють креслення і технічні умови на крупні заготовки, що особливо поставляються зовні, потім креслення всіх основних вузлів і деталей і технічні умови на їх виготовлення, складання, монтаж і випробування. Робочі креслення направляють у відділ головного зварювальника. Тут при розробці робочої технології спроектованої конструкції виявляють недоліки, пов'язані в основному з ви-

бором матеріалів (по їх зварюваності), видів заготовок, розміром швів і характеру підготовки кромки, припусків на механічну обробку, допусків форми і розмірів, методів контрольних операцій. Необхідні зміни за узгодженням з конструктором вносять до креслень і технологічної документації до запуску виробу у виробництво. У ряді випадків при створенні принципово нових типів зварних конструкцій, а також при освоєнні нових матеріалів або зварювальних процесів до вирішення найбільш складних питань привертають науково-дослідні організації.

На стадії проектування робота по поліпшенню технологічності зазвичай проводиться в основному по трьом напрямкам.

1. Економія металу. Пошук якнайкращих конструктивних форм, можливо точніший облік характеру і значень навантажень, що діють, застосування уточнених методів розрахунку дозволяють конструктору економити метал, усуваючи зайвий запас міцності, зменшуючи масу металу, що слабо бере участь в роботі. Доцільно замість просторових гратчастих конструкцій використовувати оболонкові; вимоги високої жорсткості задовольняти, застосовуючи гнуті або гофровані тонколистові, а також стільникові елементи; при роботі на подовжню стійкість використовувати трубчасті елементи. Вибір металу відкриває великі можливості зниження маси виробу. Найбільша економія металу може бути отримана при використанні міцних і високоміцних сталей і сплавів з високою питомою міцністю (алюмінієвих, титанових). Зниженню маси виробу сприяє також застосування міцніших холоднокатаних елементів замість гарячекатаних. Підвищення міцності, а отже, і зниження маси виробу досягається термообробкою. Проте підвищення міцності металу нерідко супроводиться погіршенням його зварюваності або зниженням опору руйнуванню. Тому економія металу за рахунок підвищення його міцності доцільна тільки при обліку цих чинників. Великі перспективи має застосування композиційних матеріалів, наприклад, двошарових сталей.

2. Зниження трудомісткості виготовлення. У цьому плані важливим є вибір розмірів і методу отримання заготовок, а також прийомів їх зварювання.

При опрацюванні конструктивної схеми і орієнтовному підрахунку розмірів перетинів ще не має істотного значення, чи буде конструкція монолітною або зварною. Питання, безпосередньо пов'язані із зварюванням, виникають при розчленуванні виробу на окремі заготовки. Намітивши розташування зварних з'єднань, проектувальник не тільки задає форму і розміри окремих заготовок, а і в значній мірі зумовлює вирішення ряду конструктивних і технологічних питань, таких, як методи отримання заготовок, типи з'єднань, прийоми зварювання і так далі. Тому вибір варіанту розчленування вельми важливий з погляду його впливу на технологічність конструкції.

При проектуванні унікальних виробів великого розміру і маси розчленування нерідко є єдиною можливим вирішенням задачі, оскільки виготовити їх цілком не дозволяє недостатня потужність існуючого устаткування. При розчленуванні складних деталей бажано поєднувати простоту форм окремих заготовок з раціональним розташуванням зварних з'єднань. Так, напри-

клад, суцільнолите складне сталеве відливання великого розміру доводиться формувати на підлозі цеху з великими витратами ручної праці. Перехід до зварного варіанту з невеликих простих литих заготовок дозволяє застосувати машинне формування і значно скоротити трудомісткість.

Нерідко умови вантаження різних частин зварної конструкції розрізняються вельми помітно. В цьому випадку доцільно вибрати матеріали і методи отримання заготовок з урахуванням відмінності вимог до механічних властивостей окремих частин.

При виборі методу зварювання конструктор повинен врахувати зварюваність металу заготовок, призначити тип з'єднання і забезпечити зручність виконання складально-зварювальних операцій. Доставка крупних зварних виробів до місця експлуатації цілком нерідко виявляється неможливою або недоцільною. В цьому випадку частину зварювальних операцій виконують при монтажі. Підхід до вибору методу зварювання і конструктивному оформленню з'єднань для заводської і монтажної зварювання може бути різним. Тому розміри елементів і місця розташування монтажних швів призначають одночасно з вибором методу зварювання. Вибір методів зварювання зазвичай включає призначення типу зварного з'єднання, прийомів його виконання і вживаного присадного металу, а також термообробки, якщо це необхідно. Ці дані зумовлюють механічні властивості зварного з'єднання і значення напруження, що допускається, що необхідне для виконання розрахунків на міцність.

На стадії робочого проектування конструктивне оформлення зварних з'єднань опрацьовується детальніше. На кресленнях вказуються характер обробці кромки допуски на розмір з урахуванням припусків на подальшу механічну обробку вузла або виробу.

Питання точності і стабільності розмірів конструкції, звичайно, не вичерпуються вибором методу зварювання. Істотним є облік зварювальних деформацій і напруження, призначення технологічних заходів щодо їх запобігання і усунення. Це коло питань вирішують на стадії робочого проектування як з метою обґрунтування значень допусків і припусків, так і з погляду доцільності проведення термообробки. Багато досить відповідальних виробів цілком надійно працюють після зварювання без якої-небудь термічної обробки. З іншого боку, застосування термообробки нерідко помітно покращує механічні властивості і структуру зварних з'єднань, сприяючи підвищенню їх працездатності. Невиправдане призначення операції термообробки може істотно збільшити трудомісткість виготовлення виробу, особливо в умовах серійного виробництва. Проводити післязварювальну термообробку або відмовитися від неї - вирішують, зважаючи на хімічний склад металу, метод зварювання і присадний метал, конструктивне оформлення з'єднань і вузлів, вимоги до механічних властивостей, умови експлуатації і так далі

3. Економія часу. Найбільша економія часу досягається в умовах безперервного потокового автоматизованого виробництва при великосерійному і масовому випуску продукції, коли всі операції узгоджені в часі і виконуються механізмами. Отже, при проектуванні зварних виробів конструктор пови-

нен забезпечити ефективність їх виготовлення за допомогою високопродуктивних механізмів і автоматичних пристроїв. Проте частка зварних конструкцій, що виготовляються в умовах серійного і масового виробництва, відносно невелика. У дрібносерійному виробництві ефективно використовувати потокові методи виготовлення дозволяють типізація і *нормалізація*. Важливо здійснити раціональний вибір системи конструкції і розмірних її параметрів. Дослідження прогресивних конструктивних форм і технологій дозволяє проєктувальникові обмежити кількість типорозмерів і тим самим збільшити серійність виробів, що випускаються.

У разі, коли збільшити серійність випуску виробу не вдається і виготовлення конструкції передбачається в умовах дрібносерійного виробництва, конструктору слід так підбирати типорозміри вузлів і елементів, щоб вони відповідали формам і розмірам нормалізованого технологічного оснащення.

3.2 Технологія виготовлення і автоматизація виробництва зварних конструкцій

Початковими даними для проєктування *технологічного процесу* виготовлення зварної конструкції є креслення виробу, технічні умови і планована програма випуску.

Креслення містять дані про матеріал заготовок, їх конфігурацію, розміри, типах зварних з'єднань - рішення, які були прийняті конструктором в процесі проєктування виробу і мають бути прийняті до виконання технологом. Технолог не має права вносити зміни до креслень. Тому будь-якому відхиленню від креслення повинне передувати його виправлення конструктором.

Технічні умови (ТУ) на виготовлення певного типу конструкцій містять перелік вимог, які представляються до матеріалів, устаткування і виконання технологічних і контрольних операцій. ТУ коротко висловлюють досвід проєктування, виготовлення і експлуатації, накопичений у даній галузі виробництва. Тому при проєктуванні технологічних процесів обов'язкове дотримання вимог ТУ. Відхилення від них у кожному окремому випадку має бути достатньо обґрунтоване.

Програма випуску містить зведення про кількість виробів, які треба виготовити протягом конкретного терміну (наприклад, за рік). Ці цифри служать підставою для вибору устаткування, технологічного оснащення і засобів механізації і автоматизації.

3.3 Зварні з'єднання, виконані дуговим зварюванням

Існує декілька найбільш поширених способів дугового зварювання.

Ручне дугове зварювання є універсальним технологічним процесом. Цим способом зварюють конструкції у всіх просторових положеннях, з різних марок сталей, кольорових сплавів у випадках, коли застосування автоматичних і напівавтоматичних методів не представляється можливим, наприклад, за ві-

дсутності необхідного устаткування, недостатнього освоєння технологічного процесу.

З'єднання при *автоматичному і напівавтоматичному зварюванні* під шаром флюсу, розробленому Інститутом електрозварювання ім. Є.О.Патона спільно з іншими НДІ і заводами, широко застосовуються в машинобудівній і будівельній промисловості. Автоматичним зварюванням під флюсом зварюють вироби з широким діапазоном зміни товщини, як правило, від 1 до 50мм, іноді і більше.

Застосування *автоматичного і напівавтоматичного дугового зварювання у середовищі захисного вуглекислого газу*, розробленого ЦІТМАШЕМ, Інститутом електрозварювання ім. Є.О.Патона, МВТУ та іншими організаціями, безперервно розширюється. Цим способом проводиться укладання швів у всіх просторових положеннях, добре зварюються елементи малої, середньої і великої (до декількох десятків міліметрів) товщини з вуглецевих, низьколегованих і деяких високолегованих сталей.

Конструкції з аустенітних, мартенситних і феритних жароміцних, теплостійких сталей, багато алюмінієвих, мідних, магнієвих і інших сплавів також успішно зварюються в середовищі захисних газів.

Зварні з'єднання мають бути по можливості рівноміцними з основним металом елементів конструкцій при всіх температурах під час експлуатації, а також при всіх видах навантажень (статичних, ударних і вібраційних).

Слабкими ділянками в зварних з'єднаннях можуть бути шви, зони термічного впливу і оплавлення. *Зоною термічного впливу називають ділянку основного металу, прилеглу до швів, який в результаті зварювання змінює механічні властивості.*

Остання обставина особливо має місце при зварюванні термічно оброблених, а також нагартованих сталей і сплавів.

Поліпшення механічних властивостей зварних з'єднань досягається: 1) вибором раціональної конструктивної форми з'єднання; 2) застосуванням раціональних методів зварювання; 3) термічною і механічною обробкою зварних конструкцій після зварювання.

Конструкції з рівноміцними зварними з'єднаннями відповідають вимогам економічності. Надмірна міцність зварного з'єднання в порівнянні з цілим елементом здорожує конструкцію і не покращує умов її експлуатації. Недостатня міцність зварного з'єднання знижує здатність всієї конструкції, що несе, і не дозволяє повністю використовувати робочі перетини її елементів. Тому з умови рівноміцності розрахункові зусилля з'єднань визначають:

при розтягуванні

$$P = [\sigma]_p F; \quad (2.1)$$

при стисканні

$$P = [\sigma]_{сж} F; \quad (2.2)$$

при вигині

$$M = [\sigma]_p W, \quad (2.3)$$

де $[\sigma]_p$ - напруження, що допускається, при розтягуванні;

$[\sigma]_{\text{сж}}$ - напруження, що допускається, при стисканні;

F - площа поперечного перетину;

W - момент опору перетину.

