

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни
«Розрахунки та проектування зварних конструкцій»
(частина 1)

для студентів освітньої програми «Технології та устаткування
зварювання» усіх форм навчання

2020

Конспект лекцій з дисципліни "Розрахунки та проектування зварних конструкцій" (частина 1) для студентів освітньої програми «Технології та устаткування зварювання» усіх форм навчання / Укл. М.Ю. Осіпов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 58 с.

Укладачі: Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент
Капустян О.Є., канд. техн. наук, доцент

Рецензент: Лаптева Г. М., канд. техн. наук, доцент

Редактор: Аверченко І.П., ст. лаб.

Відповідальний за випуск:
Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол №7 від 19.02.2020 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №6 від 10.03.2020 р.

З М І С Т

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	4
Вступ	5
1 Матеріали, що використовуються для зварних конструкцій	10
1.1 Сталі	10
1.2 Кольорові сплави	15
1.3 Пластмаси	16
1.4 Композитні матеріали	17
2 Сортамент	18
3 Зварні з'єднання і розрахунок їх статичної міцності	23
3.1 Коротка класифікація основних видів зварювання	23
3.2 Принцип розрахунку зварних з'єднань по граничних станах	24
3.3 Принципи розрахунку машинобудівних конструкцій по допустимим напруженням	27
4 Розрахунки міцності зварних з'єднань, виконаних дуговим зварюванням	35
4.1 Стикові з'єднання	37
4.1.1 Прямі шви	39
4.1.2 Косі шви	40
4.2 З'єднання внапусток	42
4.3 Таврові з'єднання	54
4.4 Кутові з'єднання	56
4.5 Дугові з'єднання алюмінієвих сплавів	56
Частина 2	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

σ_B – межа міцності, МПа

σ_T – межа текучості, МПа

$\sigma_{0,2}$ – напруження, що викликають залишкову пластичну деформацію 0,2 %, МПа

α_n – ударна в'язкість, кДж/м²

J_x, J_y – моменти інерції перетинів, м⁴

W_x, W_y – моменти опору перетинів, м³

F – площа поперечного перетину, м²

$[\sigma]$ – допустимі напруження, МПа

$[\sigma]_p$ – допустимі напруження при розтягуванні, МПа

$[\sigma]_{ст}$ – допустимі напруження при стискуванні, МПа

$[\tau]$ – допустимі напруження при зрізі, МПа

РДЗ – ручне дугове зварювання

АЗФ – автоматичне зварювання під флюсом

СЗГ – зварювання в середовищі захисного газу

ЗТВ – зона термічного впливу

та ін. – та інші

ц. в. – центр ваги

ВСТУП

Мета вивчення дисципліни: системне формування у студентів знань і загальних уявлень про сучасний стан теоретичних основ проектування зварних конструкцій, вивчити методику інженерних розрахунків і основні правила проектування зварних конструкцій.

Основними завданнями дисципліни є: вивчення методів розрахунку зварних з'єднань і конструкцій в умовах статичного і циклічного навантаження, вивчення напружено-деформованого стану зварних з'єднань після зварювання і впливу його на міцність конструкцій.

Об'єм учбових годин по видах занять:

- для студентів **денної форми** навчання:

Лекції – 32 години.

Лабораторні заняття – 64 години.

Курсовий проект – **захист до 25 травня.**

Залік

- для студентів **заочної форми** навчання:

Лекції – 6 годин

Лабораторні заняття - 6 годин + консультації

Курсовий проект – **захист до 14 травня.**

Залік

Основна література

1. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, автоматизация производства и проектирование сварных конструкций. Учебное пособие / Г.А. Николаев, С.А. Куркин. – К.: Высшая школа, 1983. – 344 с.
2. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с.
3. Николаев Г.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. Учеб. Пособие для машиностроит. вузов / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М.: Высшая школа, 1971. – 760 с.

4. Серенко А.Н. Расчет сварных соединений и конструкций / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольт, К.В. Багрянский. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.

Допоміжна література

1. Одесский П.Д. Предотвращение хрупких разрушений металлических строительных конструкций / П.Д. Одесский, И.И. Ведяков, В.М. Горпинченко. – М.: Интермет Инжиниринг, 1998. – 220 с.
2. Стеклов О.И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением / О.И. Стеклов. – М.: Машиностроение, 1990. – 383 с.
3. Проектирование сварных конструкций в машиностроении. Атлас / под ред. С.А. Куркина. – М.: Машиностроение, 1975. – 336 с.
4. Металлические конструкции. Спец. курс: Учебное пособие / Е.Н. Беленя [и др.]. – М.: Стройиздат, 1991. – 678 с.
5. Терентьев В. Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов / В. Ф. Терентьев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 288 с.

В основу даної дисципліни покладені знання і інформація ряду загально-інженерних і спеціальних дисциплін:

- опір матеріалів;
- матеріалознавство;
- теоретична механіка;
- деталі машин і ПТМ;
- теорія зварювальних процесів.

Вивчивши курс "Розрахунки та проектування зварних конструкцій", студент спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології та устаткування зварювання» відповідно до кваліфікаційної характеристики:

- **повинен знати** основні методи розрахунку і раціонального проектування зварних конструкцій, що забезпечують найменшу їх матеріаломісткість;

- **повинен уміти** робити всі необхідні розрахунки і здійснювати авторський нагляд за реалізацією проектних рішень.

Досягнення зварювальної науки і техніки дають можливість створювати раціональні, економічні, надійні та технологічні зварні конструкції.

При цьому зварювання дозволяє більш ефективно використовувати інші технологічні процеси – прокатування, гнуття, штампування, литво, кування.

Зварювання металів – один з провідних технологічних процесів в металообробці та будівництві.

Найбільш поширеним способом зварювання є дуговий, за допомогою якого виконується основна маса зварювальних робіт в країні.

Дугове зварювання винайдено в 1882 р. видатним російським винахідником М.М. Бенардосом. Розроблена ним техніка і технологія дугового зварювання вугільним електродом стали широко відомі не лише в Росії, але і в інших країнах.

Подальшому розвитку дугового зварювання сприяли роботи російського інженера М.Г. Славянова, що застосував електрод з того ж металу, що і оброблювана деталь.

До середини 20-х років двадцятого століття дугове зварювання вже широко застосовується не лише в промисловості, але і при спорудженні металевих будівельних конструкцій – балок, колон, крокв, сходів і ін. Спочатку зварювали невідповідальні деталі, наприклад, рами для вікон і дверей промислових підприємств, перегородки, обгороджування, а надалі створювали повністю зварні конструкції промислових будівель.

У 1927 р. на Дніпропетровському заводі ім. Артема був виконаний в зварному варіанті напірний трубопровід тиском 0,5 МПа (5 атм), завдовжки 137 м, діаметром 1,9 м для Єреванської ГЕС.

Починаючи з 1935 р. зварювання поширилося майже в усі галузі промисловості та будівництва і відіграло велику роль в їх реконструкції.

У 1934 р. на базі кафедри інженерних споруд і комітету електрозварювання був створений Інститут електрозварювання Академії Наук (ІЕЗ АН), який до останніх днів свого життя очолював Є.О. Патон.

Важко переоцінити роль ІЕЗ в створенні наукових засад зварювання, міцності зварних конструкцій, розробки технологій

зварювання та зварювального обладнання. **Немає жодного напрямку в зварюванні, який би не опрацьовувався в ІЕЗ ім. Є.О. Патона.**

Питанням дослідження міцності зварних з'єднань приділяється надзвичайно важлива увага.

Ще в 30-х роках Є.О. Патон, В.Н. Горбанів, Г.А. Миколаїв і інші доказали, що для роботи під дією статичного і вібраційного навантажень найбільш раціонально застосовувати з'єднання встик, оскільки вони мають найменшу концентрацію напружень.

Проте ці висновки тривалий час не враховувалися проектувальниками. Вони механічно копіювали конструктивні форми клепаних з'єднань, унаслідок чого в зварних конструкціях з'явилося багато з'єднань внапуск і з'єднань з кутовими швами, а також накладок і косинок, що встановлюються з метою удаваного підвищення міцності.

При цьому не бралися до уваги концентрація напружень і власні напруження, викликані зварюванням, які у поєднанні з іншими несприятливими чинниками знижували міцність конструкцій. Лише пізніше, коли багато зварних конструкцій зазнали аварії, проектні організації відмовилися від зайвих зварних швів і підсилюючих елементів.

Недоліком механічного копіювання клепаних конструкцій було ще і те, що обмежувалась механізація способів зварювання - зварювання виконувалося вручну.

У 1939-1940 рр. намітився етап в розвитку зварних конструкцій, пов'язаний з розробкою і впровадженням автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом (приклад – танки на Уралі).

За 1959-1965 р.р. за допомогою електрозварювання виготовлялося близько 95 % всього об'єму сталевих конструкцій.

До найбільш видатних досягнень зварювальної науки і техніки можна віднести такі:

- а) розробка електрошлакового зварювання (1957 р.),
- б) розробка і впровадження в промисловість способу зварювання з CO_2 (1963 р.),
- в) створення устаткування і технології для контактного зварювання рейок (1966 р.).

Машина для зварювання рейок була придбана фірмою "Холланд" (США). При будівництві метро у Вашингтоні на цій

машині було виконано зварювання 8500 стиків рейок і ні в одному з них не було виявлено дефектів.

Приклади:

У 1962 р. закінчено будівництво першої цілісно-зварної башти заввишки 316,2 м для Ленінградського телецентру. Монтажні елементи металевих конструкцій були виготовлені на Дніпропетровському заводі металоконструкцій ім. Бабушкіна.

У 1964-67 рр. у багатьох містах були споруджені башти заввишки до 380 м.

В ті роки був побудований найпотужніший в світі атомохід "Ленін", а потім криголами такого типу – "Арктика", "Сибір" і ін. (суцільнозварний корпус криголаму).

Мостобудування – завжди було і залишається областю, на яку рівняються розробники інших видів будівельних конструкцій. Це пояснюється великою відповідальністю мостів, складністю їх конструкцій, важкими умовами праці.

Вже в довоєнний період в нашій країні було споруджено більше 20 зварних мостів.

У СРСР розроблені типові проекти суцільнозварних доменних печей.

Для виготовлення листових конструкцій вперше в світовій практиці у нас в країні був розроблений метод виготовлення резервуарів з рулонів.

Зварювання в космосі – 16 жовтня 1969 р. – Шонін Г.С. і Кубасов В.М. (СРСР), американці – в 1973 р.

1 МАТЕРІАЛИ, ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Сталі

Механічні властивості матеріалів визначають несучу здатність, тобто здатність сприймати задані навантаження. Вони в значній мірі характеризують величину маси матеріалу виробів і безпосередньо впливають на їх стійкість.

Діаграма деформації низьковуглецевих сталей (рис. 1.1) має горизонтальну ділянку, яка визначає значення межі текучості σ_T . Ця площадка текучості, варіюється в межах 0,2...2,5 %. Якщо на діаграмі деформації сталі немає горизонтальної ділянки, то σ_T визначається умовно значенням напруження, при якому залишкові деформації після зняття навантаження складають 0,2 % (позначають $\sigma_{0,2}$).

Деформації розподіляються по довжині зразка нерівномірно. Вони концентруються на деякій ділянці, де виникають найбільші зменшення площі поперечного перетину, звані "шийкою".

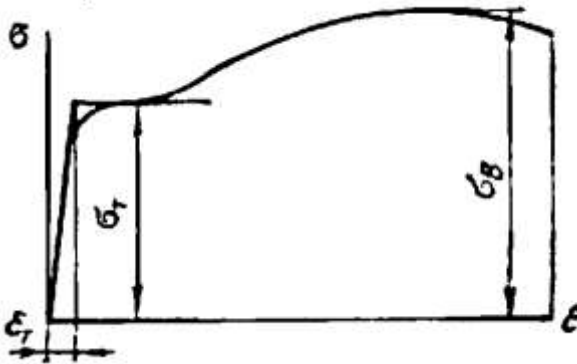


Рисунок 1.1 – Діаграма деформації низьковуглецевої сталі

До основних механічних властивостей, як правило, відносять наступні.

