

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра "Будівельних, дорожніх машин і будівництва"

МЕТАЛИ І ЗВАРЮВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

Методичні рекомендації з вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання



Кропивницький 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

МЕТАЛИ І ЗВАРЮВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

Методичні рекомендації з вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання

Затверджено на засіданні кафедри

Будівельних, дорожніх машин і будівництва

Протокол від 18.08.2020 р. № 1

Кропивницький 2020

Метали і зварювання в будівництві. Методичні рекомендації з вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання / Розроб. В.А. Пашинський, А.А. Тихий. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. - 30 с.

Укладачі: д.т.н., професор Пашинський В.А.,
к.т.н. доцент Тихий А.А.

Рецензент: Лисенко С.В. – к.т.н., доц. каф. "Експлуатації та ремонту машин";

Відповідальний за випуск: завідувач кафедри будівельних,
дорожніх машин і будівництва
професор Настоящий В.А.

З М І С Т

ВСТУП	4
1. Основи технології ручного електродугового зварювання	5
2. Електроди для ручного електродугового зварювання	7
3. Процес електродугового зварювання у вуглекислому газі	9
4. Будова й робота зварювального напівавтомата	11
5. Технологія дугового зварювання у вуглекислому газі	13
6. Вибір сталі для металевих конструкцій та визначення її розрахункових характеристик	14
7. Вибір матеріалів для зварювання сталі та визначення розрахункових характеристик зварних з'єднань	15
8. Рекомендації щодо вибору технологічних режимів зварювання	17
9. Загальні правила розрахунку зварних з'єднань	19
10. Вимоги до конструювання зварних з'єднань	20
Рекомендована література	21
Додаток А Режими зварювання в середовищі вуглекислого газу	22
Додаток Б Довідкові таблиці	23
Таблиця Б.1 – Коефіцієнти стійкості для розрахунку центрально стиснутих стержнів за кривою стійкості типу С	23
Таблиця Б.2 – Кутники гарячекатані рівнополичні за ГОСТ 8509-93	24
Таблиця Б.3 – Кутники гарячекатані нерівнополичні за ГОСТ 8510-86*	26
Таблиця Б.4 – Двотаври сталеві гарячекатані за ГОСТ 8239-89 (СТ СЭВ 2209-80) (з ухилом поличок)	28

ВСТУП

Методичні рекомендації призначені для використання здобувачами освіти спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" при вивченні навчальної дисципліни "Метали і зварювання в будівництві". Під час практичних занять і самостійної роботи здобувачі вищої освіти розв'язують задачі, характерні для проектування та монтажу будівельних конструкцій: визначення розрахункових характеристик конструкційних сталей, вибір матеріалів для зварювання та режимів електродугового зварювання сталей, розрахунок і конструювання зварних з'єднань з кутовими та стиковими швами при різних видах деформації.

Алгоритми розв'язання цих задач наведені в бланку індивідуальних розрахункових завдань [11], який містить умови задач, послідовність необхідних дій, коментарі з посиланнями на пункти, формули й таблиці нормативних документів, а також бланки для запису вихідних даних, розрахункових формул, результатів обчислень та висновків. У процесі розв'язання задач слід дотримуватися загальних правил виконання розрахунків та конструювання зварних з'єднань, які стисло викладені нижче, а також користуватися рекомендованою літературою та нормативними документами, посилання на які наведені в [11].

У додатках наведені довідкові дані, необхідні для розв'язання задач і вивчення теоретичної частини курсу:

- ✓ детальна таблиця коефіцієнтів стійкості за кривою типу С для розрахунку центрально стиснутих елементів сталевих конструкцій, розроблена за формулами [6] (таблиця Б.1 додатка Б);
- ✓ вибіркові сортаменти прокатних профілів за даними стандартів [3, 4, 7] (таблиці Б.2, Б.3, Б.4 додатка Б).

У процесі роботи слід також керуватися нормативними документами [1, 5, 6], посилання на пункти, формули, рисунки, таблиці й додатки яких надані в тексті даних вказівок та в розрахунковому бланку [11].

Теоретичну частину курсу слід вивчати за нормативними документами [1, 2, 5, 6], навчальними виданнями [8, 9, 10] та наведеними нижче короткими теоретичними відомостями.

Результати розв'язання задач оформлюються у бланку індивідуальних розрахункових завдань [11], який надається здобувачам вищої освіти в електронному вигляді. Здобувачі вищої освіти можуть внести результати своїх розрахунків у цей бланк за допомогою Microsoft Word і роздрукувати готовий результат, або роздрукувати бланк і вписувати в нього необхідні дані від руки.

1. Основи технології ручного електродугового зварювання

Зварюванням називають процес утворення нероз'ємних монолітних з'єднань шляхом встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними деталями при їх місцевому нагріві, пластичному деформуванні, або спільній дії цих факторів. При зварюванні плавленням деталі з'єднують за рахунок місцевого розплавлення металу зварюваних деталей без прикладання тиску. Розплавляється тільки основний метал (кромки виробу), або основний і додатковий метал (електродний чи присадковий).

В даний час основним видом зварювання плавленням є електричне дугове зварювання, при якому нагрів та плавлення металу здійснюється дуговим розрядом, що виникає між електродами та зварюваними деталями.