3.4 Зварні з'єднання, виконані контактним зварюванням

З'єднання при стиковому зварюванні. Контактне стикове зварювання має величезне розповсюдження в різних конструкціях. Особливо ефективно її застосування при зварюванні виробів в масовому виробництві, наприклад, арматури залізобетону, конструкціях рам, що типізуються, подовжніх швів труб. Добре зварюються конструкції з низковуглецевих, низьколегованих і деяких високолегованих сталей з площею поперечного перетину до декількох сотень квадратних сантиметрів.

Контактним способом отримують стикові з'єднання елементів з круглими, квадратними, прямокутними, трубчастими, профільними (кутникові, таври, рейки) перетинами. Із збільшенням периметра деталі і зменшенням її товщини процес зварювання ускладнюється. Найкраще з'єднуються елементи однакового поперечного перетину (рис.3.1, а-в). Діаметри d_1 і d_2 елементів круглого перетину (рис.3.1, з), що сполучаються, а також товщина труб s_1 і s_2 (рис.3.1, д) по можливості не повинна відрізнятися один від одного більш ніж на 15%.

Можливість контактного зварювання великих поперечних перетинів залежить від устаткування. Інститутом електрозварювання ім. Є.О.Патона створені установки для зварювання газопровідних труб діаметром 1420 мм. І це не є межею.

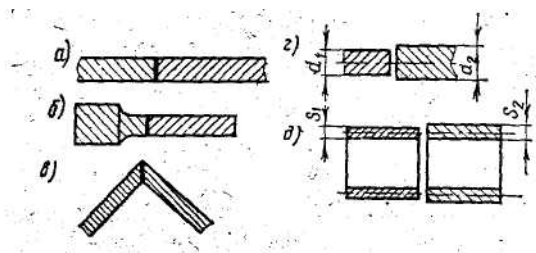


Рисунок 3.2 - З'єднання при стиковому контактному зварюванні

Площа поперечних перетинів деталей, що зварюються контактним способом наближається до 2000 см^2 . Спеціальний розрахунок міцності стиків, зварених контактним способом і що працюють під статичним навантаженням не проводиться. Міцність стику забезпечується міцністю самого елемента. Сτικο-

вим контактним зварюванням зварюють не тільки різні марки сталей, але і кольорові сплави.

З'єднання при точковій зварці. В більшості випадків точковим зварюванням зварюють вироби за умови розташування електродів з двох сторін щодо зварюваних частин. Це пред'являє певні вимоги до габариту конструкцій. Розроблені установки, що дозволяють проводити точкове зварювання при односторонньому розташуванні обох електродів.

Точковим контактним зварюванням найчастіше сполучають елементи, що мають малу товщину, - від долей до декількох міліметрів (рис.3. 2, а).

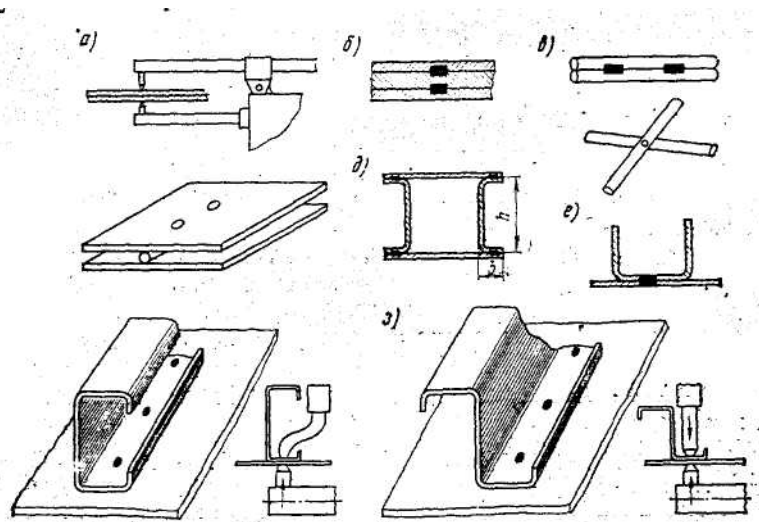


Рисунок 3. 2 - Приклади з'єднань при точковому зварюванні
а, б - плоскі заготовки; в, г - циліндрові заготовки; д, з - раціональне з'єднання; е, ж - нераціональне з'єднання

Добре зварюються міцні і високоміцні вуглецеві сталі, різні сплави, зокрема алюмінієві і титанові.

Не рекомендується допускати точкових з'єднань елементів, відношення товщини яких ≥ 3 . Точковим зварюванням можна зварювати також три деталі і більше. При цьому елемент більшої товщини слід укласти між двома іншими (рис.3.2, б).

Зварними точками сполучають між собою не тільки плоскі, але і циліндричні деталі (рис.3.2, в), стрижні круглого перетину з пластинами (рис.3.2, г) і тому подібне. Вельми доцільні для зварювання точками заготовок, що мають відкриті профілі або з відбортовкою (рис.3.2, д). На рис.3.2, е показаний вузол менш раціональний, оскільки в процесі зварювання велика маса металу вводиться в контур вторинного кола, унаслідок чого збільшується індуктивний опір машини.

На рис. 3.2, ж показана конструкція, що зварюється зігнутим електродом, важко здійснима для зварювання на точковій машині; на рис.3.2, з зображений раціональний вузол.

У зварному точковому з'єднанні прийняті наступні позначення (рис.3.2): d - діаметр точки; t - крок точок; t_1 - відстань від центру зварної точки до краю деталі у напрямі дії сили P ; t_2 - відстань від центру зварної точки до вільної кромки в напрямі, перпендикулярному дії сили P ; t_1 і t_2 - нормуються з урахуванням технологічних і силових чинників.

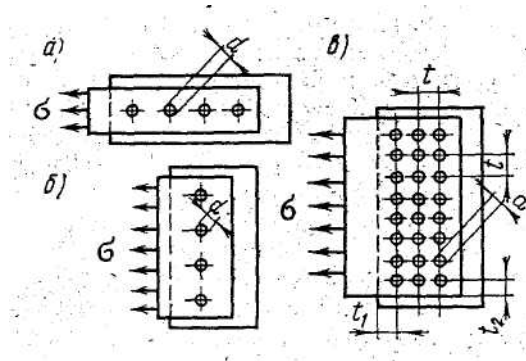


Рисунок 3.3 - Види з'єднань з декількома крапками залежно від напрямку навантаження σ
 а- подовжнє; б - поперечне; в - змішане

Оскільки елементи, що зварюються шовним зварюванням, мають малу товщину, вплив моменту, що вигинає, незначний і його при розрахунку міцності не враховують.

Напруження в швах при шовному зварюванні визначає по зусиллю зрізу

$$\sigma = \frac{P}{l \cdot a}, \quad (2.28)$$

де P - сила, що діє в з'єднанні; a - ширина шва; l - довжина шва.

3.5 З'єднання при спеціальних методах зварювання

З'єднання при електрошлаковому зварюванні. Електрошлакове зварювання є одним з прогресивних бездугових процесів зварювання. Воно забезпечило створення комбінованих прокатно-лито-ковано-штампованих виробів великих перетинів, об'єднаних в єдиний агрегат. Цим способом зварюють конструкції рам, барабанів, великих машинобудівних вузлів, споруд металургійних комплексів і тому подібне при електрошлаковому зварюванні укладання швів проводять у вертикальному положенні, виконують стикові, кутові і таврові з'єднання. Нерідко ці з'єднання є такими, що пов'язують, але їх застосовують і як робочі. Електрошлаковим зварюванням сполучають в основному елементи, що мають товщину від 30 до 1000 мм і більш, але в деяких випадках зварюють і меншу товщину. Цим методом сполучають між собою

листи, плити, тіла круглого перетину, товстостінні труби, наприклад, порожнисті вали і тому подібне

Електрошлаковим зварюванням можна сполучати різні марки сталей: низковуглецеві, вуглецеві, низьколеговані і ін. Вона не вимагає скосу кромки, дуже продуктивна і економна (мало витрачається присадного дроту і флюсів). Проте конструкції, зварені електрошлаковим зварюванням, при великій товщині стінок часто доводиться піддавати термічній обробці - відпустці і нормалізації для зняття залишкових напружень і поліпшення структури. Це декілька здорожує виробництво. Добре з'єднуються електрошлаковим зварюванням деталі з титанових і алюмінієвих сплавів.

На рис.3.4 приведений приклад з'єднання, виконаного електрошлаковим зварюванням. В більшості випадків розрахунок швів при електрошлаковому зварюванні.

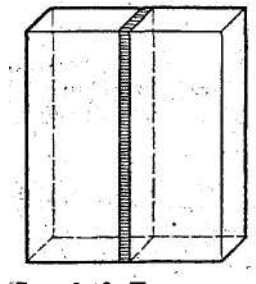


Рисунок 3.4 - Приклад шва при електрошлаковому зварюванні

не відрізняється від перевірки напружень в основному елементі конструкції, оскільки площа шва, буває при цьому еквівалентна площі основного металу. Доводиться лише в деяких випадках в місці стиків знижувати напруження, що допускається. Приклади з'єднань (кутових і таврових), отриманих електрошлаковим зварюванням, приведені на рис. 3.5.

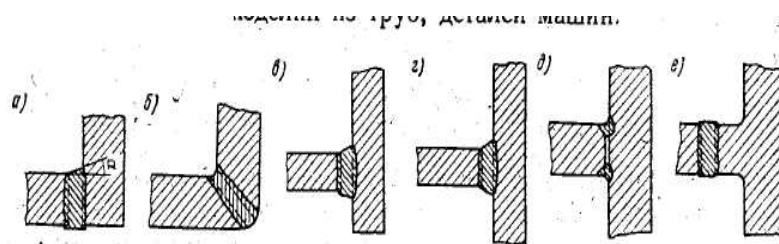


Рисунок 3.5 - Приклади з'єднань при електрошлаковому зварюванні
а, б - кутові; в-д - тавровые; е - стикові

З'єднання при зварюванні тертям. Метод ефективний, оскільки при цьому витрачається мала кількість енергії. Зона розігрівання має невелику протяжність, а з'єднання достатньо міцні. Цим методом зварюють інструменти, наприклад, приварюють ріжучу частину до тримача із сталі виробу. Його

використовують при виготовленні заставних частин арматури залізобетону, при зварюванні деяких виробів з труб, деталей машин.

Зварка тертям проводиться згідно однієї з схем, зображених на рис.3.6. В процесі відносного обертання деталей притиснуті один до одного торці елементів, що сполучаються, розігріваються. Досягнувши потрібної температури, залежної від матеріалу, обертання припиняють і збільшенням сили P проводять осідання. Добре зварюються між собою не тільки однорідні, але і різнорідні метали, наприклад сталь+медь+алюміній.

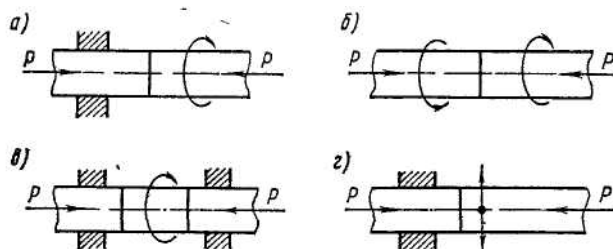


Рисунок 3.6 - Схема зварювання тертям

а - при обертанні однієї деталі; *б* - при обертанні обох деталей; *в* - зварка з проставкою, що обертається; *г* - при поступально-поворотному русі

При зварюванні з тертям отримують стикові і таврові з'єднання (рис.3.7) з високими механічними властивостями. Розрахункові напруження в зварному з'єднанні при цьому опиняється еквівалентною напруженню в основному металі. Напруження, що допускається, встановлюється на основі спеціальних дослідів.