1. Межа міцності σ_B , часто звана тимчасовим опором, є відношенням максимального зусилля P , що випробовується при розриві, до первинної площі поперечного перетину зразка.

2. Межа текучості σ_T – максимальна напруга, при якій деформації переходять з пружної в пластичну область. Зважаючи на те, що при дослідженні різних матеріалів, у тому числі і сталей, відсутня чітка межа переходу в пластичну область, σ_T визначають як величину напруги $\sigma_{0,2}$, що викликає залишкову пластичну деформацію 0,2 % при випробуваннях зразків стандартної форми.

3. Відносне подовження при розриві δ на зразках стандартної форми.

4. Ударна в'язкість α_n , що характеризується опором ударним діям стандартних зразків з надрізами, які мають різну гостроту.

Окрім вказаних існують також і інші характеристики матеріалів. Слід завжди пам'ятати, що механічні властивості сталей тісно пов'язані з їх хімічними властивостями і термообробкою.

Вуглецеві сталі підрозділяють на:

- низьковуглецеві ($C = 0,09...0,25 \%$),
- середньовуглецеві ($C = 0,25...0,46 \%$),
- високовуглецеві ($C = 0,46...0,75 \%$).

Низьковуглецеві сталі частіше застосовують в будівельних конструкціях; середньовуглецеві – в машинобудуванні; високовуглецеві – в інструментальному виробництві.

Вуглецеві сталі звичайної якості, згідно ДСТУ 2651-94 (ГОСТ 380–94), розділяються на три групи:

- група А – сталь поставляється за механічними властивостями;
- група Б – сталь поставляється за хімічними властивостями;
- група В – сталь поставляється за механічними і хімічними властивостями (сталі цієї групи дорожчі і застосовуються для відповідальних конструкцій).

Марка вуглецевої сталі позначається як Ст. Порядковий номер марки сталі – 0, 1, 2, 3, 4, 5.

Нормований хімічний склад вуглецевих сталей звичайної якості приведений в таблиці 1.1.

У сталях містяться добавки кремнію і марганцю, а також шкідливі домішки сірка і фосфор, вміст яких в сталі обмежують.

Сталь отримують головним чином з суміші чавуну, що виплавляється в доменних печах, із сталевим ломом. Сталь плавлять в конверторах, мартенівських і електричних печах. Хороша якість конверторної сталі забезпечується продувкою киснем. Найвищі сорти

сталей отримують їх переплавою: електрошлаковою, вакуумно-дуговою, електронно-променевою, плазмено-дуговою.

Плавлення сталі без достатньої кількості розкислювачів супроводжується виділенням газів. Така сталь називається киплячою (букви "кп" в марці сталі). Сталі, що розкислюють добавками кремнію і алюмінію, остигають у виливницях без інтенсивного виділення газів і називаються спокійними (букви "сп" в марці сталі).

Таблиця 1.1 – Нормований хімічний склад вуглецевих сталей звичайної якості, ДСТУ 2651-94 (ГОСТ 380-94)

Марка сталі	Вміст елементів, %				
	C	Mn	Si	P	S
				Не більш	
Ст0	≥ 0,23	—	—	0,07	0,06
Ст2пс Ст2сп	0,09...0,15	0,25...0,50	0,05...0,07 0,12...0,30	0,04	0,05
Ст3кп Ст3пс Ст3сп Ст3Гпс*	0,14...0,22	0,30...0,60 0,40...0,65 0,40...0,65 0,80...1,10	≥ 0,07 0,05...0,17 0,12...0,30 ≥ 0,15	0,04	0,06
Ст4кп Ст4пс Ст4сп	0,18...0,27	0,40...0,70	≥ 0,07 0,05...0,17 0,12...0,30	0,04	0,05
Ст5пс Ст5сп	0,28...0,37	0,50...0,80	0,05...0,17 0,15...0,35	0,04	0,05
Ст5Гпс*	0,22...0,30	0,80...1,20	≥ 0,15	0,04	0,05

* – літера Г – підвищений вміст марганцю

Проміжні стали – напівспокійні – позначаються буквами "пс".

Спокійні і напівспокійні стали по механічних властивостях, як правило, розрізняються між собою незначно (таблиця 1.2).

Спокійні стали мають стабільніші властивості, киплячі – менш однорідні, але більш схильні до крихких руйнувань. Виробництво спокійних сталей дорожче. Їх зазвичай застосовують у відповідальних конструкціях.

За вмістом легуючих елементів конструкційні сталі ділять на:

- вуглецеві сталі – містять легуючі елементи, в невеликих кількостях, окрім вуглецю як, домішки;

- низьколеговані сталі – леговані одним або декількома елементами, вміст кожного з них не перевищує 2 %. Сумарний вміст легуючих елементів не перевищує 5 %;

- середньолеговані сталі – сумарний вміст легуючих елементів до 10 %;

- високолеговані сталі – сумарний вміст легуючих елементів перевищує 10 %. Вміст заліза – не менше 45 %.

Найбільше поширення при виробництві зварних конструкцій отримали маловуглецеві і низьколеговані сталі.

Таблиця 1.2 – Нормовані показники механічних властивостей вуглецевих сталей звичайної якості за ДСТУ 2651-94

Марка сталі	Межа міцності σ_B , МПа	Межа текучості σ_T , МПа			Відносне подовження коротких зразків δ , %			Згин на 180° при діаметрі оправки d	
		Товщина зразка S , мм							
		До 20	20... 40	40... 100	до 20	20... 40	40... 100		до 20
Ст0	310	—	—	—	23	22	20	$d = 2 s$	
ВСт2пс ВСт2сп	340...440	230	220	210	32	31	29	$d = 0$ (без оправки)	
ВСт3кп ВСт3пс ВСт3сп ВСт3Гпс	370...470 380...490 380...500	240 250 250	230 240 240	220 230 230	27 26 26	26 25 25	24 23 23	$d = 0,5 s$	
ВСт4кп ВСт4пс ВСт4Гсп	410...520 420...540	260 270	250 260	240 250	25 24	24 23	22 21	$d = 2 s$	
ВСт5пс ВСт5сп ВСт5Гпс	500...640 460...600	290 290	280 280	270 270	20 20	19 19	17 17	$d = 3 s$	

Пластичність сталей оцінюють випробуванням на вигин до утворення першої тріщини, як показано на рис. 1.2, а.

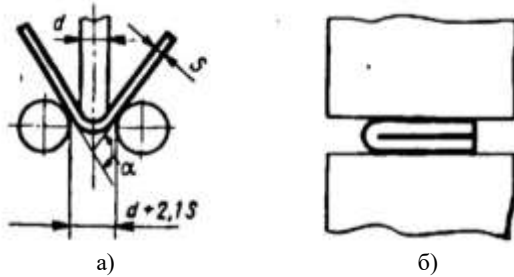


Рисунок 1.2 – Схема випробувань на вигин

Так, згідно ДСТУ 2651-94 (табл. 1.2) тріщини мають бути відсутніми при вигині до паралельності сторін ($\alpha = 180^\circ$). При вигині до зіткнення сторін ($\alpha = 0$) догиб продовжують між паралельними площинами (рис. 1.2, б).

Залежно від міри відповідальності конструкцій і умов їх експлуатації всі конструкції розділені на декілька класів по механічних властивостям.

Наприклад:

- звичайної міцності – низьковуглецеві класу С 38/23 (С – позначення сталі; 38 – межа міцності, кгс/мм²; 23 – межа текучості, кгс/мм²) – ВСт3сп
- підвищеній міцності – низьколеговані класів С 44/29, С 46/33 і С 52/40 (09Г2С)
- високої міцності – низьколеговані і середньолеговані класів С 60/45, С 70/60 і С 85/75 (18Г2С).

Марку Ст0 привласнюють сталі, відбракованій по яких-небудь ознаках. Цю сталь використовують в невідповідальних конструкціях.

У відповідальних конструкціях часто застосовують сталь СтЗсп. Цифра в марці сталі характеризує вміст в ній вуглецю. З підвищенням номера сталі зростають межі міцності і текучості і зменшується відносне подовження. Із збільшенням товщини металу значення σ_B , σ_T і δ декілька знижуються.

Важливою позитивною властивістю більшості низьковуглецевих сталей звичайної якості і низьколегованих сталей є можливість здобуття зварних з'єднань з властивостями, близькими до основного металу. Це відноситься до з'єднань, зварених контактним стиковим зварюванням, дуговим автоматичним в середовищі захисних газів і під

флюсом, електронно-променевими і т.і. Як правило, найбільш задовільно зварюються сталі, що містять не більше 0,25 % вуглецю.

Останнім часом розширюється вживання міцних сталей. Підвищення міцності досягається введенням легуючих добавок і термічною обробкою.

Приклади таких сталей: 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1; 15ГФ (до 0,12 % V); 15ХСНД (Cr = 0,6-0,9 %, Ni = 0,3-0,6 %, Cu = 0,4-0,6 %), 10ХСНД; 16Г2АФ (Mn = 1,3-1,7 %, V = 0,08-0,14 %, N = 0,0015-0,025 %, Cr, Ni, Cu $\leq$ 0,3 %).

Сталі легують таким чином, щоб підвищення міцності і межі текучості супроводжувалося збереженням достатньої пластичності, ударної в'язкості, технологічної оброблюваності, зварюваності.

Вживання низьколегованих сталей в конструкціях безперервно розширюється. Для зменшення маси виробів застосовують міцні сталі з межею текучості σ_T понад 350...400 МПа (35-40 кгс/мм²) і високоміцні типу 30ХГСНА з σ_B до 2000 МПа (200 кгс/мм²) і σ_T до 1570 МПа (157 кгс/мм²).

Останні види сталей мають високу міцність зразків при розтягуванні, але дуже схильні до крихких руйнувань в результаті концентрації напружень, що мають місце в конструкціях.

Є сталі, що відрізняються підвищеною міцністю при змінних (циклічних) навантаженнях. Вони застосовуються переважно в деталях машин.

Вибір марки сталі залежить від ряду параметрів, головним чином від умов роботи конструкції і зварюваності. Як правило, найкраще зварюються сталі, що мають найменший вміст "еквівалентного" вуглецю. Вживання міцних і високоміцних сталей істотно зменшує масу конструкцій.

Не дивлячись на високу вартість міцного легованого металу, в порівнянні з низьковуглецевим металом, ефективність його вживання, безумовно, виявляється рентабельною і не лише в грошовому відношенні, але і відносно економії ресурсів.

1.2 Кольорові сплави

Кольорові сплави – алюмінієві, титанові – мають значно меншу щільність в порівнянні із сталями, добре зберігають свої властивості

при роботі в умовах низьких температур. Вони більш корозійностійкі і забезпечують економію маси в порівнянні з рядом інших вживаних матеріалів. Набули поширення в авіації, суднобудуванні, будівництві.

В порівнянні із сталями звичайної якості кольорові сплави володіють підвищеною чутливістю до концентраторів напруги. Це, у свою чергу, підвищує вимоги до якості обробки поверхні виробів і, особливо до якості зварювальних робіт.

Алюмінієві сплави не мають площадки текучості. З пониженням температури значення, σ_B , $\sigma_{0,2}$ і δ підвищуються, тому алюмінієві сплави добре працюють в цих умовах.

З підвищенням температури значення σ_B і $\sigma_{0,2}$ різко знижуються.

Істотною перевагою алюмінієвих сплавів перед сталевими є їх корозійна стійкість.

При проектуванні конструкцій необхідно враховувати корозійну стійкість матеріалів залежно від властивостей середовища.

Агресивні середовища: вуглекислий газ, аміак, сірководень і інші гази.

У зварних конструкціях застосовуються і титанові сплави. Вони поки дороги, але, як і алюмінієві сплави, володіють багатьма цінними властивостями: малою щільністю і високими механічними показниками.