Зварювальна дуга – це потужний електричний розряд, що виникає в газовому проміжку між електродами, до яких підведена напруга. Електричний струм в дузі є результатом руху заряджених частинок – електронів та іонів. Джерелом заряджених частинок в газах можуть бути самі молекули газу, які іонізуються, отримавши достатню кількість енергії. При цьому основним чинником, що викликає іонізацію, є висока температура газу, яка підтримується надходженням енергії від електричного джерела живлення. Така іонізація називається термічною і відбувається за схемою: нейтральна газова молекула + енергія активації = позитивний іон + електрон. Крім того, потужним джерелом заряджених частинок є від'ємно заряджений електрод – катод, який емітує в об'єм стовпа дуги велику кількість вільних електронів. Емісія, тобто вихід електронів з катода, а саме з поверхні катодної плями, можлива в результаті нагріву катода (термоелектронна емісія) та створення біля його поверхні електричного поля дуже високої напруженості (автоелектронна емісія).

На електронну емісію витрачається енергія і катод охолоджується. Однак в результаті бомбардування поверхні катода позитивними іонами загальний баланс енергії на катоді додатний. Ця енергія витрачається на нагрів, плавлення та випаровування матеріалу катода. Анод дугового розряду бомбардується електронами, що надходять зі стовпа дуги. На поверхні анода електрон віддає потенційну енергію, що відповідає роботі виходу анодної поверхні, та кінетичну енергію, отриману в області анодного падіння напруги. При цьому анод інтенсивно розігрівається та плавиться.

Ступінь іонізації дугового газу визначається його температурою. В нормальній зварювальній дузі найвища температура спостерігається в осьовій частині стовпа дуги, де вона досягає 6000°C, що дає ступінь іонізації в декілька процентів. На поверхнях електродів в ділянці електродних плям температура звичайно близька до температури кипіння матеріалів електродів.

Потенціал іонізації змінюється в межах від 3,9 eV (Cs) до 24,5 eV (He). Основний газ стовпа дуги при зварюванні сталей складається з парів заліза з потенціалом іонізації 7,8 eV. Для легкого запалювання та стійкого горіння дуги бажано мати у стовпі дуги газу з малим потенціалом іонізації. Це перш за все пари лужних та лужноземельних металів, особливо калію (потенціал іонізації 4,3 eV). Теорія та практика показують, що для стійкого горіння дуги достатньо присутності в стовпі дуги 5–8% парів металів з малим потенціалом іонізації.

Система "дуга – джерело струму", що живить електричну дугу, через короткий час після запалювання приходить у стан рівноваги. Дуговий розряд віддає в оточуюче середовище велику кількість енергії, яку необхідно безперервно поповнювати від джерела живлення.

Якщо дуга горить між зварюваним металом та електродом, цей спосіб називають зварюванням дугою прямої дії. При використанні дуги прямої дії розрізняють зварювання електродом, що не плавиться (вугільним, графітовим або вольфрамовим), і металевим електродом, який плавиться. В останньому випадку шов утворюється за рахунок розплавлення основного металу та електрода. Дуга живиться від джерела змінного або постійного струму. Зварювання на постійному струмі може виконуватися при прямій та зворотній полярності. При прямій полярності електрод з'єднують з від'ємним полюсом джерела постійного струму, а при зворотній полярності – навпаки. Дуга прямої полярності забезпечує більш глибоке проплавлення основного металу, а в дузі зворотної полярності підвищується швидкість плавлення електрода. Типова зовнішня форма дуги при прямій та зворотній полярності подана на рисунку 1.

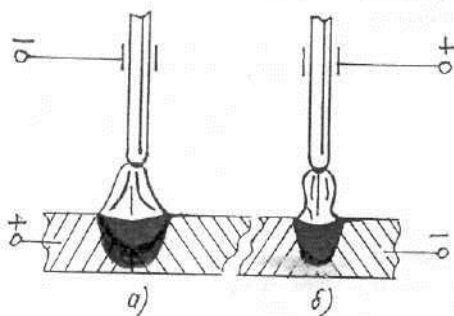


Рис. 1 Форма зварювальної дуги при прямій (а) та зворотній (б) полярності

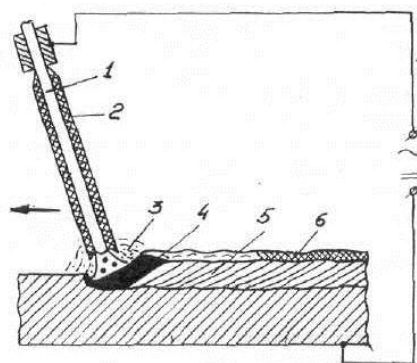


Рис. 2 Схема зварювання покритим електродом

Дугове зварювання електродом, що плавиться, може бути ручним, механізованим та автоматичним. Ручне дугове зварювання металевим покритим електродом отримало широке розповсюдження в будівництві, оскільки відрізняється високою універсальністю та значною мобільністю. Спосіб дозволяє без заміни зварювального інструменту та обладнання (при

відповідному режимі зварювання) виконувати шви різних типів, перерізів та призначення, а також вести зварювання у будь-якому просторовому положенні та у важкодоступних місцях.