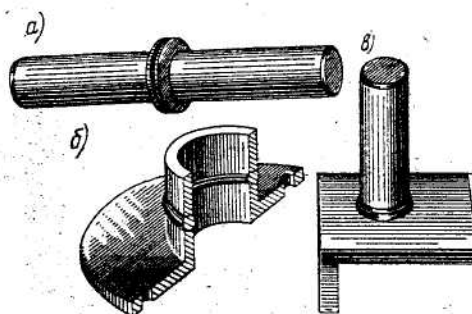


Рисунок 3.7 - Приклади зварювання тертям

а, б - стикові; *в* - таврове

З'єднання при дифузійному зварюванні. Дифузійне зварювання дозволяє сполучати метали, неметалічні матеріали і метали з неметалічними мате-

ріалами. Зварювання проводиться у вакуумних камерах при стискуванні елементів, що сполучаються, і їх нагріві до температури, меншої температури плавлення матеріалу. Тому в таких зварних з'єднаннях не спостерігається істотних змін фізико-механичних властивостей в порівнянні з основним матеріалом. Дуже великий вплив на механічні властивості з'єднань роблять температура нагріву, питомий тиск на контактних поверхнях, ступінь вакууму в камері, спосіб підготовки поверхонь, тривалість процесу.

Дифузійне зварювання дозволяє здійснити багатообразні форми з'єднань: на плоскості, конічній поверхні, циліндровій поверхні, по складних реальних поверхнях.

Визначення розрахункових напружень в з'єднаннях при цьому способі зварювання проводиться так само, як і в елементах основної конструкції. Напруження, що допускається, має бути призначені згідно проведеним спеціальним експериментам.

З'єднання холодним зварюванням. *Холодним зварюванням називають процес з'єднання металів в результаті пластичної деформації шляхом осаду без нагріву.* Щонайкраще з'єднуються холодним зварюванням метали з кубічною гранецентрованою структурою, що володіють хорошими пластичними властивостями: алюміній, мідь, їх сплави, аустенітна сталь і так далі. Вакуум значно покращує умови холодного зварювання. Очищення і вирівнювання зварюваних поверхонь, а також створення на них активних центрів досягається за рахунок пластичної деформації. При холодному зварюванні виконують стикові і нахльосточні з'єднання.

Схема холодного зварювання стискового з'єднання приведена на рис.3.8,а. На рис. 3.8, б, в показана схема холодної точкової зварювання (1 - зварювані листи; 2 - пуансон). При поглибленні пуансона 2 відбувається пластична

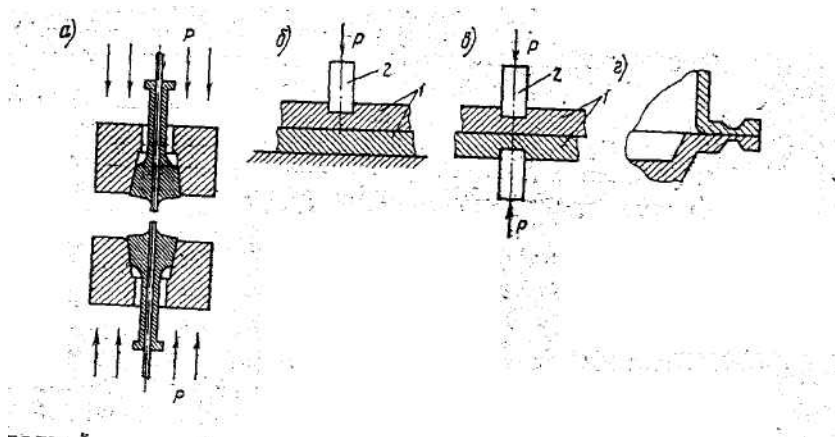


Рисунок 3.8 - З'єднання при холодному зварюванні

деформація.

Якщо замінити точкові пуансони роликowymi, то можна отримати холодним зварюванням шовне з'єднання (рис.3.8, з).

Точковий і шовний види холодного зварювання частіше застосовують в тих, що пов'язують або слабо напружених з'єднаннях, оскільки вдаливание викликає концентрацію напруження. Здатність з'єднань встановлюють експериментально з урахуванням властивостей металів лав і технології виробництва робіт.

Розрахунок міцності стикових з'єднань, зварених холодним способом, може не проводитися зовсім, оскільки їх властивості часто не відрізняються від властивостей основного матеріалу. Розрахунок міцності зварних точок в нахлестних з'єднаннях проводиться на зріз. На відрив такі точки працюють недостатньо задовільно. Напруження, що допускається, визначається за досвідченими даними.

Холодне зварювання застосовується в електротехніці, вакуумному машинобудуванні і так далі

З'єднання при ультразвуковому зварюванні. Зварювання ультразвуком металів застосовується в приладобудуванні. При ультразвуковому зварюванні з'єднуються поверхневі шари металу, звільнені від окисних плівок і адсорбованих газів (рис.3.9). Здатність ультразвукових коливань зруйнувати поверхневі плівки дає можливість зварювання металів із захисними покриттями. Ультразвуком з'єднуються пластичні метали: алюміній, мідь, аустенітна сталь, тантал. Можливе зварювання неметалічних матеріалів, наприклад, кераміки.

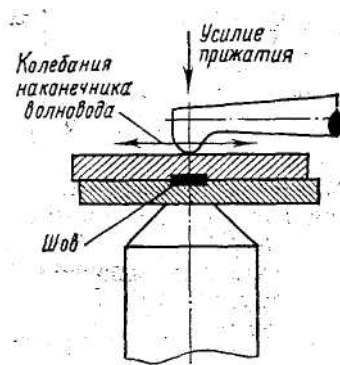


Рисунок 3.9 - Схема ультразвукового зварювання металу

Ультразвуком зварюють елементи малої товщини, як правило, не понад 1-2 мм, і особливо добре з'єднуються дуже тонкі елементи. Можливе приварювання тонкого елемента до товстого. При ультразвуковому зварюванні отримують точкові і шовні з'єднання, аналогічні з'єднанням контактного зварювання. Розрахунок міцності проводять на зріз так само, як і розрахунок з'єднань, виконаних контактним зварюванням. Напруження, що допускається, визначають на основі спеціальних експериментів.

З'єднання при електронно-променевому зварюванні. Електроннопроменева зварка проводиться майже завжди у вакуумі в спеціальних камерах.

Цю зварку застосовують для спеціальних сортів сталей, тугоплавких і активних металів, наприклад танталу, цирконію, молібдену і ін. Доцільне використання її для деяких марок титанових і алюмінієвих сплавів, а також для з'єднань різнорідних металів.

При електроннопроменевому зварюванні джерело тепла сконцентроване в малому об'ємі, тому зони проплавлення і термічного впливу мають вельми малу ширину. Завдяки щоду високого ступеня вакууму в камері (0,1-0,01Па) механічні властивості зварних з'єднань при цьому способі зварки виявляються високими. Електронно-променевою зваркою виконують стикові, нахлисні (рис.3.10, а) і таврові (рис.3.10, б) з'єднання. Крім того, виявляється можливим виконувати шви в замкнутих об'ємах. Виконання швів можна проводити при різних положеннях в просторі.

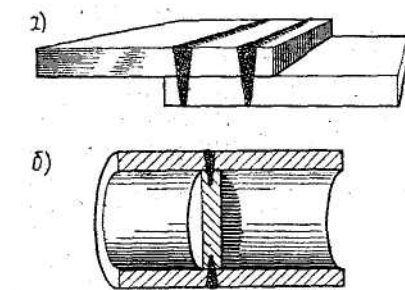


Рисунок 3.10 - З'єднання при електроннопроменевому зварюванні

Електроннопроменеве **зварювання знаходить застосування** в енергетичному машинобудуванні, в приладобудуванні і так далі

Розрахунок міцності з'єднань при електроннопроменевому зварюванні у багатьох випадках зводиться до розрахунку міцності основної деталі, оскільки з'єднання можуть бути прийняті рівноміцними цілому елементу. Нерідко правильна оцінка міцності з'єднань, особливо різнорідних металів, проводиться на основі спеціальних проведених експериментів.

Зварювання вибухом. Зварювання вибухом є одним з нових процесів з'єднання однорідних і різнорідних металів. Перспективне використання ефекту вибуху головним чином для отримання двошарових елементів, виробництва наплавлень. Зварювання вибухом дуже продуктивне. При правильному технологічному процесі механічні властивості з'єднань виявляються стабільними і високими.

Зварювання лазером. За останні роки перспективи застосування лазера для зварювання значно розширилися. Створення лазерів високої потужності

дозволяє зварювати елементи конструкції завтовшки в десятки міліметрів. При великій товщині елементів зварювання лазером продуктивне. Її особливості - гранично вузька зона термічного впливу і малі величини залишкових деформацій. Є всі підстави вважати лазерний процес за перспективний для зварювання як тонкостінних, так і товстостінних виробів. Досягається кинджальне проплавлення. Пластичні властивості швів високі, що стали Ст3 витримує двократний перегин на 1800. Ефективне застосування лазера для з'єднань загартованих сталей.

Радіочастотне зварювання. Схема радіочастотного зварювання зображена на рис.3.11. Радіочастотне зварювання вельми продуктивне - швидкість досягає 50м/хв Кількість споживаної енергії і температурний вплив її на основний метал вельми незначні. Радіочастотним зварюванням з'єднують не тільки сталеві труби, але і труби з кольорових металів. При зварюванні латунних труб шви утворюються так само, як і при звичайному стиковому контактному зварюванні, але із-за великої швидкості процесу не відбувається розплавлення і випаровування цинку в поверхневому шарі. Цим способом можна зварювати профільний метал при невеликій товщині елементів.

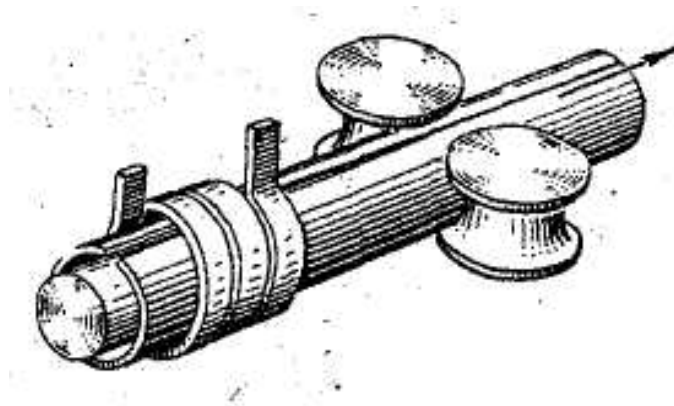


Рисунок 3.11 - Схема високочастотного зварювання з індукційним підведенням струму

Контрольні питання до розділу 3

1. В чому полягає раціональне проектування зварних конструкцій?
2. Що таке технологічність зварних конструкцій?
3. На які етапи поділяється проектування конструкцій?
4. Що належить до початкових даних для проектування технологічного процесу виготовлення зварної конструкції?
5. Назвіть найбільш поширені способи дугового зварювання?