1.3 Пластмаси

Термопластичні полімери (термопласти) – високомолекулярні матеріали, які при нагріві до деякої температури переходять у в'язкотекучий стан, а при подальшому охолодженні повертаються в початковий. До них відносяться: полістирол, поліметилметакрилат, поліетилен і багато інших.

Ці матеріали добре з'єднуються зварюванням. Термопласти при нагріві переходять у в'язкопластичний стан і добре зварюються (приклади: ПВХ жорсткий, поліпропілен, полістирол).

У зварних конструкціях доцільно застосовувати вініпласт і полістирол, які володіють відносно високою міцністю, легко обробляються і зварюються, хоча і мають декілька підвищену чутливість до надрізу.

В будівництві – пластикові вікна, труби з ПВХ, крівля та інш. У промисловості: у підшипниках, в транспортних конструкціях, при виготовленні резервуарів, трубопроводів, приладів в суднових об'єктах.

1.4 Композитні матеріали

Композити – це матеріали, які складаються з окремих нерозчинних компонентів (яскравий приклад з будівництва – залізобетон).

Композити часто отримують методами порошкової металургії (пресування + спікання). Багато порошкових матеріалів мають хороші механічні властивості і можуть зварюватися.

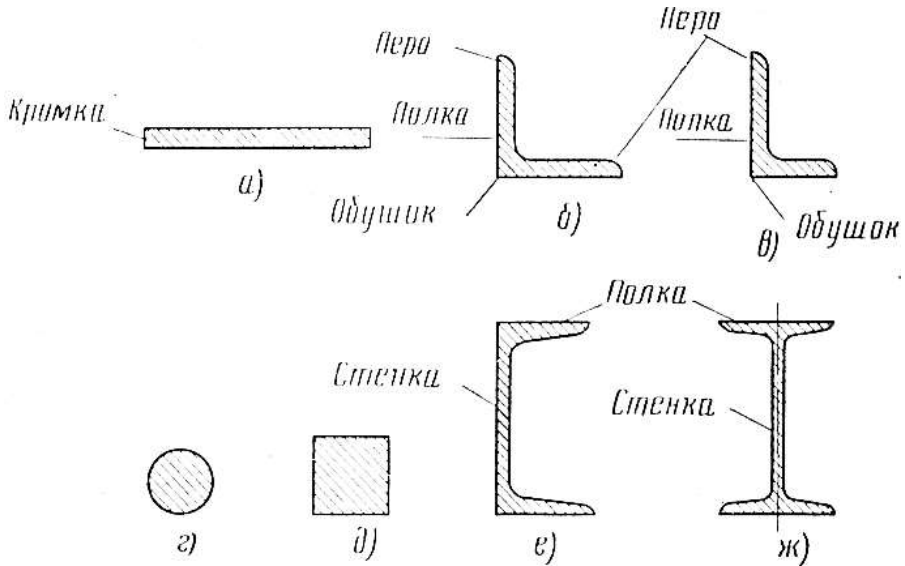
Керамічні композити з'єднуються клеями на епоксидній основі, добре з'єднуються пайкою, забезпечують міцні з'єднання в результаті дифузійного зварювання.

Таким чином, в даний час створені різні по властивостях матеріали і завданням проектанта є раціональний вибір матеріалу, що найбільш повно відповідає конкретним вимогам експлуатації і простоті виконання технологічного процесу зварювання.

Чим вище властивості стали (σ_B , σ_T і δ), тим в більшості випадків мають бути вище і вимоги, що пред'являються до якості технологічного процесу.

2 СОРТАМЕНТ

В зварних конструкціях застосовують метал у вигляді прокату, виливок, поковок і штампованих виробів. Найчастіше зварні конструкції виготовляють з прокату (рис. 2.1).



а) листовий прокат, б) куточок рівнобічний, в) куточок різнобічний, г) круглий профіль, д) квадратний профіль, е) швелер, ж) двотавр
 Рисунок 2.1. – Основні види поперечних перетинів прокату

Листовий прокат

Листову сталь отримують прокатуванням між валками без бічного тиску. Сортамент на товсту листову сталь включає листи товщиною до 160 мм.

Простий сортовий прокат

До нього відносять смугову сталь (рис. 2.1, а), круглу (рис. 2.1 г), квадратну (рис. 2.1, д) і шестигранну. Кругла сталь (ДСТУ 4738:2007) широко використовується як арматура

залізобетонних споруд, а також в будівельних конструкціях, що працюють під невеликими навантаженнями, наприклад у фермах легкого типу.

Фасонні профілі загального призначення

Кутова сталь (куточки) – складається з двох полиць рівної або нерівної ширини (рис. 2.1, б, в).

Швелери (рис. 2.1, е) використовують при конструюванні станин, рам, елементів ферм і інших видів конструкцій. Швелери в прокатному варіанті виготовляють розміром до № 40, більші – в зварному варіанті.

Двотаврові балки (двотаври) – профільні елементи з великими моментами інерції при відносно невеликих площах поперечного перетину (рис. 2.1, ж).

Прокатні двотаврові балки обмежені розмірами, тому зварні балки виявляються часто економнішими і доцільнішими в технічному відношенні (двотаврові балки з №50 виготовляють вже зварними).

Важливими характеристиками використовуваних профілів є:

- **моменти інерції** перетинів J – геометричні характеристики профілів, що описуються інтегралами вигляду:

$$J_x = \int y^2 \cdot dF$$

Розрізняють осьові, полярні, відцентрові моменти інерції перетинів. Розмірність моментів інерції – m^4 .

- **момент опору** перетину вигину W_x – відношення моменту інерції відносно даної вісі до відстані від осі до найбільш видаленої точки поперечного перетину:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{max}}$$

Розмірність моментів опору перетину – m^3 .

Якщо елемент конструкції піддається вигину, то раціональність профілю з позиції мінімальної маси при заданій несучої здатності, визначається відношенням

$$W/F,$$

де W – момент опору вигину;

F – площа поперечного перетину, m^2 .

Чим більше відношення W/F , тим ефективніше використовується профільний прокат.

Фасонні профілі галузевого призначення застосовують в різних областях промисловості: для виготовлення рейок, залізничного транспорту, таврових і зетових елементів будівельних конструкцій і т. ін. Сортамент фасонних прокатних профілів вельми всілякий (рисунок 2.2). Він включає періодичні, штамповані, гнуті, пресовані і трубчасті профілі.

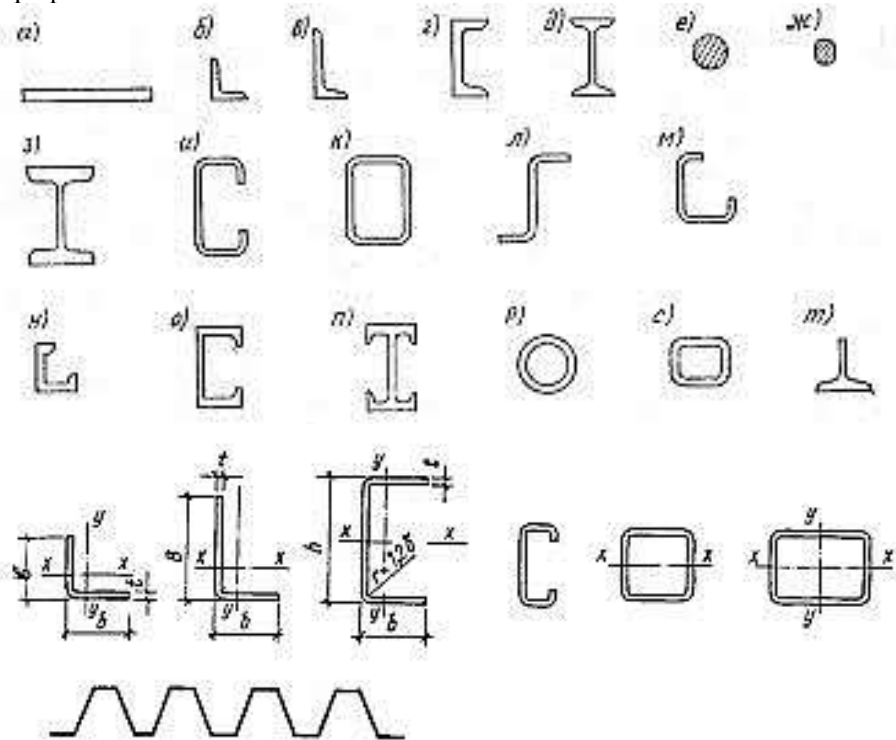


Рисунок 2.2 – Основні типи профілів

Періодичні профілі (змінного перетину). Доцільно застосовувати для виготовлення арматури залізобетону. Гвинтоподібна форма стержня збільшує його поверхню і покращує зчеплення металу з бетоном. Застосування періодичного прокату в машинобудуванні

вигідніше, ніж звичайного, оскільки дозволяє зменшити масу конструкцій.

Однією з сучасних тенденцій, направлених у бік збереження ресурсів є застосування тонкостінних фасонних профілів, отриманих різними технологічними прийомами, зокрема гофрованих, переважно для об'єктів будівництва.

Штамповані профілі завтовшки менше 5...6 мм отримують з листової сталі холодним штампуванням.

Особливість цих профілів – великий момент інерції при відносно малих площах поперечного перетину, а отже, і при малій масі.

Штамповані елементи знаходять широке застосування в авіабудуванні, автомобілебудуванні, промислового будівництва. Штамнуються ребристі плити, забезпечуючи міцність і жорсткість.

Гнуті профілі виготовляються з гарячекатаної і холоднокатаної відпаленої листової стрічкової і смугової сталі звичайної якості і з низьколегованої сталі переважно малої товщини (3...4 мм).

У зоні загинів мають місце пластичні деформації, і тому не слід допускати накладення в них швів, оскільки метал піддаватиметься старінню.

Розроблені і використовуються різні типи гнутих куточків, спеціальні коритоподібні профілі, нерівнобічні, С-образні і багато інших.

Гнуті профілі економічні, оскільки при відносно малій площі поперечного перетину і малій масі вони мають підвищену жорсткість, що є важливим при роботі елементу на вигин, подовжнє стискування і кручення.

Пресовані профілі виготовляють з алюмінієвих сплавів. Їм можна надавати всілякий вигляд (відкриті, трубчасті).

Трубчасті профілі різних контурів постійного або змінного поперечного перетину виготовляють зварюванням, гарячим плющенням, пресуванням, гарячим і холодним волочінням. Окрім круглого профілю, найбільш розповсюдженого в промисловості, виготовляють також фасонні труби (Нікопольський трубний з-д).

Труби випускають з широким діапазоном діаметрів і товщини стінок. Їх використовують при монтажі трубопроводів, а також при виготовленні ґратчастих конструкцій типа веж, щогл, башт.

При проектуванні слід враховувати, що вартість однієї тонни труб вища, ніж вартість тонни сортового прокату, а труби малого діаметру дорожчі, ніж великого.

Трубчасті елементи заповнюються в деяких випадках чужорідними матеріалами. Типовими представниками є труби, заповнені бетоном. Із сталобетонних труб споруджуються будівельні об'єкти, наприклад, залізобетонні мости.

З ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ І РОЗРАХУНОК ЇХ СТАТИЧНОЇ МІЦНОСТІ

3.1 Кратка класифікація основних видів зварювання

Зварювання є процес отримання нероз'ємного з'єднання, яке створюється прикладанням хімічної, електричної, механічної енергій або їх комбінації в локальній зоні.

З'єднання утворюються при концентраціях енергії, що варіюються в широкому діапазоні при різних коефіцієнтах корисної дії.

Для виготовлення зварних конструкцій використовують декілька найбільш поширених способів дугового зварювання.

Ручне дугове зварювання (РДЗ) є далеко не бездоганним способом, але універсальним технологічним процесом. Цим способом зварюють конструкції в усіх просторових положеннях, з різних марок сталей, кольорових сплавів у випадках, коли вживання автоматичних і напівавтоматичних методів не представляється можливим, наприклад, при відсутності необхідного обладнання, недостатнього освоєння технологічного процесу.