При дуговому зварюванні відбувається енергетична взаємодія розплавленого металу електрода та зварювальної ванни з киснем і азотом повітря, що приводить до зміни механічних, корозійних та інших властивостей металу шва. Тому виникає необхідність захисту зони зварювання від оточуючого повітря. Цю функцію виконує спеціальне покриття, що наноситься на поверхню електродного дроту або стержня. Додатковими функціями покриття є легування металу шва, очищення його від шкідливих домішок, стабілізація дугового розряду, теплова ізоляція з метою зменшення швидкості охолодження готового зварного шва.

При зварюванні покритим електродом, схема якого зображена на рисунку 2, по мірі плавлення стержня 1 розплавляється покриття 2, створюючи залежно від його хімічного складу шлаковий або газовий захист 3, що ізолює зону дуги та зварювальну ванну 4 від атмосферного повітря. При віддаленні дуги відбувається охолодження та кристалізація металу зварювальної ванни і формування шва 5. Розплавлене покриття спливає на поверхню і після затвердіння утворює шлакову кірку 6.

При зварюванні деталей та вузлів металевих конструкцій переважно застосовують покриті електроди діаметром 3-6 мм. Основний обсяг робіт виконується струмом 90-350 А при напрузі на дузі 18-30 В. Якість швів та зварних з'єднань, виконаних ручним дуговим зварюванням, суттєво залежить від умов роботи та виробничих навичок зварників.

2. Електроди для ручного електродугового зварювання

Покритий електрод – це металевий стержень з електродного дроту, на поверхню якого нанесене покриття з порошкоподібних речовин, скріплених клеючою речовиною (найчастіше розчином рідкого скла). Залежно від типу покриття, до його складу можуть входити такі компоненти:

- ✓ шлакоутворювальні, які створюють захисний шлакове покриття на поверхні крапель рідкого металу та зварювальної ванни, знижують швидкість охолодження металу, сприяють усуненню неметалевих і газових включень;
- ✓ газоутворювальні, які створюють газовий захист (з вуглекислого газу, окису вуглецю та вуглеводнів) рідкого металу від шкідливого впливу повітря;
- ✓ -розкислювальні, призначені для розкислення рідкого металу, тобто зниження в ньому вмісту кисню;

- ✓ легуючі, призначені для легування рідкого металу окремими елементами з метою надання йому необхідних властивостей (підвищеної міцності, пластичності, зносостійкості, корозійної стійкості тощо);
- ✓ стабілізуючі, які підвищують стійкість горіння дуги;
- ✓ зв'язуючі, призначені для зв'язування всіх компонентів покриття між собою та стержнем електрода.

Залежно від складу, покриття електродів бувають: кислі (А), рутилові (Р), основні (Б), целюлозні (Ц) та змішаного типу (подвійне позначення). Типи покриттів та відповідні марки електродів загального призначення для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей наведені й коротко охарактеризовані в таблиці 1.

Тип електрода згідно з ГОСТ 9467-75 характеризує механічні властивості металу шва (наплавленого металу). Наприклад, електрод марки СМ-11 належить до типу Э42А. Число після букви М показує гарантовану мінімальну межу міцності наплавленого металу в десятках мегапаскалів, яка забезпечується при зварюванні електродами даного типу. Якщо метал шва має підвищені пластичні властивості, то до позначення додається буква А. Одному типу може відповідати декілька різних марок електродів.

Таблиця 1 Типи покриттів та марки електродів загального призначення для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей

Характеристика покриття	Тип і марки електродів
<p style="text-align: center;">Кислі покриття (А)</p> <p>Шлакоутворювальна основа складається з алюмосилікатів, окислів заліза та марганцю. Газовий захист забезпечується за рахунок згорання органічних складових. Наплавлений метал дуже окислений, схильний до гарячих тріщин, має низьку пластичність. Електроди з кислими покриттями призначені для зварювання невідповідальних конструкцій з маловуглецевих киплячих та напівспокійних сталей. Останнім часом витісняються рутиловим покриттям.</p>	<p>Тип Э42: СМ-5; ЦМ-7; ОММ-5</p>
<p style="text-align: center;">Рутилові покриття (Р)</p> <p>Шлакоутворювальною основою є рутиловий концентрат, алюмосилікати і карбонати. Газовий захист забезпечується за рахунок органічних складових та карбонатів. Титанисті шлаки мають достатню рідкотекучість, що забезпечує контакт між металом та шлаком, якісне формування шва. Шлак після охолодження легко усувається. Електроди з рутиловими покриттями мають добрі гігієнічні властивості завдяки малій концентрації оксидів марганцю в димі. Використовують для зварювання маловуглецевих сталей.</p>	<p>Тип Э42: АНО-1; АНО-5, АНО-6 Тип Э46: АНО-3; АНО-4; МР-3; ОЗС-4, ОЗС-6; РБУ-4</p>