6. Чим досягається поліпшення механічних властивостей зварних з'єднань?
7. Як визначаються розрахункові зусилля зварних з'єднань?
8. Охарактеризуйте зварні з'єднання, виконані контактним зварюванням.
9. Що відноситься до спеціальних методів зварювання?

4 РОЗРАХУНКИ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

4.1 Приклади розрахунку

Розглянемо два приклади розрахунку кутових швів, обкреслених по рівнобедреному трикутнику.

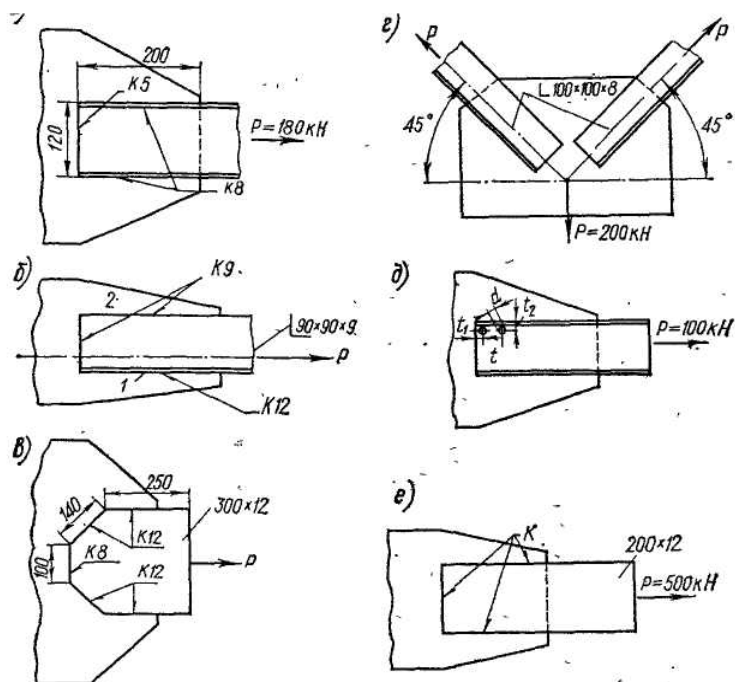


Рисунок 4.1 - Приклади розрахунку зварних з'єднань

Приклад 1 (рис.4.1,а). Швелер №12 прикріплений до листа лобовим і фланговими швами. Зварка ручна ($\beta = 0,7$). Визначити напруження в швах при $P = 180 \text{ кН}$.

1. Площа перетину лобового шва, що має катет шва $K = 5 \text{ мм}$.

$$F_l = l \beta K = 12 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 4,2 \text{ см}^2.$$

2. Площа перетину двох флангових швів при $K = 8 \text{ мм}$.

$$F_{\text{фл}} = 2l \beta K = 2 \cdot 20 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 22,4 \text{ см}^2.$$

3. Площа перетину всіх кутових швів прикріплення

$$F = F_l + F_{\text{фл}} = 26,6 \text{ см}^2.$$

4. Напруження зрізу в швах

$$\tau = \frac{P}{F} = 0,18 / 0,00266 = 67,7 \text{ МПа}.$$

Приклад 2 (рис.4.1,б). Куточок 90x90 мм має площу перетину $F = 15,6 \text{ см}^2$. Напруження, що допускається, в металі куточка $[\sigma] = 200 \text{ МПа}$, напруження зрізу, що допускається, в шві $[\tau'] = 120 \text{ МПа}$. Спроекуємо зварне з'єднання, рівномірне куточку; зварювання однопрохідне напівавтоматичне ($\beta = 0,8$).

1. Розтягуюче зусилля, що допускається, в куточку

$$P = [\sigma]_p F = 200 \cdot 15,6 \cdot 10^{-4} = 0,312 \text{ МН}.$$

Проектуємо лобовий шов з катетом $K = 9 \text{ мм}$.

2. Зусилля, що допускається на лобовий шов, рівне

$$P_l = [\tau'] \beta K l_l = 120 \cdot 0,8 \cdot 0,009 \cdot 0,09 = 0,078 \text{ МН}.$$

3. Решта частини зусилля повинна бути передана на флангові шви:

$$P_{\text{фл}} = P - P_l = 0,234 \text{ МН}.$$

4. Зусилля, передаване на шов l

$$P_l = 0,7 P_{\text{фл}} = 0,164 \text{ МН}.$$

5. Катет шва l приймаємо $K = 12 \text{ мм}$, тоді необхідна довжина

$$l_l = P_l / (\beta K [\tau']) = 0,164 / (0,8 \cdot 0,012 \cdot 120) = 0,142 \text{ м}.$$

Приймаємо $l_l = 14 \text{ см}$.

6. Зусилля, передаване на шов 2:

$$P_2 = 0,3 P_{\text{фл}} = 0,07 \text{ МН}.$$

7. Катет шва 2 приймаємо $K = 9 \text{ мм}$, тоді необхідна довжина шва

$$l_2 = P_2 / (\beta K [\tau^1]) = 0,07 / (0,8 \cdot 0,009 \cdot 120) = 0,08 \text{ м.}$$

Приймаємо $l_2 = 8$ см.

Приклади 3-6 пропонуються для самостійної роботи за розрахунком кутових швів.

Приклад 3 (рис.4.1, в). Смуга перетином 300x12мм прикріплена до листа фланговими і косими швами з катетами $K=12\text{мм}$ і лобовим швом з катетом $K=8\text{мм}$. Визначити зусилля P , що допускається, якщо $[\tau^1]=120\text{МПа}$; зварювання автоматичне ($\beta = 1$).

Приклад 4 (рис.4.1, г). Визначити необхідні довжини флангових швів для прикріплення двох тяг кутникового профілю 100x100x8мм. Площа перетину тяги $F=15,6$ см². Підтримуваний вантаж $P=200\text{кн}$, зварювання напівавтоматична ($\beta = 0,8$).

Приклад 5 (рис.4.1, д). Визначити кількість зварних точок для прикріплення до листа швелера №6,5 площею перетину $F=8,28\text{см}^2$ і товщиною стінки 4,5мм за умови $P=100$ кН з напруженням, що допускається, на зріз точки $[\tau^1]=90\text{МПа}$ і провести їх розстановку з урахуванням $t, t1, t2$.

Приклад 6 (рис.4.1, е). Смуга перетином 200x12мм приварюється до листа. Зусилля $P=500\text{кн}$, напруження шва, що допускається $[\tau^1]=130\text{МПа}$. Визначити кількість наплавленого металу при швах у формі рівнобедреного трикутника з катетами D_0 , рівними 8 і 12мм; зварювання ручне ($\beta = 0,7$).

Контрольні питання до розділу 4

1. Наведіть приклади розрахунку кутових швів.
2. Як визначаються напруження у зварних швах?
3. Як визначається зусилля P при $\tau = 120$ МПа при автоматичному зварюванні?
4. Визначити необхідні довжини флангових швів для кріплення тяг заданого профілю.
5. Розрахувати кількість зварних точок прикріплення до листа швелера заданих розмірів.

5 З'ЄДНАННЯ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПЛАСТМАС

5.1. Зварка гарячим повітрям

При зварюванні повітря, нагріте в спеціальному пальнику до 250-3000С, в зоні зварки декілька охолоджується. Зварювання здійснюється присадними прутком, що подається в оброблення шва уручну або полуавтоматом.

Зварювання нагрівальним елементом. Дозволяє зварювати кутові, таврові і стикові з'єднання. Одним із способів цієї зварки є електроімпульсна зварка дуже тонких плівок завтовшки в соті долі міліметра. При цьому вузька металева стрічка притискається до зашморгування плівок, що сполучаються, нагрівається струмом і швидко охолоджується. З'єднання володіють достатньою міцністю.

5.2 Зварювання струмами високої частоти

Цим способом зварюють полівінілхлорид, поліамід і ін. Розігрівання деталей, що сполучаються, проводиться роликками, через які пропускається струм високої частоти.

5.3 Зварювання тертям

Тертям зварюють стикові з'єднання переважно тіл обертання: стрижнів круглого перетину, труб.

5.4 Зварювання ультразвуком

Зварювання ультразвуком пластмас є одним з прогресивних способів їх з'єднання. Вона проводиться по схемі, приведеній на рис.5.1. Коливання хви-

леводу направлені перпендикулярно площині стиску елементів. Зварювання зазвичай проводиться перпендикулярно площині стикуємих елементів одностороннім способом, але в деяких випадках доцільне розташування хвильоводів з двох сторін.

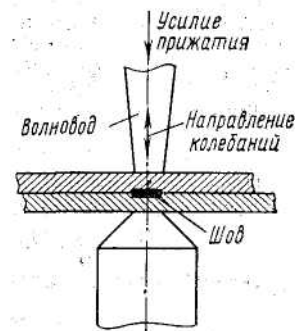


Рисунок 5.1 - Схема ультразвукового зварювання пластмас

Ультразвуком можна зварювати тонкі плівки, а також деталі завтовшки в декілька міліметрів з різних термопластичних матеріалів: полістиролу, поліетилену, полівінілхлориду, вініпласта і тому подібне. При ультразвуковому зварюванні отримують нахлесточні і таврові з'єднання.

Нахлесточні з'єднання при зварюванні ультразвуком можуть бути точковими і шовними. Для постановки точок застосовують різні системи хвильоводів, які ставлять зварні точки як по лінії, так і по складному контуру. При цьому особливо добрі результати виходять при зварюванні контурними хвильоводами, що мають в поперечному перетині круглий кільцевий профіль. Якість з'єднань, зварених ультразвуком, визначається тривалістю процесу, амплітудою коливань хвильоводу, зусиллям здавлення. Ультразвуком можна зварювати декілька пластин, створюючи пакет, а також проводити зварювання в важко доступних місцях (рис.5.2).

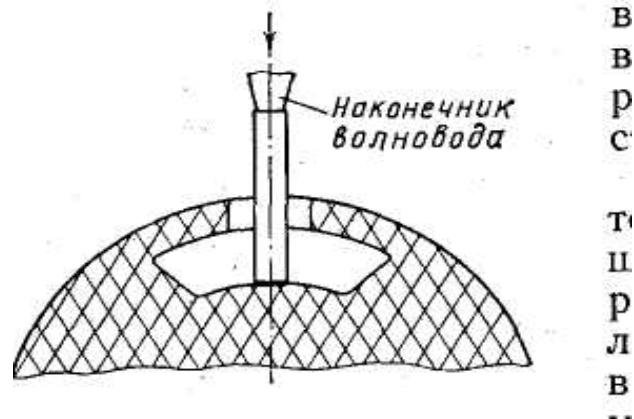


Рисунок 5.2 - Ультразвукове зварювання полімерів у важкодоступних місцях

Ультразвуком можна здійснювати зварювання не тільки в місці зіткнення хвилеводу з деталлю, але і на деякій відстані, яке залежить від властивостей полімеру і конфігурації конструкції, належного зварювання. Зварювання ультразвуком широко впроваджене в різних галузях промисловості.

В даний час за допомогою ультразвукових тканин; кісток, м'яких тканин.

Контрольні питання до розділу 5

1. Як класифікуються з'єднання при зварюванні пластмас?
2. Як здійснюється ультразвукове зварювання полімерів у важкодоступних місцях?
3. Який вид зварювання пластмас є найбільш прогресивним?