З'єднання при автоматичному зварюванні під флюсом (АЗФ) широко застосовується в машинобудівній і будівельній промисловості. Автоматичне зварювання під флюсом на горизонтальній площині застосовується при з'єднанні виробів з широким діапазоном товщини від 1 до 50 мм (інколи і більш).

Вживання автоматичного та напівавтоматичного дугового зварювання в середовищі захисного газу (СЗГ), наприклад, в CO_2 , безперервно розширюється. Цим способом здійснюється укладання швів у всіх просторових положеннях, добре зварюються елементи малих, середніх і великих (до декількох десятків міліметрів) товщин з вуглецевих, низьколегованих і деяких високолегованих сталей.

Конструкції з аустенітних, мартенситних і феритних жароміцних теплостійких сталей, багатьох алюмінієвих, титанових, мідних, магнієвих і інших сплавів також успішно зварюються в середовищі захисних газів (аргону, гелію і ін.).

Електрошлакове зварювання рекомендується для з'єднань елементів товщиною понад 40...50 мм.

Контактне стикове зварювання застосовують для з'єднань встик деталей різного профілю переважно в серійному виробництві.

Контактне точкове зварювання рекомендується для з'єднання тонкостінних елементів із сталей і кольорових сплавів, а також металоконструкцій арматури залізобетону. Існуючі контактні машини дозволяють зварювати пакети сталевих листів сумарною товщиною в декілька десятків міліметрів.

Контактне роликове зварювання використовується для з'єднання тонкостінних листових елементів.

Дифузійним зварюванням у вакуумі з'єднують однорідні і різнорідні метали, а також метали з неметалами.

Ультразвукове зварювання доцільне для з'єднання пластмас.

Зварювання електронним променем і лазером має високу продуктивність і викликає мінімальні зміни розмірів деталей.

3.2 Принцип розрахунку зварних з'єднань по граничних станах

На даний час використовують два рівноправні методи розрахунку сталевих конструкцій:

- 1) розрахунок по граничному стану,
- 2) розрахунок по допустимим напруженням.

Перший метод застосовується при проектуванні різних споруд промислового і цивільного призначення, наприклад, залізничних, автотодорожних і міських мостів, перекриттів цехів, трубопроводів, сталевих каркасів житлових будівель.

Другий метод використовується для розрахунку міцності машинобудівних конструкцій.

Згідно СНіП П-23-81, оцінка несучої здатності будівельних конструкцій і з'єднань проводиться по граничних станах.

Граничним станом конструкції називається стан, при якому вона перестає задовольняти експлуатаційним вимогам, що пред'являються, тобто перестає чинити опір зовнішнім діям або отримує недопустимі деформації або місцеві пошкодження.

Встановлені наступні три розрахункових граничних стани:

а) перший граничний стан, визначається несучою здатністю елементу (міцністю, стійкістю або витривалістю);

б) другий граничний стан характеризується розвитком надмірних деформацій;

в) третій граничний стан веде до утворення або розкриття тріщин.

Перший граничний стан має відношення до розрахунку окремих елементів зварних конструкцій і до розрахунку зварних з'єднань.

Другий граничний стан перевіряється стосовно всього спорудження в цілому.

Третій граничний стан застосовується головним чином до залізобетонних конструкцій (при розкритті тріщин в розтягнутій зоні бетону).

У будівельних організаціях в основу розрахунку по методу граничного стану (по здатності, що несе) покладені так звані **розрахункові опори R вживаних матеріалів**, МПа, значення яких рівні відношенню межі текучості σ_T до коефіцієнта надійності k_H :

$$R = \frac{\sigma_T}{k_H} \quad (3.1)$$

Як нормативний опір прийнята межа текучості сталі.

При розрахунку по цьому методу знаходять величину зусиль, що допускаються, в елементах.

Коефіцієнт надійності k_H (або запасу міцності) враховується декількома коефіцієнтами:

- коефіцієнтом перевантаження (n);
- коефіцієнтом однорідності металу (k);
- коефіцієнтом умов роботи (m), і ін.

$$k_H = \frac{n}{k \cdot m}$$

Коефіцієнт перевантаження n приймають рівним: від власної ваги і гідростатичного тиску – 1,1; від вітру – 1,2; від навантаження в архівах і книгосховищах – 1,2; від навантаження в гуртожитках – 1,4 і тому подібне.

Коефіцієнт умов роботи (m) враховує своєрідність роботи конструкцій, обумовлену виготовленням і експлуатацією. Він може враховувати небезпеку крихких руйнувань, несприятливий вплив агресивного середовища та інших чинників. Для більшості елементів конструкцій приймають рівним 1; для резервуарів – 0,8; для колон – 0,9.

Коефіцієнт однорідності матеріалу k приймають рівним: для маловуглецевої прокатної сталі – 0,9; для низьколегованої прокатної сталі – 0,85; для виливок з вуглецевої сталі – 0,75 і тому подібне.

Зусилля, що допускаються для елемента при подовжній силі визначають по формулі

$$N_{\text{доп}} \leq R \frac{m}{n} F.$$

Розрахункове зусилля N має бути менше або дорівнювати $N_{\text{доп}}$.

Аналогічним шляхом знаходять момент, що допускається при вигині:

$$M_{\text{доп}} \leq R \frac{m}{n} W.$$

З формул видно, що величина $R \frac{m}{n}$, є, по суті, допустиме напруження. Коефіцієнти n і m неоднакові не лише для різних виробів, але в деяких випадках і для елементів однієї конструкції.

Таким чином, за цим способом для різних конструкцій розрахунок проводиться по різним допустимим напругам.

Розрахункові опори R для основного металу наведені в літературі і складають приблизно 0,95 від нормального значення межі текучості σ_T .

Для зварних стикових з'єднань, що працюють при напруженнях вигину, розтягування, стискування, в разі вживання автоматичного, напівавтоматичного або ручного зварювання з подальшим контролем швів фізичними методами розрахункові опори R приймаються рівними розрахунковим опорам основного металу конструкції по межі міцності і відповідно по межі текучості.

За відсутності фізичних методів контролю розрахункові опори приймаються рівними 0,85 від межі текучості σ_T .

При зсуві в стикових з'єднаннях розрахункові опори в швах дорівнюють опорам на зсув в основному металі.

Для зварних кутових швів по металу розрахунковий опір складає 0,55 від розрахункового опору по межі міцності, по границі сплавлення – 0,45 від розрахункового опору.

3.3 Принципи розрахунку машинобудівних конструкцій по допустимим напругам

При розрахунку конструкцій по допустимим напругам умови міцності мають вигляд:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (3.2)$$

де σ – напруга в небезпечному перетині елементу, МПа;

$[\sigma]$ – допустимі напруги, МПа;

$[\sigma]_p$ – допустимі напруги при розтягуванні, МПа;

$[\sigma]_{ct}$ – допустимі напруги при стискуванні, МПа.

У машинобудуванні розрахунок міцності проводять по допустимим напругам, які встановлюються залежно від наступних основних чинників:

а) від властивостей матеріалів (при поліпшенні механічних властивостей допустимі напруження підвищуються);

б) від міри точності розрахунку міцності (чим точніше проводиться розрахунок міцності і повніше враховуються навантаження, що діють на конструкцію, тим менше коефіцієнт запасу міцності, що приймається, а отже, вище допустимі напруження);

в) від роду зусиль (розтягування, стискування, вигин, зріз);

г) від якості технологічного процесу (особливо при встановленні допустимих напружень в зварних з'єднаннях);

д) від характеру навантажень (при змінних навантаженнях допустимі напруження знижуються в порівнянні із статичними навантаженнями).

Допустимі напруження, – це чинник техніко-економічний.

Якщо напруження в конструкції істотно занижені відносно тих, що допускаються $\sigma < 0,95[\sigma]_P$ і немає переконливих мотивів подібного заниження (вимоги жорсткості, стійкості і т. п.), то спроектована таким шляхом конструкція має зайву несучу здатність, а, отже, зайву масу матеріалу і неекономічна.

Якщо, навпаки, напруження в конструкції $\sigma > 1,05[\sigma]_P$, то це означає, що несуча здатність спроектованої конструкції менш потрібної. За відсутності особливих обставин (тимчасовий характер експлуатації та ін.) конструкцію слід визнати неповноцінною з позиції надійності.

Найбільш бажаним є випадок, при якому $\sigma = [\sigma]_P$ або

$$0,95[\sigma]_P \leq \sigma \leq 1,05[\sigma]_P.$$

Ця умова забезпечує економічність і необхідну міцність.

Допустимі напруження при розтягуванні $[\sigma]_P$ зазвичай називаються **основними**.

Напруження, що допускаються, при інших видах зусиль визначають як похідні від $[\sigma]_P$.

У машинобудуванні в конструкціях, що працюють під статичними навантаженнями, в більшості випадків допустимі напруження, призначаються в залежності від межі текучості σ_T і визначаються відношенням:

$$[\sigma]_P = \frac{\sigma_T}{k_1}, \quad (k_1 = 1,4 \dots 1,6)$$

в окремих випадках – залежно від межі міцності – σ_B :

$$[\sigma]_P = \frac{\sigma_B}{k_2}, \quad (k_2 = 2,0 \dots 2,4)$$

k_1 і k_2 – коефіцієнти запасу міцності.

При стискуванні коротких елементів, в яких подовжній вигин не може мати місця, допустиме напруження $[\sigma]_{CT}$ приймається рівним $[\sigma]_P$.

При стискуванні довгих елементів $[\sigma]_{CT}$ приймається рівним

$$[\sigma]_P \cdot \varphi,$$

де φ – коефіцієнт подовжнього вигину, залежний від гнучкості стислого елемента, а також від межі текучості.

Для сталевих конструкцій напруги на вигин, що допускаються, приймаються рівними $[\sigma]_P$.

При зрізі допустимі напруження $[\tau]$, визначаються із співвідношення:

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,6)[\sigma]_P$$

В інших випадках – залежно від межі міцності $[\sigma]_B$.

Напруження, що допускаються **в швах** машинобудівних конструкцій встановлюються залежно від допустимих напружень основного металу, з врахуванням належного підбору присадного матеріалу – електродів, електродного дроту, флюсів.

Це положення дозволяє проектувати зварні з'єднання, рівними по міцності основному металу, не виконуючи визначення величини зусиль, що діють на них; крім того, при конструюванні з'єднань в цьому випадку немає необхідності враховувати багато змінних величин, що впливають на вибір коефіцієнтів запасу міцності конструкції, що розробляється (міра точності розрахунку і т. п.).

При проектуванні зварних з'єднань в конструкціях різного призначення при визначенні величин, що допускаються, застосовується два способи:

1 спосіб – розрахункові опори в зварних швах задані цифровими значеннями.

Даний спосіб застосовують при розрахунку зварних з'єднань в будівельних конструкціях.

Значення розрахункових опорів зварних з'єднань, зварні шви яких виконані різними способами, визначаються по таблицях в залежності від вигляду (типу) зварного з'єднання, роду зусилля і класу сталі. Таблиці наведені в СНіП.

Наприклад, для стикового зварного з'єднання виконаного автоматичним, напівавтоматичним і ручним зварюванням розрахункові опори наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові опори зварних з'єднань

Рід зусилля МПа	Класи сталей						
	C38/23	C44/29	C46/33	C52/40	C60/45	C70/60	C85/75
Стиску вання	210	260	290	340	380	440	530
Зріз	130	150	170	200	230	260	310

2 спосіб – допустимі напруження в зварних швах визначаються в процентах від напружень, що допускаються в основному металі.

Такий спосіб застосовується при розрахунку машинобудівних конструкцій.

Зручність цього способу полягає в наступному:

- можна конструювати зварні з'єднання рівними по міцності основному металу, не проводячи визначення величини зусиль, що допускаються, діючих в них;

- при конструюванні з'єднань немає необхідності враховувати багато змінних величин, що впливають на вибір коефіцієнтів запасу міцності конструкції, що розробляється.