Характеристика покриття	Тип і марки електродів
<p align="center">Основні покриття (Б)</p> <p>Шлакоутворювальну основу складають плавиковий шпат (CaF_2), карбонати кальцію та магнію. Газовий захист створюється при розкладі карбонатів, розкислення здійснюється Mn, Si, Ti, Al. Наплавлений метал стійкий проти утворення кристалізаційних тріщин, має високу міцність та ударну в'язкість. Електроди з основним покриттям використовують для зварювання відповідальних конструкцій з вуглецевих та низьколегованих сталей, зокрема для конструкцій, що експлуатуються при від'ємних температурах. Як правило, зварювання ведуть постійним струмом зворотної полярності.</p>	<p>Тип Э42А: СМ-11; ОЗС-2</p> <p>Тип Э46А: УОНИИ-13/45</p> <p>Тип Э50А: УОНИ-13/55; ДСК-50</p> <p>Тип Э60А: УОНИ-13/65</p>
<p align="center">Целюлозні покриття (Ц)</p> <p>Містять органічні складові, що утворюють захисні гази, та стабілізуючі компоненти. Ці покриття утворюють тонкий шар шлаку. Електроди з целюлозними покриттями зручні для монтажних робіт, коли необхідно зварювати шви у всіх просторових положеннях. Вони забезпечують добрий провар кореня шва та формування його зворотної сторони.</p>	<p>Тип Э42: ОМА-2; ВСЦ-2; ВСЦ-4</p>

3. Процес електродугового зварювання у вуглекислому газі

Дугове зварювання в середовищі вуглекислого газу є одним із способів напівавтоматичного зварювання в захисних газах. Як показано на рисунку 3 а, воно виконується на постійному струмі зворотної полярності плавким електродом 1 – непокритим електродним дротом суцільного перетину або порошковим дротом. Захист розплавленого металу зварювальної ванни здійснюється струменем вуглекислого газу, що подається в зону дуги в зазор між мундштуком 2 і соплом 3 пальника для дугового зварювання.

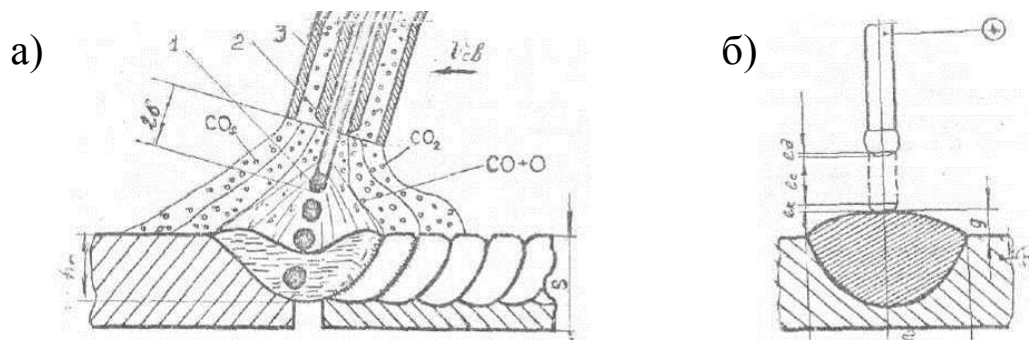
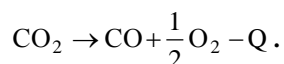


Рис. 3 Схеми процесу зварювання у вуглекислому газі (а) та електричної дуги (б)

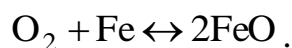
Вуглекислий газ (CO₂) – безбарвний із слабким запахом, його густина 1,839 кг/м³, більша за густину повітря, що й забезпечує захист зварювальної ванни. Поставляється в зрідженому стані під тиском 490–588 МПа в сталевих балонах чорного кольору. При випаровуванні 1 кг вуглекислоти виділяється 509 дм³ газу. Для зварювання використовується технічний CO₂ першого гатунку (вміст CO₂ не менше 99,5%) і другого гатунку (вміст CO₂ не менше 98,5%). Захисні властивості вуглекислого газу обумовлюються не лише його чистотою, але й швидкістю струменя, залежного від розмірів вихідного сопла пальника. Швидкість витікання газу вибирається в межах 0,6...1,5 м/с такою, щоб забезпечити ламінарний характер потоку газу з мінімальним перемішуванням вуглекислого газу з повітрям, відсутність підсосу повітря і утворення повітряних мішків. При надмірно великій швидкості витікання газу можливе його завихрення і проникнення повітря в зону зварювання внаслідок інжекції.

Дуга прямої дії у вуглекислому газі відрізняється більшою стабільністю і має зростаючу вольт-амперну характеристику. Стовп дуги, схема якої наведена на рисунку 3 б, складається з потоку електронів, іонів, збуджених і незбуджених нейтральних атомів і молекул. У ньому безперервно протікають процеси зародження (іонізації) і загаснення (рекомбінації) заряджених електронів та іонів. В зоні високих температур стовпа дуги, вуглекислий газ CO₂ дисоціює по ендотермічній реакції:

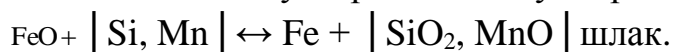


На дисоціацію CO₂ витрачається 20–25% теплової потужності дуги. У зоні з нижчою температурою, яка оточує стовп дуги, постійно йде процес рекомбінації молекул CO і O₂, що супроводжується виділенням тепла. Електрична дуга є сильним випромінювачем ультрафіолетових (1700–1400 Ао) і інфрачервоних (7000–1500 Ао), променів.