6 БОЛТОВІ З'ЄДНАННЯ

Болтові з'єднання застосовуються в конструкціях комбінованого характеру. Частина з'єднань, що виконуються в цехових умовах, проектується зварними, інша частина, виконана на монтажі, - із застосуванням болтів. Як правило, це болти високої міцності, що виготовляються із сталей 40Х, 40ХФА, і мають межу міцності при розтягуванні більш 1000МПа. Розподіл зусиль в зварному з'єднанні з такими болтами відбувається більш рівномірно, ніж в зварному з'єднанні із заклепками.

По точності виготовлення болти розділяються на ряд груп: болти підвищеної точності виготовляються згідно ГОСТ 7805-80, болти грубої точності - згідно ГОСТ15589-80. Болти встановлюються діаметром d від 10 до 48 мм при загальній довжині $l=40ч200мм$.

Болти підвищеної точності можуть бути поставлені в отвори з мінімальним зазором 0,3-0,5мм. Це забезпечує передачу зусилля в результаті щільного стикання болтів з деталями.

В деяких випадках зусилля передається за допомогою тертя. При цьому не потрібне щільне стикання тіла болта із стінками отвору і, отже, спрощуються складальні операції.

У будівельних конструкціях розрахунок болтових з'єднань на зріз проводиться по формулі:

$$\tau = \frac{P}{i\pi d^2 / 4} \leq R_{cp}^{\sigma},$$

де i - кількість болтів; d - діаметр болтів; P - зусилля.

Розрахунок на те, що зім'яло проводиться по формулі

$$\sigma_{cm} = P / (ids) \leq R_{cm}^{\sigma},$$

де s - найменша товщина частин, що сполучаються.

Розрахунок на розтягування виконується по формулі

$$\sigma_p^{\sigma} = \frac{P}{i\pi d^2 / 4} \leq R_p^{\sigma}.$$

Розрахункові опори на зріз R_{cp}^{σ} залежно від марки сталі приймаються від 150 до 300 МПа, на розтягування R_p^{σ} - від 170 до 400 Мпа, що зім'ялість R_{cm}^{σ} - від 380 до 470 Мпа.

Розрахунок високоміцних болтів, що працюють за допомогою тертя, проводиться з урахуванням зусилля натягнення болта

$$P_{\sigma} = 0,65\sigma_{\sigma}^{\sigma} F_n^{\sigma},$$

де

σ_{σ}^{σ} - межа міцності болта; F_n^{σ} - його площа по внутрішньому діаметру.

Зусилля, які сприймаються тертям, складуть

$$N = P_{\sigma} f m,$$

де $m = 0,9$ - коефіцієнт умов роботи; f - коефіцієнт тертя.

За відсутності обробки поверхонь f , що сполучаються = 0,25; при обробці щітками їй $f=0,35$; при вогняній обробці $f=0,40$.

Робочі зусилля, що сприймаються одним болтом

$$N = 0,65\sigma_{\sigma}^{\sigma} F_n^{\sigma} f m.$$

Застосування високоміцних болтів полегшує умови монтажу і нерідко виявляється раціональним з позицій підвищення працездатності конструкції при дії змінних і ударних навантажень.

Високоміцні болти можуть бути рекомендовані не тільки для сталевих конструкцій, але і для конструкцій з алюмінієвих сплавів, наприклад Амгб, ДІТ, ДІ6т т ін. Застосовують болти із сплавів Авт1, В94, ДІ6п і ін.

Розміщення болтів в конструкціях визначається наступними умовами: мінімальна відстань між центрами $3,5d$, максимальна відстань між центрами в

крайніх рядах $5d$ або $10s$, то ж, в середніх $10d$ або $14s$; мінімальна відстань від центру болта до краю елемента $2,5d$; максимальне - $6s$.

Тут d - зовнішній діаметр різьблення болта; s - найменша товщина частин, що сполучаються.

Контрольні питання до розділу 6

1. Як класифікуються болти по точності виготовлення?
2. Сфери застосування болтових з'єднань.
3. Як виконується розрахунок болтових з'єднань?
4. Назвіть умови розміщення болтів у конструкціях.

7 КЛЕЄНОЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ

Клеєнозварні з'єднання застосовують в конструкціях з алюмінієвих сплавів. Клейовий прошарок підвищує опірність конструкції корозії, а також сприймає на себе частину зусилля. Крім того, клейові прошарки сприяють усуненню розкриття зашморгування і пом'якшують концентрацію напруги, підвищуючи тим самим працездатність конструкцій. Зіставлення зусилля зрізу $R_{ср}$ клеєнозварних з'єднань, що допускається, із зварними і кльопаними залежно від товщини s елементів, що сполучаються, дано на рис.7.1.

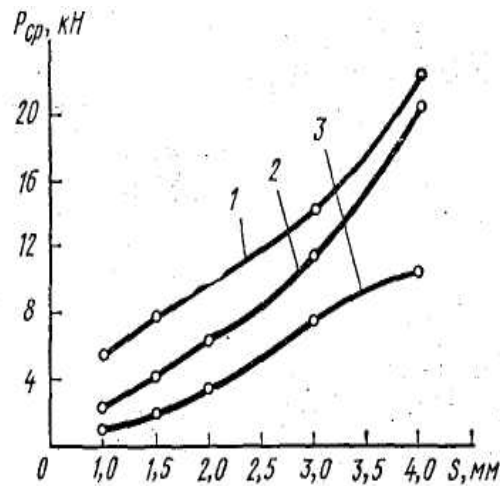


Рисунок 7.1 - Міцність клеєнозварних з'єднань:
 1 - клеєнозварні з'єднання (клей ВК-1); 2 - зварні з'єднання;
 3 - клепані з'єднання

Міцність клеєнозварених з'єднань великою мірою залежить від температури експлуатації, а також від технологічних і конструктивних параметрів, складу клеївши, величини зазору, товщина деталей. Ефективність склеювання підвищується із зменшенням товщини елементів.

Контрольні питання до розділу 7

1. Де застосовуються клеєварні з'єднання?
2. Чому сприяють клеєве прошарки цих з'єднань?
3. Від чого залежить міцність клеєварних з'єднань?

8 ПАЯНІ З'ЄДНАННЯ

Паяння здійснюється присадним металом, званим припоєм, що має температуру плавлення нижчу, ніж метал частин, що сполучаються. Процес паяння універсальний. Паянням сполучають однорідні і різнорідні метали, метал з графітом, керамікою і іншими неметалічними матеріалами.

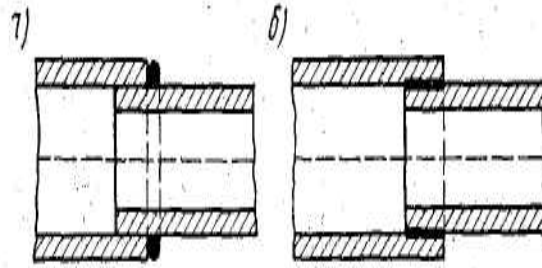


Рисунок 8.1 - Паяні трубчасті з'єднання

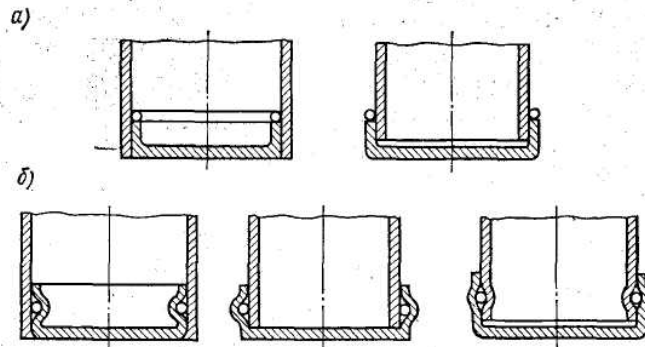


Рисунок 8.2 - Паяні з'єднання в трубах з плоскими і штампованими елементами:

а - зовнішнє розташування припою; *б* - внутрішнє розташування припою

На рис.8.1,*а* показано положення деталей перед паянням, на рис.8.1,*б* - після паяння, яке відбувається в результаті затікання розплавленого припою в зазор величиною в декілька десятків часток міліметра.

На рис.8.2 зображені паяні з'єднання труб з штампованими елементами. Належна міцність паяного з'єднання забезпечується закріпленням достатньо великої протяжності.

Розрахунок міцності паяних з'єднань проводиться залежно від характеру сил, що діють. Якщо на з'єднання внахлестку (рис.8.3, *а*, *б*) діють подовжні розтягуючі або стискуючі зусилля P , то паяні з'єднання працюють на зріз.

Напруження по площині зрізу рівна

$$\tau = \frac{P}{ca} \leq [\tau']$$

де $[\tau']$ - напруження паяного шва, що допускається, на зріз.

На рис.8.3, *в*, *г*, *д* приведені приклади паяних з'єднань встык. Паяні прямі шви (рис.8.3,*в*) не завжди можуть бути рекомендовані для робочих конструк-

цій. Косі паяні (рис.8.3,з) шви володіють вищою здатністю, що несе, особливо при вугіллі скосу 45⁰С. Зигзагоподібні з'єднання (рис.8.3,д) не можуть бути визнані доцільними. Вони складні в оформленні, а руйнування наступає по перетину, співпадаючому з вертикальною плоскістю спаю.

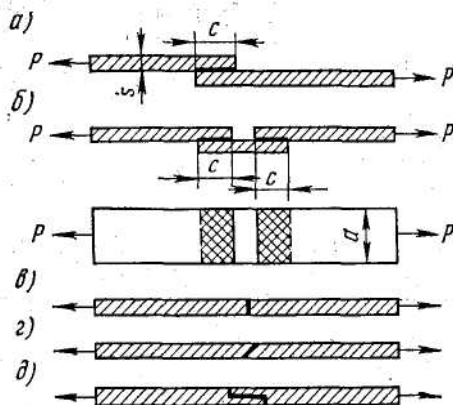


Рисунок 8.3 - Паяні з'єднання внахлист (а, б) і встик (в, з, д)

Паяні таврові з'єднання, зображені на рис.8.4,а, застосовують головним чином як пов'язують або малонапружених в елементах, що працюють на вигин. Більшою міцністю володіють таврові з'єднання, зображені на рис.8.4,б,в. Паяні з'єднання дають можливість створення жорстких і економічних елементів, що добре працюють на вигин і кручення. Приклади таких з'єднань зображені на рис.8.4, з, д.

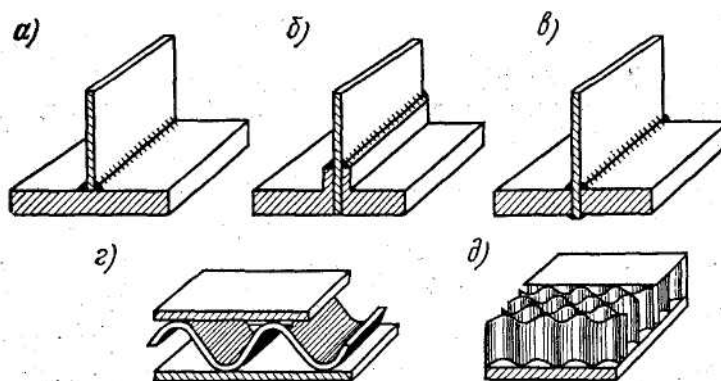


Рисунок 8.4 - Паяні з'єднання тавр:
а - менш міцні; б, в - міцніші; з, д - добре чинять опір нагину і крученню

Сполучні елементи упаюються між двома плоскостями. Паяні стільникові конструкції (рис.8.5) мають жорсткість, невелику масу, компактність.