З технологічного боку спосіб встановлення напружень, що допускаються в зварних з'єднаннях сповна виправданий. При зварюванні автоматом під флюсом або в середовищі захисних газів, а також контактним способом механічні властивості швів залежать в значній мірі від механічних властивостей основного металу та електродного, який підбирається до основного.

Зварні з'єднання сталей, виконані дуговим зварюванням, по визначенню допустимих напружень, діляться на дві групи.

До першої групи відносяться шви низьковуглецевих сталей звичайної якості і низьколегованих, в яких механічні властивості швів і зони термічного впливу відповідають властивостям основного металу. Рекомендовані напруження, що допускаються, для швів цієї групи наведені в таблиці 3.2.

Наприклад: при зварюванні низьковуглецевої сталі марки Ст3, для якої допустимі напруження $[\sigma]_p = 160$ МПа, напруження, що допускаються в швах, виконаних АЗФ, напівавтоматичним зварюванням в СЗГ, або РДЗ електродами Е42А будуть наступними:

$$[\sigma']_P = 160 \text{ МПа}$$

$$[\sigma']_{\text{ст}} = 160 \text{ МПа}$$

$$[\tau'] = 100 \text{ МПа}$$

Таблиця 3.2 – Напруження, що допускаються для швів низьковуглецевих і низьколегованих сталей

Рід зусилля	Тип шва	Технологічний процес зварювання	Допустимі напруження
Розтягування – стискування	Стиковий	АЗФ, СЗГ	$[\sigma]_P$
- " -	- " -	РДЗ електродами Е42А; Е46А, Е50А	- " -
- " -	- " -	Контактне	- " -
- " -	- " -	Електронно-променеве	- " -
- " -	- " -	Дифузійне	- " -
Зріз	Кутовий	АЗФ, СЗГ	$0,65[\sigma]_P$
- " -	Стиковий	Теж	- " -

Примітка: у будівельних конструкціях напруження, що допускаються на кутові шви приймаються підвищеними відносно вказаних традиційних.

До другої групи відносять шви сталей із спеціальними властивостями: високоміцні, корозійностійкі та ін., в яких властивості швів або металу околшовної зони нижчі за властивості основного металу.

Для швів другої групи сталей, допустимі напруження призначаються на основі спеціально проведених експериментів в умовах, відповідних роботі проектованої зварної конструкції, видам з'єднань та ін.

Аналогічним чином допустимі напруження призначаються на основі спеціальних експериментів для з'єднань сталей першої групи при зварюванні холодним способом, тертям, ультразвуком і іншими спеціальними методами.

Визначення дійсного розподілу напруження з врахуванням їх концентрації в елементах і з'єднаннях буває важким і при оцінюванні роботи конструкції, навантаженої статично, в більшості випадків себе не виправдовує.

Метод розрахунку по допустимим напруженням досить простий, що є його основною перевагою.

Недоліком його є те, що вибір допустимих напружень, або встановлення коефіцієнта запасу проводиться без досить повного врахування усіх умов роботи конструкцій (пов'язаних з особливостями дії різного роду навантажень, з наявністю можливих змін властивостей окремих матеріалів, що використовуються та з іншими умовами експлуатації).

Методи розрахунку міцності, що викладаються нижче, ставлять завдання оцінити несучу здатність, тобто зусилля, що допускається, для проєктованих об'єктів і з'єднань, не визначаючи дійсного розподілу напружень. Проєктант приймає спрощену схему напруженого стану без врахування концентрації напруги, яка для нього стає керівною.

Несуча здатність конструкції визначається по руйнівному напруженню σ_B і коефіцієнту запасу по міцності k_{Π} або по напруженням σ_T , що викликає текучість, і коефіцієнту запасу по текучості k_T , який менше k_{Π} .

Розрахунки проводяться на основі елементарних методів опору матеріалів.

Умова міцності, встановлена методом розрахунку по допустимим напругам (формула 3.2), аналогічна умові міцності, встановленій методом розрахунку по граничних станах (формула 3.1).

І в тому і в іншому методі передбачається наближене визначення напружень по формулах опору матеріалів (виходячи з припущення рівномірного розподілу напружень при осьовому навантаженні і гіпотези плоских перетинів при вигині).

Принципова відмінність методу розрахунку по граничних станах від метода розрахунку по допустимим напруженням, полягає в тому, що при даному методі загальний коефіцієнт запасу міцності враховується декількома коефіцієнтами: n , k , m , та ін.

Більш диференційований метод обліку загального коефіцієнта запасу дозволяє більш обґрунтовано підійти до його визначення, враховуючи своєрідність умов дій окремих навантажень, властивостей різних матеріалів, а також умов роботи конструкції.

Розділення одного коефіцієнта запасу на декілька незалежних коефіцієнтів дозволяє правильніше характеризувати всі особливості

умов роботи даної конструкції (враховуючи окремо особливості навантажень, матеріалу і умов експлуатації).

Таким чином, метод розрахунку по допустимим напруженням, є окремим випадком загальнішого методу розрахунку по граничних станах.

Отже, як по граничних станах, так і по допустимим напруженням, можна робити наступні розрахункові операції:

1. По відомих навантаженнях і геометричних характеристиках конструкції визначити напруження, що діє, наприклад:

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

2. По відомих напруженням, що допускається, або розрахунковим опорам для заданої конструкції відшукати максимально допустиму величину навантажень:

$$M_{max} = [\sigma] \cdot W$$

3. По відомих навантаженнях, напруженням, що допускається, або розрахунковим опорам визначити необхідні геометричні розміри і характеристики конструкцій, наприклад:

$$W_{необх} = \frac{M}{[\sigma]}$$

4. Стосовно зварних конструкцій широко використовується ще один вид розрахунків – розрахунки зварних з'єднань на рівноміцність основного металу.

В більшості випадків немає необхідності розраховувати зусилля, що діють в елементах конструкцій, оскільки розміри елементів вже призначені конструкторами по величині цих зусиль. Тоді зварні з'єднання мають бути рівноміцними зварюваним елементам конструкцій. Цього можна досягти шляхом відповідного призначення катета, довжини шва і способу зварювання.

При розрахунках на рівноміцність порівнюються максимально допустимі для основного металу і зварного з'єднання величини сил і згинаючих моментів, наприклад:

$$\begin{aligned} P_{\max \text{ о.м.}} &= P_{\max \text{ ш.}}; & [\sigma] \cdot F_{\text{о.м.}} &= [\sigma'] \cdot F_{\text{ш.}} \\ M_{\max \text{ о.м.}} &= M_{\max \text{ ш.}}; & [\sigma] \cdot W_{\text{о.м.}} &= [\tau'] \cdot W_{\text{ш.}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Оскільки допустимі напруження $[\sigma']$ і $[\tau']$ для зварних з'єднань призначають в частках від основних величин напруг, що допускаються на основний метал, то в розрахунках на рівноміцність знання $[\sigma]$ не обов'язкове.

Наприклад, якщо $[\tau'] = 0,65[\sigma]$, то, підставляючи його в (3.3), маємо:

$$W_{\text{о.м.}} = 0,65W_{\text{ш.}}$$

Визначаємо необхідні геометричні розміри зварного з'єднання, що забезпечують рівну міцність основному металу.

Такі розрахунки прості і зручні для застосування на практиці.

4 РОЗРАХУНКИ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ ДУГОВИМ ЗВАРЮВАННЯМ

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, вібраційних).

Слабкими ділянками в зварних з'єднаннях можуть бути власне шви, зони термічного впливу та сплавлення.

Зоною термічного впливу (ЗТВ) називають ділянку основного металу, прилеглу до швів, яка в результаті зварювання змінює механічні властивості.

Це особливо часто має місце при зварюванні термічно оброблених, а також нагартованих сталей і сплавів.

Поліпшення механічних властивостей зварних з'єднань досягається:

- вибором раціональної конструктивної форми з'єднання;
- застосуванням раціональних методів зварювання;
- термічною і механічною обробкою зварних конструкцій після зварювання.

Конструкції з рівними по міцності зварними з'єднаннями відповідають вимогам економічності.

Тому з умови рівноміцності розрахункові зусилля з'єднань визначають:

при розтягуванні

$$P_p = [\sigma]_p \cdot F$$

при стискуванні

$$P_{\text{ст}} = [\sigma]_{\text{ст}} \cdot F$$

при згині

$$M = [\sigma]_p \cdot W$$

У конструкціях із зварними з'єднаннями в металі швів можуть виникати напруження двох родів: **робочі** і **зв'язуючі**. Щоб встановити

відмінність між робочими і зв'язуючими напруженнями, розглянемо декілька прикладів.

На рис. 4.1, *а* відображено дві смуги, з'єднані стиковим швом. Смуги піддаються розтягуванню. Зрозуміло, що при руйнуванні шва руйнуватиметься і вся конструкція. Те ж саме станеться і в з'єднанні, відображеному на рис. 4.1, *б*.

Зварні з'єднання, руйнування яких спричиняє за собою руйнування конструкції, називаються **робочими**; напруження, що діють в цих конструкціях, – робочими напруженнями.

Абсолютно інакше працює наплавлений метал в шві, що з'єднує дві смуги, показані на рис. 4.1, *в*.

Наплавлений метал, що з'єднує смуги, деформується разом з основним, при цьому в ньому виникають напруження. Якщо модуль пружності наплавленого металу незначно відрізняється від модуля пружності основного, то в швах при їх роботі в межах пружних деформацій утворюється напруга приблизно тієї ж величини, що і в розтягнаних смугах.

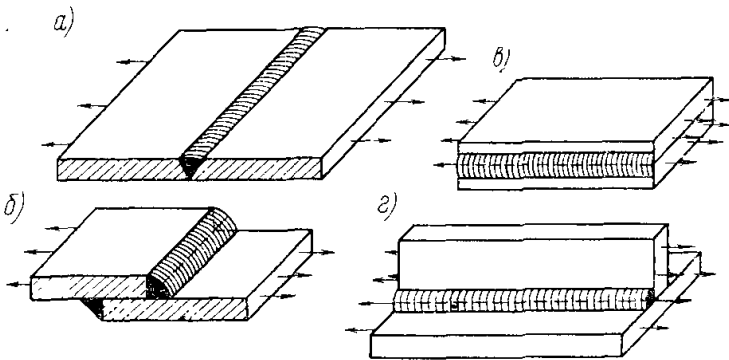


Рисунок 4.1 – Приклади робочих (*а, б*) і зв'язуючих (*в, г*) швів

Ці напруження, що виникають в швах, унаслідок їх спільної роботи з основним металом у багатьох випадках не є небезпечні для міцності конструкцій і називаються **зв'язуючими**. Приклад зв'язуючих швів показаний на рис. 4.1, *г*.

При розрахунку міцності зварних з'єднань визначають лише робочі напруження. Дослідження підтверджують, що в більшості випадків при аналізі міцності зварних конструкцій зв'язуючі напруження можна не враховувати.

Основними типами зварних з'єднань є з'єднання стикові, внапусток, таврові, кутові.

У зварних конструкціях найбільш доцільні стикові з'єднання.

4.1 Стикові з'єднання

Підготовка кромок стикового з'єднання визначається технологічним процесом зварювання і товщиною з'єднувальних елементів.

Таблиця 4.1 – Приклади підготовки кромок стикових з'єднань, що виконуються зварюванням під флюсом (по ГОСТ 8713-79)

Форма підготовки кромок	Характер зварного шва	Форма поперечного перетину		Товщини деталей, мм	Умовне позначення з'єднання
		кромок	зварного шва		
1	2	3	4	5	6
З відбортовкою кромок	Односторон.			1,5-3,0	C1
Без скосу кромок	Двосторонній			2,0-20,0	C2
Без скосу кромок	Одностор. на флюсомідній підкладці			4,0-10,0	C6
Зі скосом двох кромок	Двосторонній			14,0-24,0	C13
Зі скосом двох кромок	Одностор. на флюсомідній підкладці			8,0-24,0	C17
Зі скосом двох кромок	Одностор. на стальній підкладці			8,0-30,0	C18

Продовження табл. 4.1.