Кисень, що утворився в результаті дисоціації і потрапив в зону зварювання, окислює метал зварювальної ванни по реакції:



При зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей в зварювальній ванні також протікають реакції окислення вуглецю, марганцю, кремнію та інших елементів. З метою усунення реакції окислення вуглецю, розкислювання металу шва, видалення заліза FeO і запобігання утворенню пор зварювання у вуглекислому газі виконується електродними дротами марок СВ08ГСА, СВ08Г2С, СВ10ГС, СВ07ГСЮ та іншими, які мають підвищений вміст марганцю, кремнію та алюмінію. При взаємодії Mn і Si із оксидом заліза FeO проходить процес відновлення заліза і утворення шлаку по реакції:



Зварювання у вуглекислому газі забезпечує:

- ✓ високу концентрацію тепла дуги і більшу розплавляючу здатність, ніж при ручному зварюванні. Це обумовлює менше розігрівання кромки, велику швидкість зварювання, вищу економічність і продуктивність процесу;
- ✓ високу стабільність процесу в широкому діапазоні значень струму;
- ✓ стійкість проти утворення пор і тріщин, обумовлену окислювальною атмосферою в зоні зварювання;
- ✓ можливість спостереження за зварювальною ванною та формуванням шва.

Застосування порошкового дроту, який складається з металевої оболонки, заповненої порошкоподібними флюсами, підвищує ефективність металургійної обробки зварювальної ванни і поліпшує якість формування шва.

Останнім часом упроваджується зварювання самозахисним порошковим дротом, яке не потребує використання захисного газу. Простота й висока якість зварювання цього виду сприяє його використанню в монтажних умовах.

4. Будова й робота зварювального напівавтомата

Для виконання дугового зварювання у вуглекислому газі застосовуються зварювальні напівавтомати і автомати. У напівавтоматах подача електродного дроту і захисного газу в зону дуги автоматизовані, а переміщення зварювального пальника уздовж крайок зварюваних заготовок з необхідною швидкістю здійснюється вручну. Джерелами струму найчастіше служать випрямлячі з жорсткою або пологопадаючою зовнішньою характеристикою. Технічні характеристики поширених напівавтоматів для зварювання у вуглекислому газу наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Напівавтомати для зварювання у вуглекислому газі

Технічні характеристики	Марки напівавтоматів					
	ПДГ-305	ЦДГ-502	ПДГ-601	Magpol-400	ВДУ-506 УЗ	А-765 (без CO ₂)
Напруга живлячої мережі, В	380	380, 220	380	380	380, 220	380
Номінальний зварювальний струм, А	315	500	630	315	500	500
Межі регулювання зварювального струму, А	50-315	100-500	100-700	50-315	50-500	
Номінальний режим роботи НР, %	60	60	60	60; 100	60	
Діаметр електродного дроту, мм	0,8-1,4	1,2-2,0	1,2-2,5	0,8-1,6		1,6-3,0
Швидкість подачі дроту, м/год	180-720	180-720	110-1094	94-1260		58-582
Тип випрямляча	ВДГ-302 УЗ	ВДУ-500-1	ВДГ-601	EP1		BC-600

В якості прикладу на рисунку 4 показано загальний вид зварювального напівавтомата ПДГ-305. Напівавтомат складається з пальника 1, механізму подачі електродного дроту 2, переносного пульта управління 3, зварювального випрямляча з вбудованим блоком управління 4, газового редуктора з витратоміром, підігрівача газу, з'єднувальних шлангів і проводів.

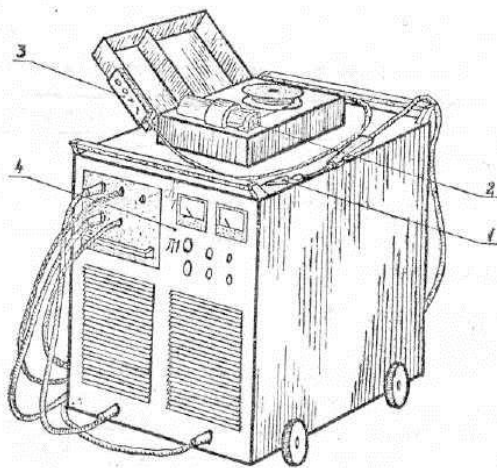


Рис. 4 Зварювальний напівавтомат ПДГ-305

Пальник для дугового зварювання служить для подачі в зону дуги електродного дроту та захисного газу, а також підведення до електродного дроту зварювального струму. Зварювальний пальник комплектується змінними соплами які мають різні швидкості підведення газу.

Механізм подачі забезпечує безперервну подачу електродного дроту в зону дуги з необхідною швидкістю по мірі його розплавлення. На механізмі подачі розміщені касета з електродним дротом і переносний пульт керування. Механізм подачі встановлюється на турелі, яка забезпечує можливість повороту навколо вертикальної осі на 360° відносно корпусу напівавтомата.

Підігрівач поліпшує випаровування вуглекислоти та запобігає замерзанню каналу проходу газу при перепаді тиску.