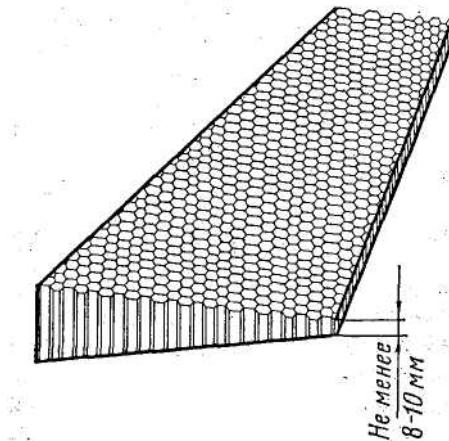


Рисунок 8.5 - Паяна стільникова конструкція

Контрольні питання до розділу 8

1. Що називається процесом паяння?
2. Де застосовується паяння?
3. Як виконується розрахунок міцності паяних з'єднань?
4. Назвіть переваги і недоліки, на паяних з'єднань.

9 ПОЗНАЧЕННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ НА КРЕСЛЕННЯХ

Зварні з'єднання повинні позначатися по ГОСТ 2.132-82. Шов зварного з'єднання зображають на кресленні: видимий - суцільною основною лінією, невидимий - штриховою лінією. Від зображення шва проводять лінію-винесення з односторонньою стрілкою, вказуючою місце розташування шва.

На кресленнях поперечних перетинів межі шва зображають суцільними основними лініями, а конструктивні елементи кромки у межах шва - суцільними лініями. Допоміжні знаки для позначення зварних швів приведені в таблиці. 9.1.

Позначення зварних швів наносять над полицею лінії - винесення у разі лицьової сторони шва і під полицею для зворотної сторони шва. Ці позначення мають наступні елементи:

- позначення стандарту на типи і конструктивні елементи швів зварних з'єднань (див. табл.9.1, стовпець 1);
- буквено-цифрове позначення шва за стандартом (див. табл.2.8, стовпець 5);
- умовне позначення способу зварювання;
- знаки профілю шва і його катета для швів кутових, таврових і нахлесточних з'єднань;
- довжина і розташування ділянок перервного шва;
- допоміжні знаки згідно таблиці. 9.1.

Стикове з'єднання позначається З, кутове - У, таврове - Т, нахлисне - Н, якщо форма шва не передбачена ГОСТом - Про (особливий).

Таблиця 9.1 - Умовні позначення зварних з'єднань

Допоміжний знак	Значення допоміжне знаку	Розташування допоміжного знаку
	Посилення шва зняти	
	Напливи і нерівності шва обробити з плавним переходом до основного металу	
	Монтажний шов	

	Шов перервний або точковий з ланцюговим розташуванням ділянок	
	То ж з шаховим розташуванням ділянок	
	Шов по замкнутій лінії	
	Шов по незамкнутій лінії	

Цифри біля літер, наприклад С25, Т4, вказують порядковий номер даного шва в Госте (вид з'єднання і шва, а також форму оброблення кромки і розміри з'єднання в зборі).

Способи зварювання мають наступні позначення: дугова - Э, газова - Грам, електрошлакова, - Ш, в інертних газах - І, ультразвукова - Уз, тертям - Тр, холодна, - Х, дифузійна - Дф, контактна - До, електроннопроменева, - Ел, лазерна, - Лз, вибухом - Вз, плазмова, - Пз, у вуглекислому газі - У.

Літера перед позначенням виду зварювання позначає: *P* - ручне, *A* - автоматичне, *П* - напівавтоматичне.

Для автоматичного зварювання прийняті наступні позначення: Автоматичне зварювання під флюсом без застосування підкладок і підварильного шва - *A*, автоматичне зварювання під флюсом на подушці флюсу *A_ф*, автоматичне зварювання під флюсом на сталевій підкладці - *A_с*, автоматичне зварювання під флюсом на флюсомідній підкладці - *A_м*, автоматичне зварювання під флюсом з попереднім накладенням підварильного шва - *A_{ни}*, автоматичне зварювання під флюсом з попереднім підварюванням кореня шва - *A_{нк}*.

Ті ж індекси використовуються при вказівці технологічних особливостей напівавтоматичного зварювання (*П, Пф, Пс* і так далі).

Для контактного зварювання застосовують наступні позначення з індексами, що відзначають її окремі різновиди: *K_p* - шовне, *K_c* - стикове, *K_{co}* - стикова опором, *K_{co}* - сплавом, *K_m* - точкова.

Буквені позначення дугового зварювання і ручного дугового зварювання на кресленнях не проставляють. Буквенні позначення інших способів зварювання проставляють на кресленнях тільки у разі застосування декількох способів. При використанні одного способу зварювання його вказують в технічних вимогах на кресленні.

Умовні позначення швів зварних з'єднань встановлені державними стандартами.

Таблиця 9.2 - Типи швів зварних з'єднань і їх умовні позначення

ГОСТ	Вид зварювання	Вид з'єднання	Межі товщини зварюваних деталей, мм	Умовні позначення швів
5264-89	Ручне дугове	Стикове Таврове Нахлисне Кутове	1-100 2-100 2-60 1-50	C1-c25 T1-t11 H1-h3 Y1-y10
8713-90	Автоматичне і напівавтоматичне під флюсом	Стикове Таврове Нахлисне Кутове	1,5-160 3-60 1-40 1,5-40	C1-c34 T1-t13 H1-h6 Y1-y10
14771-86	У захисних газах	Стикове Таврове Нахлисне Кутове	0,5-120 0,8-100 0,8-60 0,5-100	C1-c28 T1-t10 H1-h2 Y1-y10
15164-89	Електрошлакове	Стикове Таврове	16-800 16-500	C1-c3 T1-t3
14776-89	Проплавне пробкове	Нахлисне	0,5-22	H1-h6
15878-90	Контактне	Стикове Нахлисне	- 0,3-6	C1-c4 H1-h8

В умовних позначеннях швів допускаються наступні спрощення:

1) за наявності на кресленні швів, що виконуються поодиночі і потому ж стандарту, позначення стандарту вказують тільки в технічних вимогах креслення; 2) за наявності на кресленні однакових швів позначення на лінії-винесенні наносять у одного з них, а для решти швів, що мають однаковий номер, на полиці лінії-винесення вказують тільки номер шва. Якщо ж на кресленні всі шви однакові, то допускається їх зображати лініями-винесеннями без полиць; 3) допускається не відзначати на кресленні шви лініями-винесеннями, а приводити вказівки по зварюванню записом в технічних вимогах креслення, якщо цей запис однозначно визначає місце зварювання, способи зварювання, типи швів і розміри їх конструктивних елементів.

Приклади умовних позначень приведені в таблиці 9.3.

Таблиця 2.3 - Приклади умовних позначень зварних швів

Найменування шва	Приклад позначення
Шов стикового з'єднання з криволінійним скосом однієї кромки, двосторонній, виконуваний ручним електродуговим зварюванням при монтажі виробу. Посилення зняте з обох боків.	<u>ГОСТ5264-89-с9</u>
Шов таврового з'єднання без скосу	<u>ГОСТ14771-89-75-уп-Δ6-502100</u>

<p>кромки, двосторонній, переривистий з шаховим розташуванням, виконаний ручним електродуговим зварюванням в захисних газах плавким металевим електродом по замкнутій лінії. Катет шва 6мм. Довжина проварюваної ділянки 50мм, крок 100 мм.</p>	
<p>Шов з'єднання внахлестку без скосу кромки, односторонній, виконаний напівавтоматичним електродуговим зварюванням в захисних газах плавким електродом. Шов по незамкнутій лінії. Катет шва 5 мм.</p>	<p><u>ГОСТ14771-89-н1-уп-Δ5</u></p>
<p>Спрощене зображення однакових швів, за умови повного позначення одного з них</p>	<p><u>№1</u></p>
<p>Те саме якщо всі шви на кресленні однакові</p>	

Контрольні питання до розділу 9

1. Вимоги до позначення зварних з'єднань на кресленнях.
2. Класифікація умовних позначень зварних з'єднань.
3. Які позначення прийняти для автоматичного зварювання?
4. Які позначення прийняти для контактного зварювання?
5. Які спрощення допускаються в умовних позначеннях швів?
6. Наведіть приклади умовних позначень зварних швів.

10 З'ЄДНАННЯ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ВИГІН І СКЛАДНИЙ ОПІР

Приклади з'єднань, що працюють на вигин, показані на рис.10.1, а, б.

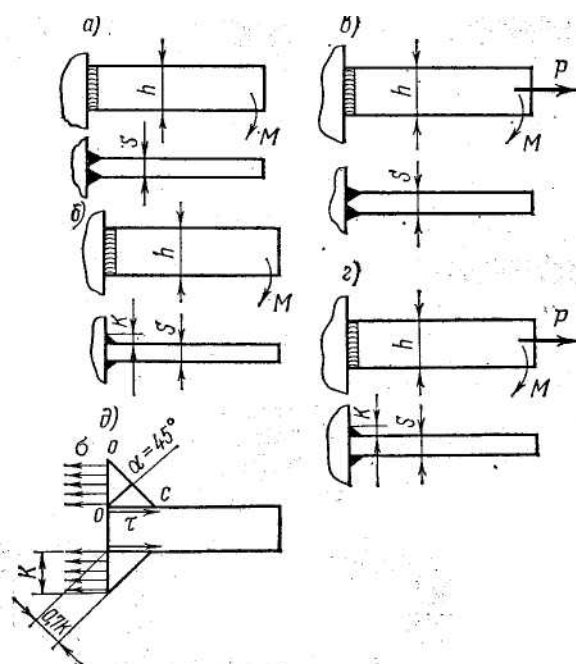


Рисунок 10.1 - Схеми з'єднань:

а, б - шви, що працюють на вигин; *в-г* - шви, що працюють на складний опір;
д - схема завантаження кутового шва

Якщо шов виконаний з підготовкою кромки (рис.10.1,*а*), то його розміри відрізняються від розмірів приварюваної смуги. Тому напруження в шві визначається по формулі

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]_p,$$

де $W = sh^2 / 6$; $[\sigma]_p$ - напруження розтягування зварного з'єднання, що допускається; M - момент, що вигинає.

При дії моменту, що вигинає, M і подовжньої сили P (рис.10.1, *в, г*)

$$\sigma = M / W + P / F,$$

де $F = hs$.

Якщо смуга приварена двома вертикальними кутовими швами (рис.10.1,*б*), той напрям у площині прикріплення 0-0 (рис.10.1,*д*) буде

$$\sigma = M / W_c,$$

де W_c - момент опору кутових швів. У площині 0-0 момент опору двох зварних швів висотою h і катетом D_0 рівний

$$W_c = 2Kh^2 / 6.$$

При цьому слід мати на увазі дві обставини.