Форма підготовки кромки	Характер зварного шва	Форма поперечного перетину		Товщини деталей, мм	Умовне позначення з'єднання
		кромки	зварного шва		
З криволіній- ним скосом 2-х кромки	Двосторонній			24,0- 160,0	C21
З двома симетрич- ними скосами 2-х кромки	Двосторонній			20,0-60,0	C30
З двома несиметрич- ними скосами двох кромки	Двосторонній з попереднім. накладенням шва			16,0-60,0	C34

Якщо елемент працює на розтягування, то допустиме **зусилля** в зварному з'єднанні:

$$P_p = [\sigma']_p \cdot \delta \cdot l$$

при стискуванні:

$$P_{ст} = [\sigma']_{ст} \cdot \delta \cdot l$$

де δ – товщина основного металу, оскільки посилення шва не враховується, м;

l – довжина шва, м;

$[\sigma']_p$ – допустимі напруження розтягування зварного з'єднання, МПа;

$[\sigma']_{ст}$ – допустимі напруження стискування зварного з'єднання, МПа.

Як правило, стикові шви роблять прямими, тобто направленими перпендикулярно зусиллям, що діють (рис. 4.2).

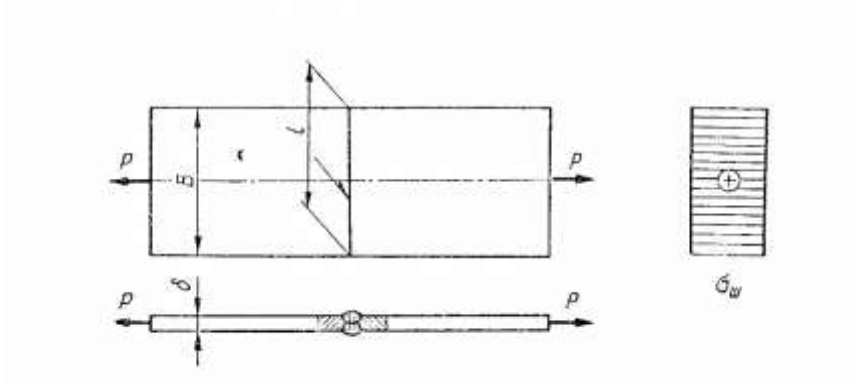


Рисунок 4.2 – Прямий стиковий шов, що працює на розтягування

4.1.1 Прямі шви

При розтягуванні і стискуванні умова міцності однакова і записується наступним чином:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{P}{F_{\text{ш}}} = \frac{P}{\delta \cdot l} \leq [\sigma']_p$$

При вигині і при зрізі умови міцності різні і записуються наступним чином:

вигин:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{M}{W_{\text{ш}}} = \frac{6 \cdot M}{\delta \cdot l^2} \leq [\sigma']_p$$

зріз:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{Q \cdot S_{\text{ш}}}{J_{\text{ш}} \cdot \delta} \leq [\tau']$$

$$F_{\text{ш}} = \delta \cdot l, \text{ м}^2,$$

$$S_{\text{ш}} = \frac{\delta \cdot l^2}{8}, \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{ш}} = \frac{\delta \cdot l^2}{6}, \text{ м}^3,$$

$$J_{\text{ш}} = \frac{\delta \cdot l^3}{12}, \text{ м}^4.$$

У формулах прийняті наступні позначення:

- P , M , Q – реальні зусилля (відповідно подовжня сила, що вигинає; згинаючий момент, перерізуюча сила), що діють в перетині;
- $F_{\text{ш}}$, $W_{\text{ш}}$, $J_{\text{ш}}$, – відповідно площа, момент опору і момент інерції перетину зварного шва;
- $S_{\text{ш}}$ – статичний момент відносно нейтральної осі частини перетину зварного шва, розташованої вище (нижче) за рівень даних волокон (рис. 4.3);
- l і δ – відповідно розрахункова довжина і товщина шва.

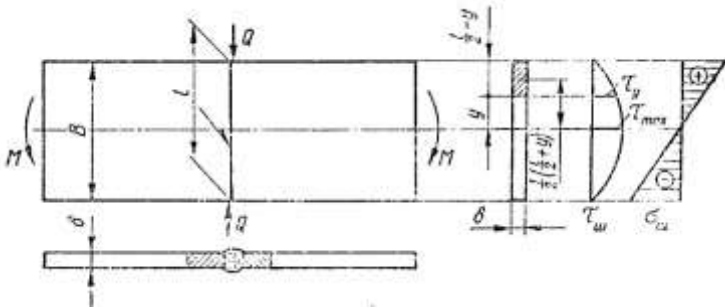


Рисунок 4.3 – Прямий стиковий шов, що працює на вигин і зріз

Розрахункова довжина шва l приймається рівною фактичній, якщо кінці шва виведені на вивідні планки. Якщо шов не виведений на вивідні планки, то його розрахункова довжина зменшується на 10 мм, тобто $l = l_{\text{факт}} - 1$ (см).

Розрахункова товщина шва δ береться рівною товщині основного металу якщо шов виконується з повним проваром. Якщо ж шов заварений не на всю товщину, то δ береться рівною істинної товщині шва.

4.1.2 Косі шви

Якщо стиковий шов направлений під кутом α до зусилля (як правило $\alpha \sim 45^\circ$), то його слід розраховувати з умови рівномірності основному елементу (рис. 4.4).

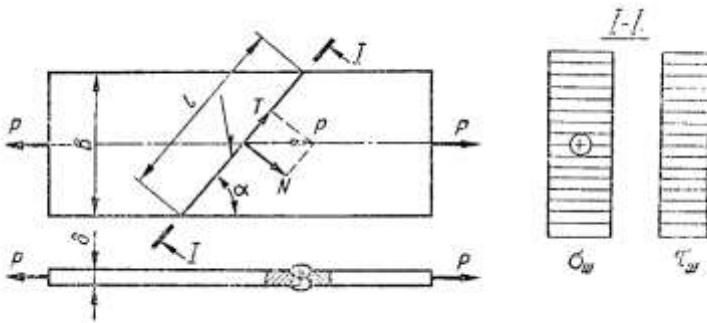


Рисунок 4.4 - Косий стиковий шов, що працює на розтягування

Умова міцності для косого шва буде мати вигляд:

$$\sigma_{\text{екв.}} = \sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{ш}}^2} \leq [\sigma']_p$$

де

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{N}{F_{\text{ш}}} = \frac{P \cdot \sin \alpha}{\delta \cdot l} \leq [\sigma']_p \quad \tau_{\text{ш}} = \frac{T}{F_{\text{ш}}} = \frac{P \cdot \cos \alpha}{\delta \cdot l} \leq [\tau']$$

$N = P \cdot \sin \alpha$ – нормальне зусилля, яке сприймається косим швом, Н;
 $T = P \cdot \cos \alpha$ – дотичне зусилля, яке сприймається косим швом, Н;
 α – кут між напрямом подовжньої сили і віссю косого шва.

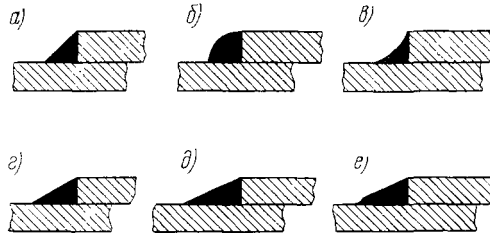
При роботі елементів з високоміцних сталей найбільш слабкою ділянкою у звареному з'єднанні виявляється не метал шва, а ЗТВ, яка в результаті термічної дії дуги чи утворенні концентраторів напружень може виявитися знеміцненою.

У таких випадках необхідно замінити розрахунок міцності швів розрахунком міцності ЗТВ з урахуванням особливостей механічних властивостей металу, його термічної обробки та інших факторів, що залежать від конкретних умов.

4.2 З'єднання внапусток

У напусткових з'єднаннях шви називаються кутовими.

Під час ручного зварювання кутові шви мають різні обриси: нормальні, умовно приймаються окресленими у формі рівнобедреного трикутника, опуклі, увігнуті (рис. 4.5, а, б, в).



а) - нормальний, б) - опуклий; в) - увігнутий;
 г) - з відношенням катетів 1:1,5; д) - з відношенням катетів 1:2;
 е) - те ж, з механічною обробкою кінця шва

Рисунок 4.5 – Обриси кутових швів

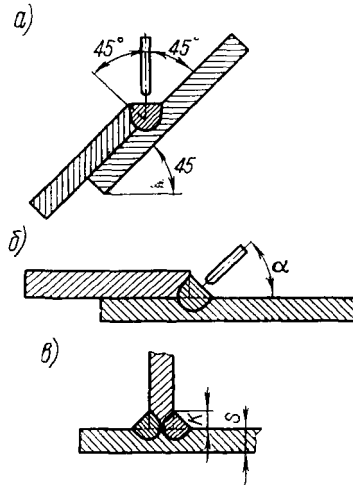
Опуклі шви недоцільні ні з технічної, ні з економічної сторони. Вони вимагають більше наплавленого металу, викликають концентрацію напруг.

Доцільні шви, які мають обриси нерівнобедрених трикутників з відношенням основи до висоти 1,5 : 1,2 : 1,0 (рис. 4.5, г, д). У швах цього типу іноді роблять механічну обробку кінців швів, щоб забезпечити плавне сполучення наплавленого металу з основним (рис. 4.5, е). Подібного роду шви доцільно застосовувати в конструкціях, що працюють при циклічних навантаженнях.

У широкій практиці конструювання поширене застосування кутових швів з нормальними обрисами (рис. 4.5, а). Розмір катета кутового шва нормального обрису позначають K .

Кутові шви можуть виконуватися за один або кілька проходів АЗФ, напівавтоматичним зварюванням в СЗГ і РДЗ. Це призводить до різної глибини провару основного металу.

Кутові шви при зварюванні під шаром флюсу отримують з більш глибоким проплавленням, ніж при РДЗ. Їх обриси показані на рис. 4.6, а, б, в.



а) - при укладанні "у човник"; б) - при укладанні похилим електродом;
в) - з глибоким проплавленням

Рисунок 4.6 – Кутові шви при зварюванні під флюсом

Найменша товщина робочих швів в машинобудівних конструкціях 3 мм. Виняток становлять конструкції, у яких товщина самого металу менше 3 мм. Верхня межа товщини швів не обмежена, але застосування швів, у яких $K > 20$ мм, дуже обмежене.

У місцях запалювання і обриву дуги механічні властивості швів погіршуються, тому мінімальну довжину робочих швів доцільно приймати не менше 30 мм, тому що при меншій довжині неможливо забезпечити хороший провар.

Шви менших розмірів застосовують лише в якості неробочих з'єднань.

Залежно від напрямку кутових швів по відношенню до діючого зусилля їх поділяють на **лобові, косі, флангові, комбіновані**.

Лобові шви спрямовані перпендикулярно зусиллю (рис. 4.7).

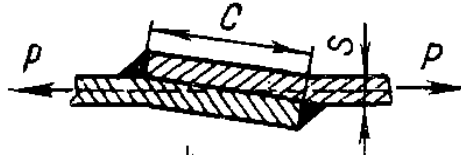


Рисунок 4.7 – З'єднання з двома розрахунковими лобовими швами

У з'єднанні, показаному на рис. 4.7, зусилля P передається двома лобовими швами і в розрахунку на міцність враховуються два лобових шва.

Внаслідок ексцентриситету елементи дещо викривляються. Відстань між лобовими швами слід приймати $C \geq 4S$.

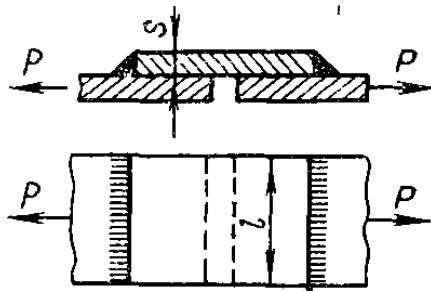


Рисунок 4.8 – З'єднання з одним розрахунковим лобовим швом

На рис. 4.8 зусилля передається через один лобовий шов на накладку; далі це зусилля передається з накладки на другий лист. При руйнуванні одного зі швів відбувається руйнування всього зварного з'єднання. Таким чином, в з'єднанні цього роду є лише один розрахунковий шов.