Випрямляч забезпечує перетворення трифазного змінного струму в постійний струм з жорсткою зовнішньою характеристикою та регулювання зварювальної напруги в необхідних межах.

Блок управління призначений для регулювання й стабілізації швидкості подачі електродного дроту, регулювання величини зварювального струму та напруги. Газовий редуктор з витратоміром дає можливість регулювати і підтримувати постійний тиск і витрату вуглекислого газу.

Налагоджування напівавтомата на вибраний режим зварювання необхідно виконувати в такій послідовності:

- ✓ увімкнути електричну схему вимикачем В1; при цьому на блоці управління загорасться сигнальна лампа Л1;

- ✓ пропустити електродний дріт через шланг пальника, натиснувши тумблер переміщення дроту на переносному пульті керування, і встановити необхідний виліт дроту;
- ✓ відкрити вентиль балона з вуглекислим газом і обертанням гвинта редуктора витратоміра встановити необхідний тиск і витрату газу;
- ✓ обертанням маховичка потенціометра встановити вибрану швидкість подачі електродного дроту;
- ✓ обертанням маховичка потенціометра встановити вибрану величину струму і напруги зварювальної дуги;
- ✓ встановити пальник під кутом $75-80^\circ$ до зварюваних заготовок на відстані 10-25 мм від них;
- ✓ натиснути вимикач на пальнику.

При натисненні вимикача вмикається газовий клапан, вуглекислий газ проходить по системі та витісняє з неї повітря. Через одну секунду вмикається випрямляч і привід подачі дроту. Електродний дріт подається з касети по гнучкому направляючому каналу в зону дуги. При замиканні електродного дроту на зварювані деталі запалюється дуга й починається процес зварювання.

5. Технологія дугового зварювання у вуглекислому газі

Для отримання якісного зварного шва необхідна підтримка постійного вильоту електроду, стабільної довжини дуги, рівномірне переміщення пальника вздовж крайок заготовок із заданою швидкістю зварювання і, при необхідності, коливальні поперечні рухи електроду. Схеми виконання напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу зображені на рисунку 5.

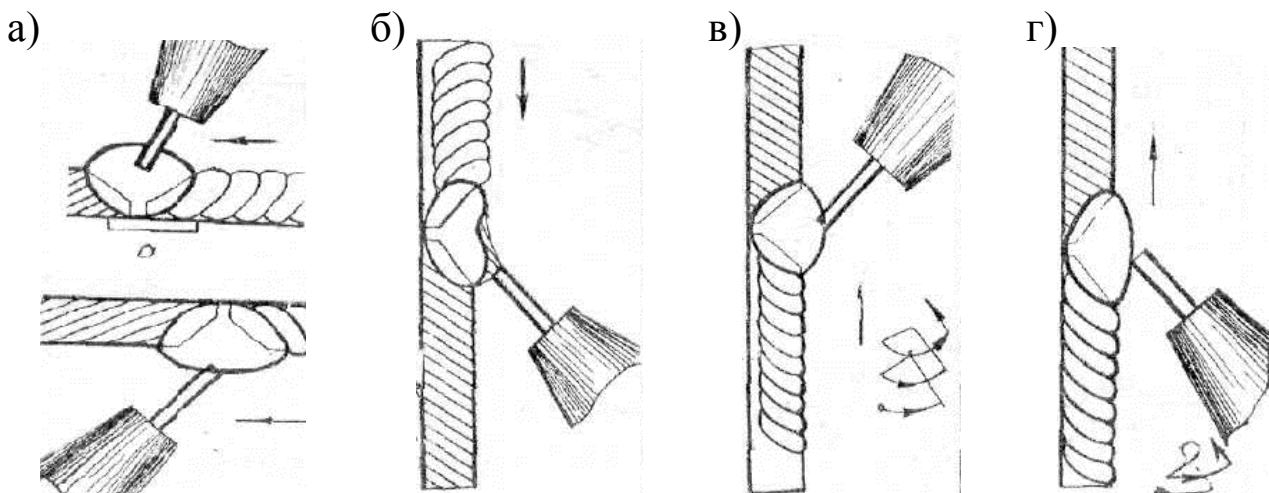


Рис. 5 Схеми розташування пальника та поперечних коливань електроду при напівавтоматичному зварюванні у вуглекислому газі

Зварювання стикових і напускових з'єднань у нижньому положенні при товщині деталей 0,8...1,2 мм виконується при рівномірному поступальному переміщенні електроду (рис. 5 а). Метал товщиною до 3 мм у нижньому положенні зварюють без поперечних коливань електроду, а при товщині понад 3 мм здійснюють поперечні коливання електроду.

Стельові шви зварюють електродом діаметром 0,5 --1,4 мм "кутом назад" при мінімальних значеннях струму й напруги і при спрямуванні дуги на ванну рідкого металу (рис. 5 а).

Зварювання вертикальних швів деталей товщиною до 6 мм виконують зверху вниз з нахилом електроду кутом назад, направляючи дугу на передню частину зварювальної ванни (рис. 5 б), що забезпечує достатнє проплавлення кромки і виключає можливість пропалювання.

При товщині металу понад 6 мм вертикальні шви виконують при русі електроду від низу до верху з поперечними коливаннями (рис. 5 в, г).