По-перше, руйнування кутових швів зазвичай відбувається не при площині 0-0. Тому розрахунковий момент опору кутових швів приймають по меншому перетину; він буде рівний

$$W_c = \frac{2\beta Kh^2}{6}.$$

По-друге, розрахунок міцності швів слід проводити не при нормальному напруженні (площина 0-0), що допускається, а по напрузі на косій площині. Значення цього напруження обмежують напруженням, що допускається, на зріз $[\tau']$. Таким чином, розрахункове напруження в швах (рис.10.1,б) від моменту M визначають по формулі

$$\tau = \frac{M}{W_c} \leq [\tau'].$$

При дії в цьому з'єднанні моменту M і подовжньої сили P розрахункова дотичне напруження в кутових швах (рис.10.1,г) дорівнює

$$\tau = M/W_c + P/F_c \leq [\tau'],$$

де F_c - площа перетину кутових швів.

У швах, що мають форму рівнобедреного трикутника $F_c = 2 \cdot 07 Kh$.

Розглянемо розрахунок міцності швів, що лежать у площині моменту, що вигинає (рис.10.2).

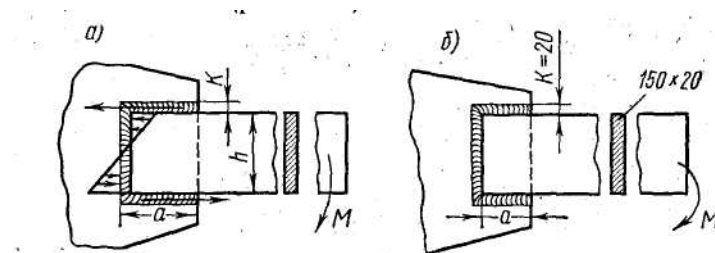


Рисунок 10.2 - Зварювальні з'єднання у площині моменту M , що вигинає:
 а - схема розрахунку швів; б - приклад розрахунку за способом розчленування з'єднання

Розрахунок міцності проведемо за способом розчленування з'єднання на складові. Приймаємо, що момент M врівноважується моментом пари сил в

горизонтальних швах M_c і моментом затискання вертикального шва M_b (рис.10.2,а):

$$M = M_c + M_b .$$

Допустимо, що шви мають форму рівнобедреного трикутника. У горизонтальних швах утворюється пара сил. Її момент рівний

$$M_c = \tau \beta K a (h + K) .$$

Момент у вертикальному шві обчислює за формулою

$$M_b = \tau \beta K h^2 / 6 .$$

Розраховуємо звідси дотичне напруження
З рівняння дотичного напруження при конструюванні з'єднання, легко визначити необхідну довжину швів a або катет Do .

Приклад розрахунку. Сконструювати прикріплення смуги перетином 150×20 мм вертикальними і горизонтальними швами, рівномічне цілому елементу при вигині (рис.10.2,б); напруження, що допускається $[\sigma]_p$; зварювання напівавтоматичне ($\beta = 0,8$); $[\tau'] = 0,65 [\tau]_p$.

Момент, що допускається в смузі, рівний

Момент, що допускається у вертикальному шві при $K=20$ мм і $\tau' = 0,65 [\sigma]_p$ рівний

$$M_b = 0,65 [\sigma]_p \beta K h^2 / 6 .$$

Момент, що допускається в горизонтальних швах, обчислюється за формулою

$$M_c = M - M_b .$$

Зусилля на один горизонтальний шов рівне

$$P_r = M_r / (h + K) = [\sigma]_p h^2 (s - 0,52K) / [6(h + K)] .$$

Необхідна довжина горизонтального шва при $K=20$ мм визначається по формулі

$$a = P_r / [\tau'] \beta K = [\sigma]_p h^2 (s - 0,52K) / [3,12 [\sigma]_p (K + h) K] \approx 0,02 \text{ м} .$$

З конструктивних міркувань можна прийняти $a = 50$ мм.

У ряді випадків, особливо, коли з'єднання мають складну форму (рис.10.3,а) і розчленування їх на складові недоцільно, розрахунок міцності доцільно проводити за способом полярного моменту інерції.

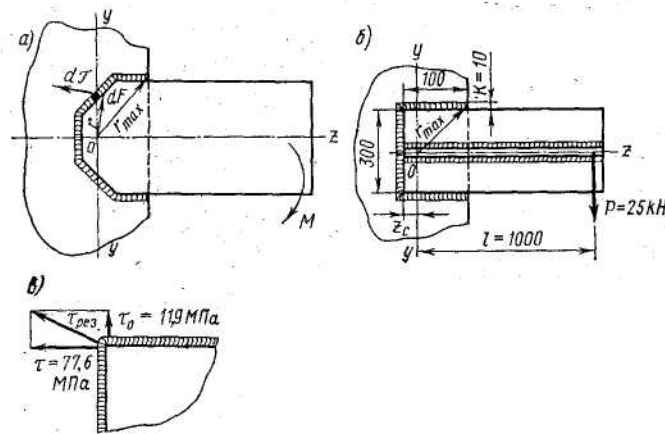


Рисунок 10.3 - Зварні з'єднання у площині моменту M , що вигинає:
 а- схема розрахунку швів за способом полярного моменту інерції; б - приклад розрахунку швів; в - визначення результуючого напруження

Прийmemo як робочу гіпотезу, що під дією моменту M з'єднання прагне обернутися щодо свого центру тяжіння O . У елементі dF шва утворюється реактивна сила

$$dM = \tau dF \cdot r.$$

Момент реактивної сили щодо точки O рівний $dM = \tau r dF$. Для всього з'єднання

$$M = \int_F \tau r dF.$$

Оскільки переміщення точок шва пропорційне відстані r , то і напруження τ визначаються як лінійні функції від r .

Із співвідношення $\tau / \tau_l = r / I$ знаходимо $\tau = \tau_l r$, де τ_l - напруження на умовній відстані від центру, рівній одиниці. Оскільки τ_l не залежить від r , то M можемо знайти таким чином $M = \tau_l \int_F r^2 dF$.

Інтегралом є полярний момент інерції зварних швів щодо точки O .

$$\int_F r^2 dF = I_p.$$

Полярний момент інерції дорівнює сумі два осьових : $I_p = I_z + I_y$.

Знаходимо напругу $\tau_l = M / I_p$.

Найбільша напруга рівна $\tau_{max} = (M / I_p) r_{max}$.

Приклад розрахунку. Визначити напруження в конструкції з'єднання (рис.10.3,б); зварка ручна ($\beta = 0,7$).

Визначаємо координати центру швів з'єднання таврової балки з листом. Абсциса центру тяжіння периметра швів щодо вертикальної кромки смуги рівна

$$Z_C = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 5 - 30 \cdot 1 \cdot 0,5}{2 \cdot 10 \cdot 1 + 30 \cdot 1} = 1,7 \text{ см.}$$

Момент інерції швів щодо осі Z

$$I_z = 30^3 \cdot 1 / 12 + 2(10 \cdot 1^3 / 12 + 10 \cdot 1 \cdot 15,5^2) = 7056 \text{ см}^4$$

Момент інерції щодо осі Y

$$I_y = 2 \cdot 10^3 \cdot 1 / 12 + 2 \cdot 10 \cdot 1(5 - 1,7)^2 + 30 \cdot 1^3 \cdot 12 + 30(1,7 + 0,5)^2 = 532 \text{ см}^4.$$

Полярний момент інерції периметра швів рівний

$$I_p = I_z + I_y = 7588 \text{ см}^4.$$

Розрахунковий полярний момент інерції швів (з урахуванням руйнування по площості, співпадаючій з бісектрисою прямого кута)

$$I_p^1 = 0,7 \cdot 7588 = 5311 \text{ см}^4 = 5,311 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Вигинаючий момент $M = 0,025 \cdot l = 0,6025 \text{ МН} \cdot \text{м}$.

Найбільше напруження від моменту, що вигинає, у точці на відстані r_{max} (рис. 10.3,б) дорівнює

$$\tau_{max} = 0,025 \sqrt{0,16^2 + 0,083^2} / (5,311 \cdot 10^{-5}) = 84,7 \text{ МПа}.$$

Приймемо умовно, що перерізуюча сила $Q = P = 25 \text{ кН}$ сприймається тільки вертикальними швами. Тоді середнє напруження у вертикальному шві

$$\tau_o = 0,025 / (0,3 \cdot 0,7 \cdot 0,01) = 11,9 \text{ МПа}.$$

Оскільки в зоні σ_{max} напруження $\tau_o = 0$, то перевірки результуючого напруження не вимагається.

Визначимо напруження в тому ж з'єднанні методом розчленовування на два горизонтальні шви і один вертикальний

$$\tau = 0,025 / (0,7 \cdot 0,01 \cdot 1(0,3 + 0,01) + 0,7 \cdot 0,01 \cdot 0,3^2 / 6) = 77,6 \text{ МПа}.$$

За цим способом розрахунку τ постійно по довжині горизонтальних швів. Розрахункове результуюче напруження в перетині горизонтального і вертикального швів (рис.10.3,в) дорівнює

$$\tau_{рез} = \sqrt{77,6^2 + 11,9^2} = 78,5 \text{ МПа}.$$

Розрахунок міцності за способом полярного моменту інерції дає велике значення напруження, тому обчислення напруження за цим способом забезпечує великий запас міцності. У основі розрахунку за *способом осьового моменту інерції* лежить допущення, що напруження в швах пропорційна деформаціям в основному металі (рис.10.4) і, отже, зростають в лінійній залежності від відстані точки до нейтральної осі елемента.

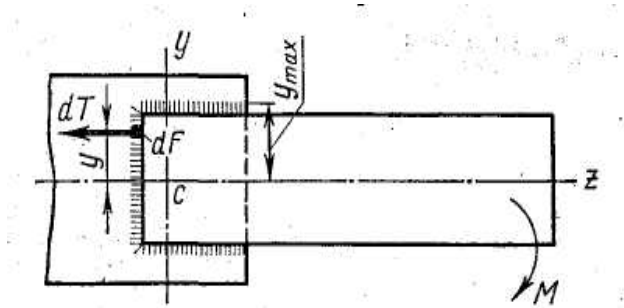


Рисунок 10.4 - Зварювальне з'єднання у площині моменту M

Реактивне зусилля в елементі рівне

$$dT = \tau dF.$$

Реактивний момент в елементі визначається по формулі

$$dM = ydT.$$

Повний момент внутрішніх сил

$$M = \int ydT = \int_F \tau y dF.$$

Приймаємо, що напруження є лінійною функцією відстані до осі. При цьому

$$\tau / \tau_1 = y / I,$$

де τ_1 - напруження на відстані, рівному одиниці від осі z .

Тоді

$$M = \tau_1 \int y^2 dF.$$

Інтеграл виражає інерції швів щодо осі z .

Найбільше напруження

$$\tau_{max} = M / (I_z y_{max}) \leq [\tau^1].$$

Результати розрахунку міцності за способом осьового моменту трохи відрізняються від результатів розрахунку за способом розчленування на складові.

Найчастіше застосовують перший спосіб, особливо при конструюванні з'єднань з урахуванням заданих зусиль. Другий спосіб використовують для визначення розрахункового напруження при заданих розмірах з'єднань. Третій спосіб використовують при заданих розмірах з'єднань. Четвертий спосіб використовують в тих випадках, коли розчленовування з'єднань скрутне.

При розгляді міцності прикріплень елементів, що працюють на вигин, припускаємо, що кутові шви мають форму рівнобедреного трикутника. Розрахунок міцності проводиться на зріз у площині, співпадаючій з бісектрисою прямого кута і рівній за площею βKa , де Do - катет шва, a - довжина шва.