У лобовому шві виникає декілька складових напруг (рис. 4.9):

- нормальне напруження σ на вертикальній площині шва в зоні сплавлення,
- дотичне напруження τ на горизонтальній площині.

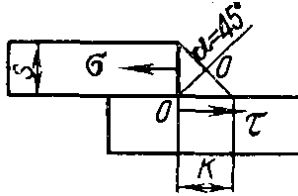


Рисунок 4.9 – Схема зусиль в лобовому шві

По методу, прийнятому в інженерній практиці, розрахунок міцності лобових швів проводиться на зрізі.

Цей метод є умовним і наближеним. При статичних навантаженнях і трикутному контуру шва слабким перетином вважають найменший переріз, що збігається з бісектрисою 0-0 прямого кута. По цій площини перевіряють міцність лобового шва; напруження при цьому не повинні перевищувати допустимого $[\tau']$.

Формула визначення допустимого зусилля P для з'єднання, що складається з одного розрахункового лобового шва (див. рис. 4.8, 4.9), має наступний вигляд:

$$P = [\tau'] \cdot \beta K l$$

для з'єднання, наведеного на рис. 4.7:

$$P = 2[\tau'] \cdot \beta K l$$

де βK – розрахункова висота шва;

β – коефіцієнт проплавлення.

Розрахункова висота шва залежить від глибини проплавлення і від технологічного процесу зварювання.

Таблиця 4.2 – Значення β в залежності від виду зварювання

Технологічний процес зварювання	β
Ручне дугове зварювання	0,7
Однопрохідне автоматичне зварювання	1,1 (1,0*)
2-3-х прохідне автоматичне зварювання	0,9
Багатопохідне автоматичне зварювання	0,7
Однопрохідне напівавтоматичне зварювання	0,9 (0,8*)
2-3-х прохідне напівавтоматичне зварювання	0,8
Багатопохідне напівавтоматичне зварювання	0,7

* - різні літературні джерела

Часто при розрахунках міцності з'єднань з кутовими швами коефіцієнт β приймають рівним 0,7 **незалежно від способу зварювання**. Це призводить до додаткового запасу міцності з'єднання, що тягне за собою перевитрату зварювальних матеріалів.

Флангові шви спрямовані паралельно зусиллю (рис. 4.10).

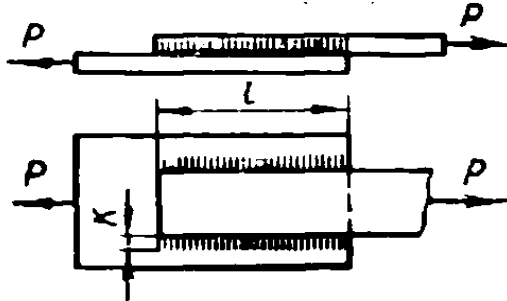


Рисунок 4.10 – Флангові шви

У них виникають два роди напруг. У результаті спільної деформації основного і наплавленого металу в флангових швах утворюються зв'язуючі напруження. Як було зазначено вище, їх не враховують при визначенні міцності з'єднання.

По площинах дотику валика флангового шва з кожним з листів, а також у самому валику виникають напруження зрізу, які є робочими напруженнями з'єднання.

Розрахунок міцності швів проводиться по небезпечній площині зрізу, що збігається з бісектрисою прямого кута. Розрахункова формула несучої здатності складена в припущенні, що напруження вздовж флангового шва розподілені рівномірно.

Для конструкції, наведеної на рис. 4.10, розрахункова формула має вигляд:

$$P = 2[\tau'] \cdot \beta Kl$$

З урахуванням концентрації напружень розрахункова довжина флангових швів повинна бути $l \geq 50K$.

Косі шви спрямовані до зусилля під деяким кутом α (рис. 4.11).

Косі шви часто застосовують у поєднанні з лобовими і фланговими.

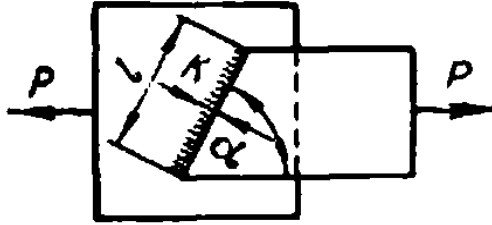


Рисунок 4.11 – Косі шви

Розрахунок міцності косих швів проводиться аналогічно описаному вище:

$$P = [\tau'] \cdot \beta K L$$

Приклад **комбінованих швів** наведено на рис. 4.12.

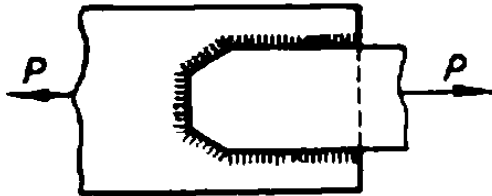


Рисунок 4.12 – Комбіновані шви

Розподіл зусиль в окремих швах, складових комбінованого з'єднання, не однаковий. Однак розрахунок міцності комбінованих з'єднань здійснюється згідно принципу незалежності дії сил.

У з'єднанні з лобовими і фланговими швами несуча здатність визначається як

$$P = P_{\text{лоб.}} + P_{\text{фл.}}$$

де P – допустиме зусилля для комбінованого з'єднання, Н;

$P_{\text{лоб.}}$ – допустиме зусилля лобового шва, Н;

$P_{\text{фл.}}$ – допустиме зусилля для флангових швів, Н.

Таким чином,

$$P = [\tau'] \cdot (\beta K l_{\text{лоб.}} + 2\beta K l_{\text{фл.}}).$$

Якщо катети усіх швів, що входять до складу комбінованого з'єднання, рівні між собою, то:

$$P = [\tau'] \cdot \beta K L,$$

де L - довжина периметра швів, м.

Вище ми розглянули розрахунки міцності зварних швів при співвісним розтяганні-стисканні з'єднання. Однак у практиці багато конструкцій, що зазнають згинальні навантаження.

При розрахунку зварних з'єднань з кутовими швами, що сприймають згинальний момент, необхідно розглянути два випадки:

а) згинальний момент сприймається одним лобовим швом (рис. 4.13);

б) згинальний момент сприймається двома фланговими швами (рис. 4.14).

Умова міцності для випадку (а):

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{M}{W_{\text{ш}}} \leq [\tau']$$

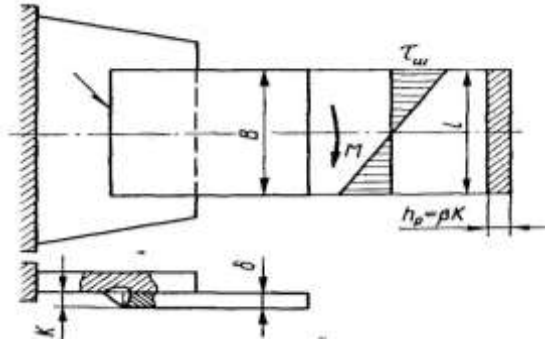


Рисунок 4.13 – Згинальний момент сприймає один лобовий шов з'єднання внапусток

При розрахунку зварних з'єднань для другого випадку (два флангових шва) – визначають сили, що сприймаються швами:

$$P = \frac{M}{H}$$

де $H = \left(B + 2\frac{K}{3}\right)$ – плече реактивної пари (в см), рівне відстані між центрами ваги зварних швів.

Потім розраховують зварні шви за формулою:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{P}{\beta K l} \leq [\tau']$$

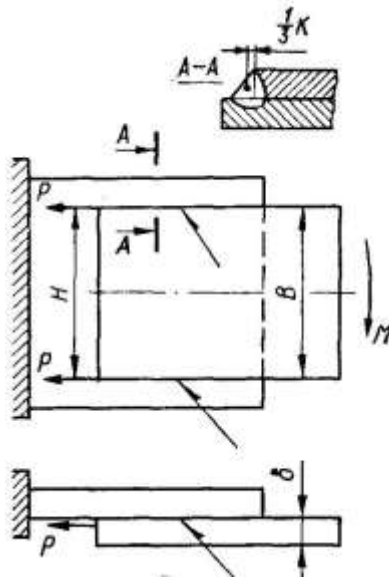


Рисунок 4.14 - Згинальний момент сприймають два флангових шва з'єднання внапусток

У зварному шві (рис. 4.15), на який діє поперечна сила P , що відстоїть від вісі шва на відстані a , виникають напруги зрізу $\tau_{\text{ш}}^P$ від сили P , спрямовані вздовж шва, і напруги зрізу $\tau_{\text{ш}}^M$ від моменту пари сил $M = P \cdot a$, що направлені перпендикулярно до осі шва.

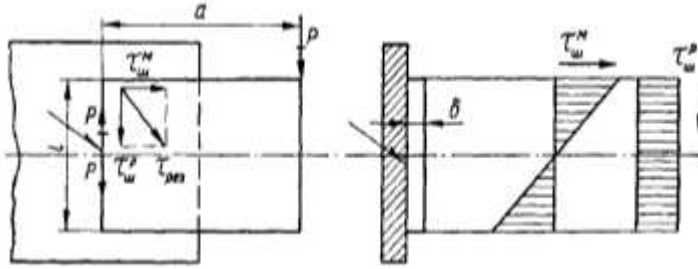


Рисунок 4.15 – Напруження від дії поперечної сили в лобовому шві з'єднання внапусток

P' і P – прикладемо в будь-якій точці осі шва дві врівноважувані сили, рівні по величині P і протилежні за напрямом.

Результуючі дотичні напруження у шві визначають за правилом додавання векторів (теорема Піфагора):

$$\tau_{\text{рез}} = \sqrt{(\tau_{\text{ш}}^M)^2 + (\tau_{\text{ш}}^P)^2}$$

Компоненти $\tau_{\text{ш}}^M$ і $\tau_{\text{ш}}^P$ обчислюються аналогічно раніше розглянутим випадкам. Умова міцності з'єднання буде:

$$\tau_{\text{рез}} \leq [\tau']$$

При дії сили P під кутом до поздовжньої осі пластини (рис. 4.16) необхідно розкласти цю силу на складові N і T , а потім визначити дотичні напруження у шві (у точці А – самої навантаженої, небезпечної точки) від дії кожної з них.

Умова міцності з'єднання буде:

$$\tau_{\text{рез}} = \sqrt{(\tau_{\text{ш}}^N + \tau_{\text{ш}}^M)^2 + (\tau_{\text{ш}}^T)^2} \leq [\tau']$$

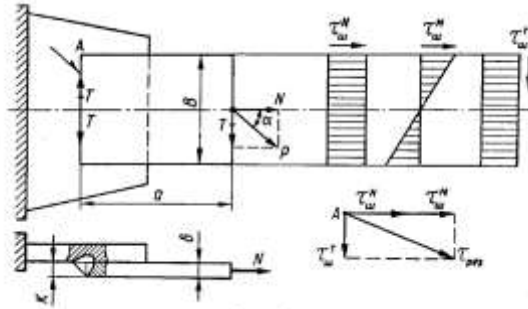


Рисунок 4.16 – Напруження від дії поперечної сили, діючої під кутом

Деяку особливість являє розрахунок міцності швів, що прикріплюють куточок, який працює під дією поздовжньої сили (рис. 4.17).