Напівавтоматичне зварювання порошковим дротом виконується короткою дугою, оскільки при збільшенні довжини дуги посилюється розбризкування рідкого металу, погіршується його захист від кисню і азоту повітря, посилюється вигорання елементів дроту, що приводить до утворення пор в наплавленому металі.

6. Вибір сталі для металевих конструкцій та визначення її розрахункових характеристик

Сталь для несучих металевих конструкцій вибирається за вказівками додатку Г ДБН В.2.6-198:2014 [6] залежно від групи конструкцій, яка встановлюється за пунктом А.1 додатку А [6] з урахуванням таких факторів:

- ✓ класу відповідальності будівлі чи споруди за [5];
- ✓ категорії конструкції за призначенням згідно [5] або таблиці А.1 [6];
- ✓ категорії конструкції за напруженим станом згідно таблиці А.1 [6];
- ✓ наявності напружень розтягу від розрахункового навантаження;
- ✓ можливості несприятливого впливу зварних з'єднань.

Згідно з додатком А ДБН [6] сталеві несучі конструкції поділяються на чотири групи, які можна загалом охарактеризувати таким чином:

- група 1 – відповідальні конструкції, які працюють переважно на розтяг при динамічних навантаженнях;
- група 2 – відповідальні конструкції, які працюють переважно на розтяг при статичних навантаженнях;
- група 3 – відповідальні конструкції, які працюють переважно на стиск;
- група 4 – допоміжні конструкції, а також маловідповідальні конструкції, які працюють переважно на стиск.

Сталь для конструкції вибирається з урахуванням встановленої групи конструкцій, необхідних показників міцності та інших технічних характеристик за таблицею Г.1 [6], де усі сталі згруповані в класи міцності. Позначення класу міцності сталі містить величину характеристичного опору за межею текучості, а також букви К (підвищена корозійна стійкість) або Т (термічне зміцнення). Перелік вітчизняних марок сталей масового застосування, що відповідають різним класам міцності, наведений у таблиці Г.5 [6]. Додаток В містить загальні вимоги до технічних характеристик сталей, відповідність яким дозволяє використовувати сталі іноземного виробництва.

Фізичні характеристики матеріалів для сталевих конструкцій (густина, модуль пружності, коефіцієнт лінійного розширення тощо) наведені в таблиці Б.1 [6]. Характеристичні та розрахункові опори сталевого прокату за межею текучості (індекс **y**) та за межею міцності (індекс **u**) визначаються за таблицею Г.2 ДБН В.2.6-163:2010 [6] залежно від:

- ✓ класу міцності сталі;
- ✓ виду прокату (листовий чи фасонний);
- ✓ товщини прокату.

Характеристичні та розрахункові опори сталевих труб, а також відливки з чавуну та сталі визначаються за таблицями додатку Г ДБН [6]. Вимоги до хімічного складу та показників ударної в'язкості встановлені в додатку В [6].

Для виготовлення сталевих конструкцій можуть використовуватися також інші сталі (наприклад, іноземного виробництва), технічні характеристики яких відповідають вимогам додатків Б, В ДБН В.2.6-198:2014 [6].

7. Вибір матеріалів для зварювання сталі та визначення розрахункових характеристик зварних з'єднань

Для електродугового зварювання сталевих конструкцій використовують покриті електроди для ручного зварювання, зварювальний дріт суцільного перерізу, самозахисний порошковий дріт, порошкові флюси, вуглекислий газ та аргон. Марки електродів та зварювального дроту вибираються за таблицею Д.1 ДБН В.2.6-198:2014 [6] з урахуванням виду зварювання, групи конструкцій і класу міцності сталі зварюваних елементів. Марка флюсу для автоматичного зварювання вибирається за тією ж таблицею відповідно до обраної марки зварювального дроту.

Марка і діаметр зварювального дроту для напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу вибираються залежно від марки зварюваного металу, конструктивних і технологічних особливостей зварної конструкції. Для автоматичного та напівавтоматичного зварювання вуглецевих і низьколегованих

сталей використовують електродні дроти різних марок. Вони забезпечують значно більшу продуктивність, ніж при ручному дуговому зварюванні покритими електродами, але розбризкування електродного металу сягає 5...6 %. Відповідальні конструкції з вуглецевих і низьколегованих сталей, а також монтажні шви часто зварюють порошковим дротом.

Для зварювання конструкцій з вуглецевих і низьколегованих сталей без газового захисту використовують самозахисні порошкові дроти призначення Самозахисні леговані дроти суцільного перетину використовують для зварювання без газового захисту вуглецевих і марганцевих сталей, у тому числі арматури залізобетонних конструкцій.