Визначимо напруження в зварному з'єднанні, що прикріплює балку прямокутного поперечного перетину, яка працює на вигин, щодо осі $x-x$ (рис. 10.5,а).

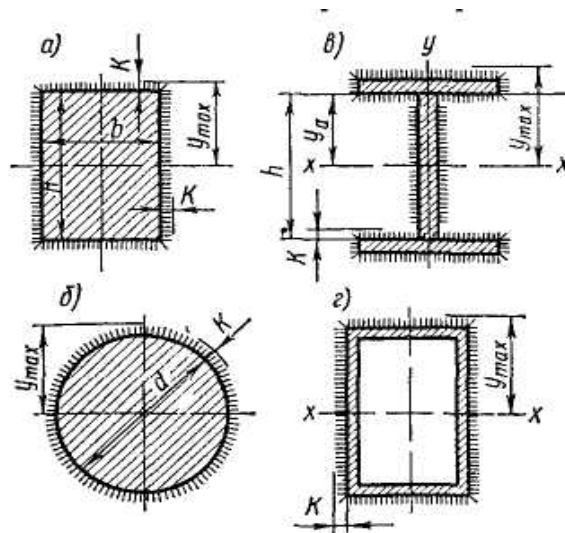


Рисунок 10.5 - Зварні з'єднання елементів, обварених по периметрах кутовими швами:

а - прямокутний перетин ; б - круглий перетин; в - двотавровий перетин;
г - коробчатий перетин

З'єднання сконструйоване з кутовими швами, що охоплюють профіль по периметру. Нормальне напруження в балці викликає дотичне напруження τ у швах:

$$\tau = \frac{M}{W_C} \leq [\tau^1].$$

Момент опору $W_C = I_c / y_{max}$ де I_c - розрахунковий момент інерції периметра швів щодо осі $x-x$. З урахуванням можливого руйнування по найменшому перетину $I_c = I \beta$ де I - момент інерції периметра швів, тобто

$$I_c = \beta \left\{ 2Kb[(h+K)/2]^2 + 2K^3b/12 + 2K(h+2K)^3/12 \right\};$$

$$y_{max} = h/2 + K.$$

Для круглого поперечного перетину (рис.2.40, б)

$$I_C = \beta [\pi (d + 2K)^4 / 64 - \pi d^4 / 64];$$

$$y_{max} = d / 2 + K.$$

Розрахунок міцності прикріплення довільних профілів двотаврових, коробчатих (рис.10.5, в, г), таврових і інших проводиться так само, як у випадках, розглянутих вище.

Якщо елемент працює при складному опорі - моменті M , що вигинає, і подовжній силі N , то сумарне напруження у з'єднанні рівне

$$\tau = \frac{M}{I_C} y_{max} + \frac{N}{F_C},$$

де F_C - розрахункова площа швів:

$$F_C = \beta KL,$$

де L - довжина периметра швів.

Якщо елементи навантажені поперечними навантаженнями, то в них виникають моменти M , що вигинають, і поперечні сили Q . Напруження у зварних швах від дії сили Q визначають з урахуванням наступних допущень: поперечна сила сприймається тільки вертикальними швами, розподіл напруження по довжині вертикальних швів рівномірно. Таким чином, середнє напруження в шві від поперечної сили дорівнює $\tau_0 = \frac{Q}{F_B}$, де F_B - розрахункова площа вертикальних швів.

На рівні верхньої кромки вертикального листа в швах слід перевірити результуюче напруження від дії моменту і поперечної сили.

Напруження від моменту

$$\tau_1 = \frac{M}{I_C} y_a,$$

де y_a - відстань від осі, що проходить через центр тяжіння перетину, до горизонтальної верхньої кромки (рис. 10.5, в).

Напруження від поперечної сили

$$\tau = Q / (2\beta Kh).$$

Результуюче напруження

$$\tau_{рез} = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_0^2} \leq [\tau'].$$

Практика розрахунків показує, що перевірка міцності є вирішальною.

Приклад розрахунку. Консольна балка двотаврового профілю (рис.10.6)

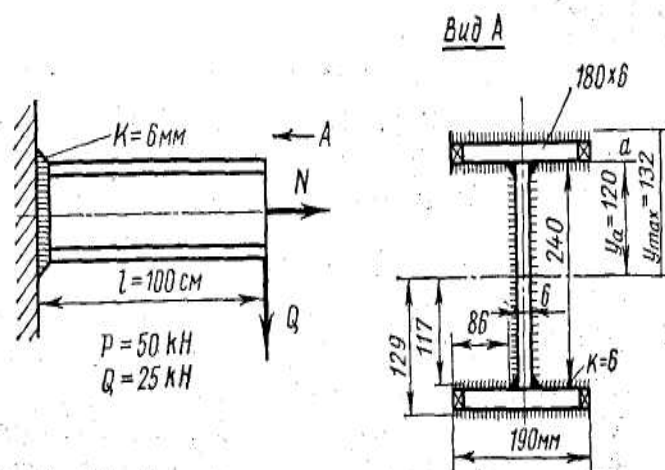


Рисунок 10.6 - Розрахунок швів з'єднань при складному опорі

Прикріплена по периметру кутовими швами з катетом $K=6\text{мм}$; *повздовжня-* сила $N=50\text{кН}$; *поперечна* сила $Q=2,5\text{кН}$; зварювання напівавтоматичне ($\beta = 0,8$).

Момент інерції периметра кутових швів рівний

$$I = 2 \cdot 24^3 \cdot 0,6 / 12 + 2(19 \cdot 0,6^3 / 12 + 19 \cdot 0,6 \cdot 12,9^2) + 2(2 \cdot 8,6 \cdot 0,6^3 / 12 + 2 \cdot 8,6 \cdot 0,6^3 / 12 + 2 \cdot 8,6 \cdot 0,6 \cdot 11,7^2) = 8000 \text{ см}^4.$$

Розрахунковий момент інерції кутових швів з урахуванням руйнування по небезпечній площині ($\beta = 0,8$)

$$I_c = I \beta = 0,8 \cdot 8000 = 6400 \text{ см}^4.$$

Ордината $y_a = 12 \text{ см}$. Площа всього периметра кутових швів

$$F = 2 \cdot 24 \cdot 0,6 + 2 \cdot 19 \cdot 0,6 + 4 \cdot 8,6 \cdot 0,6 = 72,2 \text{ см}^2.$$

Їх розрахункова площа з урахуванням руйнування по небезпечній площині рівна

$$F_c = F \beta = 0,8 \cdot 72,2 = 57,7 \text{ см}^2.$$

Розрахункова площа вертикальних швів з урахуванням руйнування по небезпечній площині буде $F'_c = 2 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 24 = 23,0 \text{ см}^2$.

Напруження від вигину на крайній кромці вертикального листа дорівнює

$$\tau_l = M y_a / I_c = 0,025 \cdot 1 \cdot 0,12 / (6400 \cdot 10^{-8}) = 47 \text{ МПа}.$$

Напруження від подовжньої сили в кутових швах з'єднання

$$\tau_N = N / F_C = 0,05 / (57,7 \cdot 10^{-4}) = 8,4 \text{ МПа.}$$

Сумарне напруження

$$\tau = 47 + 8,4 = 55,4 \text{ МПа.}$$

Середня дотичне напруження у вертикальних швах

$$\tau_0 = \frac{0,025}{23 \cdot 10^{-4}} = 10,9 \text{ МПа.}$$

Результуюча напруження при $y_a = 12 \text{ см}$

$$\tau_{рез} = \sqrt{55,4^2 + 10,9^2} = 56,5 \text{ МПа.}$$

Напруження від вигину при $y_{max} = 13,2 \text{ см.}$

$$\tau = My_{max} / I_C = \frac{0,025 \cdot 1}{6400 \cdot 10^{-8}} 0,132 = 51,6 \text{ МПа.}$$

Сумарна напруження від M і N при $y_{max} = 13,2 \text{ см.}$

$$\tau_{сум} = 51,6 + 8,4 = 60,0 \text{ МПа.}$$

Контрольні питання до розділу 10

1. Наведіть приклади з'єднань, що працюють на вигин.
2. Яким методом виконується розрахунок міцності зварних швів?
3. Що називається способом полярного моменту інерції?
4. Як виконується розрахунок міцності зварних швів за способом осьового моменту?
5. Як раціонально розрахувати на міцність консольну балку двотаврового профілю?

ПЕРЕЛІК ОСНОВНОЇ ТА ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. СНИП П-23-81. Стальные конструкции. М.: Госстройиздат, 1982.-93с.
2. Бунчук В.АА. Атлас рабочих чертежей вертикальных резервуаров для нефтепродуктов. -М.-Госстройиздат, 1970.
3. Лессинг Е.Н., Лилеев А.Ф., Соколов А.Г. Листовые металлические

- конструкції.-М.: Госстройиздат,1970.
4. Муханов К.К. Металлические конструкции.-М.: Госстройиздат,1971.
 5. Николаев Г.А. Расчет сварных соединений и прочность сварных конструкций.- М.: Высшая школа, 1965.
 6. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций.- М.: Высшая школа, 1971.
 7. Парницкий А.Б., Шабанков А.П. Мостовые краны общего назначения.-М.- Свердловск, Машгиз, 1961.
 8. Сафарьян М.К., Иванцов О.М. Проектирование и сооружение стальных резервуаров.-М.: Гостехиздат, 1960.
 9. Клименко Ф.Э., Барабаш В.М. Металеві конструкції.- Львів, 1994.-279с.
 - 10.Марочник сталей и сплавов / Под ред.. А.С.Зубченко.-М.: Машиностроение, 2001.-672с.

Додаткова

- 11.Кузьминов С.А. Сварочные деформации Л.- Судостроение, 1974.- 286с.
- 12.Бельчук Г.А., Гатовский К.М., Кох Б.А. Сварка ед. их конструкцій .- Л.: Судостроение, 1980ю- 448с.
13. Майзель В.С., Навроцький Д.И. Сварные конструкции.- Л.: Машиностроение, 1973.-304с.
14. Проектирование сварных конструкций в машиностроении / Под ед... С.А.Куркина.- М.: Машиностроение, 1975.-376с.
15. Постольник Ю.С., Огурцов А.П., Решетняк І.С. Основи металургійної термомеханіки.- Дніпродзержинськ, Вид ДДТУ.-1998.-360с.
16. Сортамент черных металлов. Сортовой и фасонный прокат. Сб. стандартов.М.: Изд-во стандартов, 1991.-412с.
17. Лихтарников Я.М., Ладыжевский Д.В., Клыков В.М. Расчет стальных конструкций.- К.: Будівельник , 1984.- 368с.

Методичні вказівки

18. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисципліни «Зварні конструкції» для студентів заочної форми навчання спеціальності 6.050504- Технологія та устаткування зварювання / Укл. Ю.А.Гасило.- Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016.-28с.

НАВЧАЛЬНЕ ВІДАННЯ

Конспект лекцій з дисципліни «Зварні конструкції» для студентів усіх форм навчання напряму 6.050504 «Зварювання»

Укладач: Гасило Юрій Анатолійовіч, канд. техн. наук, доцент

51918, м. Кам'янське, вул. Дніпробудівська, 2

Підписано до друку _____ 2017 р.

Формат 80/34 1/16. Обсяг _____ др. арк.

Наклад 10 примірників. Замовлення _____