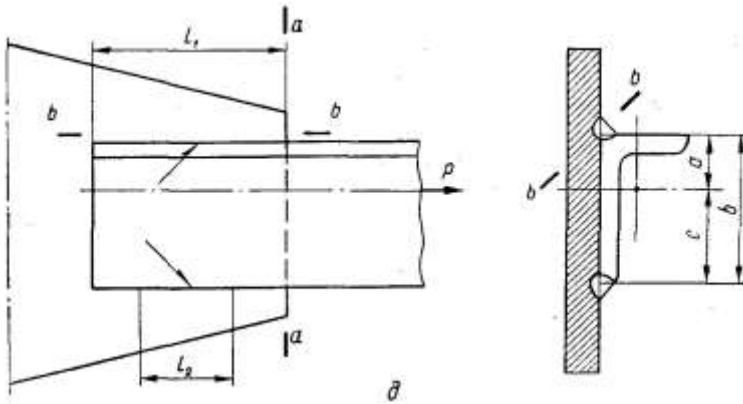


Рисунок 4.17 – Схема прикріплення куточка до пластини

Так як центр ваги (ц. в.) перетину куточка знаходиться не посередині ширини полиці куточка, то шов, розташований ближче до центру тяжіння, сприймає більше навантаження, ніж шов, розташований далі від ц. в. Вважається, що зусилля, що припадають на шви, будуть зворотнопропорційні відстаням їх від ц. в. перетину.

Приймаємо, що зусилля P в куточку діє в площині прикріпленої полки.

Зусилля, яке сприймає лобовий шов, дорівнює:

$$P_{\text{лоб}} = [\tau'] \cdot \beta K l_{\text{лоб}}$$

Ексцентриситет прикладання сили в розрахунку не враховується.

Зусилля, що передається на флангові шви:

$$P_{\text{фл}} = P - P_{\text{лоб}}$$

Це зусилля розподіляється між швами зворотньопропорційно відстані від вісі куточка до обох крайок.

При розрахунку міцності прикріплень рівнобічних куточків наближено можна прийняти:

$$l_1/l_2 = c/a$$

Відповідно довжина флангових швів l_1 і l_2 розподіляється так:

$$l_1 = (l_1 + l_2) \frac{c}{b} \quad \text{і} \quad l_2 = (l_1 + l_2) \frac{a}{b}$$

Значення $\frac{c}{b}$ і $\frac{a}{b}$ для різних куточків приймають по таблиці 4.2.

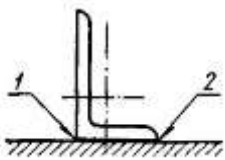
Таким чином, зусилля у шві l_1 для рівнобічного куточка буде:

$$P_1 = 0,3 P_{\text{фл}} \quad \left(\frac{a}{b} = 0,3\right)$$

зусилля у шві l_2 :

$$P_2 = 0,7 P_{\text{фл}} \quad \left(\frac{c}{b} = 0,7\right)$$

Таблиця 4.2 – До розрахунку швів, що прикріплюють куточки

Елемент, що прикріплюється	Ескіз (1 – перший шов, 2 – другий шов)	c/b для першого шва	a/b для другого шва
Рівнобічний куточок		0,7	0,3
Нерівнобічний куточок, приварений вузькою полкою		0,75	0,25
Нерівнобічний куточок, приварений широкою полкою		0,65	0,35

Дотичні напруження в швах:

$$\tau_1 = \frac{P_1}{\beta K l_1} \quad \text{і} \quad \tau_2 = \frac{P_2}{\beta K l_2}$$

Напруження в кожному з флангових швів не повинні перевищувати допустимого $[\tau']$.

Конструктивно можна збільшити довжину l_2 щодо розмірів, необхідних за розрахунком міцності, до значення l_1 .

При наближених розрахунках міцності з'єднань з комбінованими швами приймають розподіл дотичних напружень рівномірним по всьому периметру.

При цьому

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

де L – довжина периметра лобового і флангових швів, що прикріплюють навантажений елемент, у тому числі і для куточка.

Більш точний метод розрахунку передбачає облік не тільки сили що зрізує, але і моменту сили відносно центра ваги швів.

4.3 Таврові з'єднання

Таврові з'єднання застосовують для з'єднання елементів, розташованих у взаємно перпендикулярних площинах.

Таврові з'єднання, що працюють на розтяг, зазвичай розраховують залежно від способу зварювання і типу підготовки крайок.

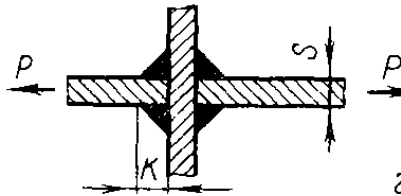


Рисунок 4.18 – Таврові з'єднання виконані ручним дуговим зварюванням

При роботі з'єднань, виконаних **ручним дуговим** зварюванням (рис. 4.18), на розтяг розрахункова формула міцності має такий вигляд:

$$P = 2[\tau'] \cdot 0,7KL$$

У тавровому з'єднанні, зображеному на рис. 4.18 зусилля передається двома швами, тому й у формулі беруть участь **два** розрахункових шва.

При роботі вузла, зображеного на рис. 4.18 на стискування зусилля P насправді часто передається з горизонтального листа на

вертикальний через площину дотику листів. Перевірка міцності швів з'єднання в цьому випадку проводиться виходячи з умовного припущення, що зусилля передається через шви. При цьому $[\tau']$ підвищується до величини $[\sigma']_{\text{ст}}$.



- а) з'єднання з односторонньою підготовкою крайок (товщина листів 4-26 мм);
б) з двосторонньою підготовкою крайок елементів товщиною 12 ... 60 мм

Рисунок 4.19 – Таврові з'єднання виконані АДЗ з повним проваром

При роботі цих з'єднань (рис. 4.19, а, б) на розтяг формула міцності має наступний вигляд:

$$P = [\sigma']_P \cdot Sl$$

S – товщина меншого з елементів, що з'єднуються.

При автоматичному зварюванні з повним проваром таврові з'єднання **розраховуються як стикові.**

При зварюванні шланговими напівавтоматами таврові з'єднання можуть виконуватися кутовими точковими швами (рис. 4.20). Застосування точкових швів доцільно головним чином у конструкціях з товщиною листів $\delta \leq 4 \dots 5$ мм.

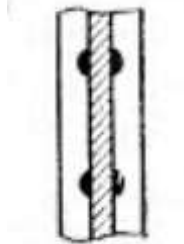
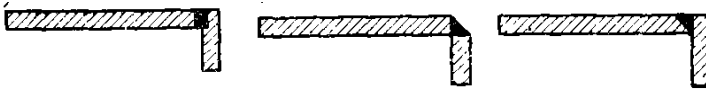


Рисунок 4.20 – З'єднання в тавр точковими дуговими швами

4.4 Кутові з'єднання

Кутове з'єднання (рис. 4.21) виконуються різними видами дугового зварювання.



а) АЗФ і напівавтоматичне в СЗГ ($s = 6 \dots 14$ мм); б) РДЗ;
в) АЗФ і напівавтоматичне в СЗГ ($s = 10 \dots 40$ мм)

Рисунок 4.21 – Кутові з'єднання, виконані різними видами зварювання

Кутові з'єднання в основному застосовуються в зв'язуючих елементах і розрахунку на міцність не підлягають

4.5 Дугові з'єднання алюмінієвих сплавів

Дуговим зварюванням зварюють практично всі алюмінієві сплави, але зварюваність їх різна. Зварні з'єднання алюмінієвих сплавів мають підвищену чутливість до концентраторів напружень в порівнянні з рядом сталей, застосовуваних у конструкціях. Тому до з'єднань з алюмінієвих сплавів висувають ряд вимог, що відносяться до їх конструктивного оформлення та запобіганню ушкоджень виробів у процесі виробництва (рис. 4.22).

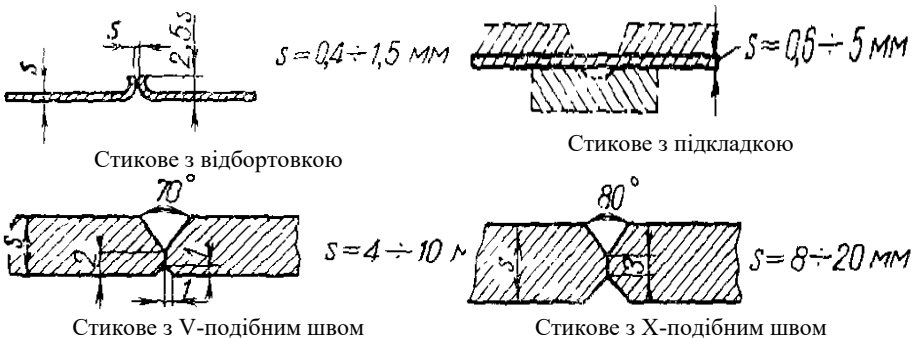


Рисунок 4.22 - Види зварних з'єднань залюмінієвих сплавів

Продовження рис. 4.22

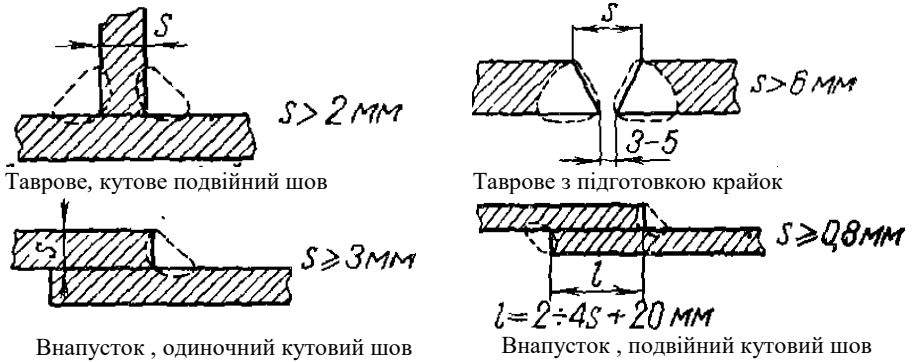


Рисунок 4.22 - Види зварних з'єднань заломієвих сплавів

Розрахункові формули аналогічні формулам для "чорних" металів і сплавів, але допустимі напруження вибираються для відповідного кольорового сплаву.

На рис. 4.23 наведено приклади раціональних і не раціональних стикових з'єднань деталей з алюмінієвих сплавів різних товщин при наявності і відсутності ексцентриситету.

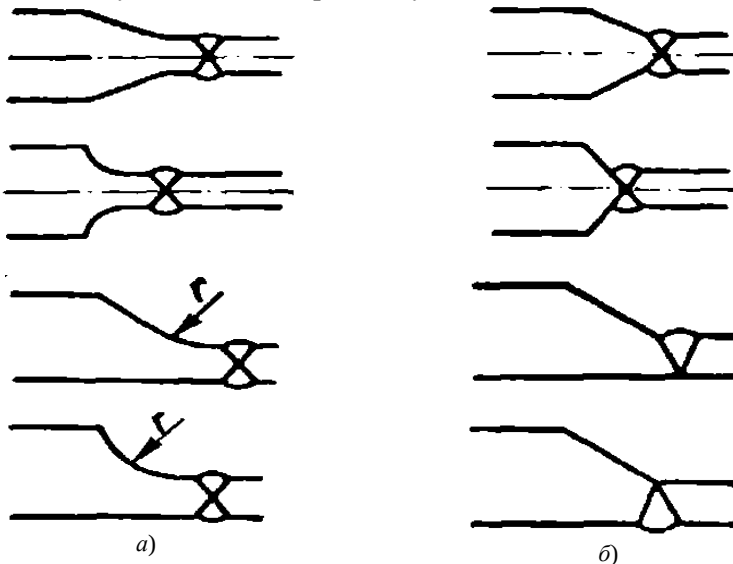


Рисунок 4.23 – Раціональні (а) і не раціональні (б) шви стикових з'єднань деталей з алюмінієвих сплавів

У раціональних варіантах зварних швів передбачені варіанти плавних з'єднань з основним металом. Це зроблено з метою усунення концентраторів напружень, що знижують межу міцності з'єднань.

При виготовленні конструкцій з алюмінієвих сплавів рекомендується застосовувати стикові з'єднання, а також з'єднання, в яких зварні шви розташовані в зонах знижених робочих напруг, віддалені від зони різкої зміни перетину.

Титанові сплави по ряду параметрів аналогічні алюмінієвим, зокрема по чутливості до концентраторів напружень. Тому й оформлення зварних з'єднань в конструкціях з титанових сплавів не має істотних відмінностей від з'єднань з алюмінієвих сплавів.