Правильний вибір зварювальних матеріалів гарантує, що при дотриманні технології зварювання механічні характеристики наплавленого металу будуть не нижчими за характеристики зварюваних деталей. Використання електродів чи зварювального дроту однієї й тієї ж марки для зварювання сталей різних класів міцності, передбачене таблицею Д.1 [6], обумовлює додаткові запаси міцності при зварюванні сталей нижчого класу. Для зварювання конструкцій груп 1 і 2, які працюють на розтяг, використовують зварювальні матеріали з підвищеною пластичністю (електроди з індексом А та відповідні марки зварювального дроту) порівняно з матеріалами для зварювання конструкцій груп 3 і 4, які працюють переважно на стиск і в яких малоймовірні крихкі руйнування. Для проектування сталевих конструкцій достатньо встановити тип електродів, від якого залежать механічні характеристики та інші властивості наплавленого металу. Конкретна марка електродів, зварювального дроту та флюсу обирається з числа рекомендованих для даного класу міцності сталі фахівцями з технології зварювання з урахуванням технологічних особливостей та умов виконання зварювальних робіт. Усі матеріали, рекомендовані для даного класу міцності сталі, є практично рівноцінними за механічними характеристиками наплавленого металу.

Розрахункові опори зварних з'єднань встановлюються згідно з пунктом 7.5 ДБН В.2.6-198:2014 [6]. Розрахункові опори стикових швів, а також розрахункові опори металу межі сплавлення в кутових швах визначаються за формулами з таблиці 7.3 ДБН [6]. Характеристичні та розрахункові опори металу кутових швів, виконаних покритими електродами та порошковим дротом різних марок, наведені в таблиці Д.2 [6] залежно від класу міцності основного металу.

Діаметр електроду чи зварювального дроту, необхідний для вибору коефіцієнтів форми шва за таблицею 16.2 [6] у процесі розрахунку зварних з'єднань, встановлюється при виборі технологічних режимів зварювання залежно від товщини зварюваних деталей.

8. Рекомендації щодо вибору технологічних режимів зварювання

Технологічні режими зварювання повинні встановлюватися фахівцем з технології зварювання з урахуванням марки зварюваних матеріалів, типу та перерізів конструкції, виду з'єднання, просторового положення зварного шва, умов виконання зварювальних робіт та інших факторів. Режими ручного зварювання та напівавтоматичного зварювання самозахисним зварювальним дротом можна встановити за вказівками відомчих будівельних норм ВБН А.3.1-36-1-96 [1]. Режими зварювання в середовищі вуглекислого газу можна орієнтовно призначити за таблицями, наведеними в додатку А.

Режим ручного дугового зварювання визначається маркою та діаметром електрода, силою зварювального струму та кількістю проходів зварювання.

Режим напівавтоматичного дугового зварювання у вуглекислому газі включає: марку, діаметр і швидкість подачі зварювального дроту, силу зварювального струму, полярність і напругу дуги, склад і витрати захисного інертного газу, виліт і нахил електрода, кількість проходів зварювання. Режим напівавтоматичного дугового зварювання самозахисним зварювальним дротом включає ті ж параметри за винятком складу й витрат захисного газу.

Розглянемо основні закономірності, на яких базується вибір режиму напівавтоматичного зварювання.

Сила струму й полярність дуги визначають швидкість розплавлення електродного дроту та глибину проплавлення зварюваного металу. Сила зварювального струму встановлюється залежно від вибраного діаметру електродного дроту. Із збільшенням зварювального струму збільшується глибина проплавлення і підвищується продуктивність процесу зварювання.

При дуговому зварюванні у вуглекислому газі на постійному струмі зворотної полярності збільшується нагрів електрода, зменшується глибина проплавлення основного металу, збільшується частка електродного металу в зварному шві. При прямій полярності швидкість розплавлення металу зварюваних деталей в 1,4 – 1,6 разу більша, ніж при ручному зварюванні покритими електродами, але дуга горить менш стабільно й інтенсивніше розбризкується електродний метал. Напруга дуги є основним параметром режиму зварювання, а її величина автоматично встановлюється залежно від вибраної величини зварювального струму при заданій довжині дуги. Із збільшенням напруги дуги збільшується ширина шва та зменшується глибина проплавлення основного металу.

Швидкість подачі електродного дроту вибирається з таким розрахунком, щоб забезпечити стійке горіння дуги. Швидкість напівавтоматичного зварювання встановлюється зварювальником залежно від товщини зварюваного металу, площі поперечного перетину шва. Витрата вуглекислого газу

вибирається залежно від положення шва в просторі, руху навколишнього повітря і зазвичай складає 5-20 дм³/хв.

На стійкість процесу зварювання і якість зварного шва суттєво впливає також виліт електрода (відстань між його кінцем і виходом з мундштука). При збільшенні вильоту погіршується стійкість горіння дуги і формування шва, а також збільшується розбризкування електродного металу. При зварюванні з надто малим вильотом важко контролювати процес зварювання, а також часто підгорає контактний мундштук для підводу струму.

Основні технологічні параметри режиму електродугового зварювання рекомендується встановлювати в такому порядку:

1. За товщиною зварюваних деталей призначається діаметр електродів чи зварювального дроту:
 - електроду для ручного зварювання – за пунктом 7.7 [1];
 - суцільного дроту для зварювання в середовищі вуглекислого газу – за однією з таблиць, наведених у додатку В;
 - самозахисного порошкового дроту – за таблицею 11 [1].
2. Визначаються рекомендовані межі величини зварювального струму:
 - при ручному зварюванні – за пунктом 7.9 [1];
 - при зварюванні в середовищі вуглекислого газу дротом суцільного перерізу – за однією з таблиць, наведених у додатку В;
 - при зварюванні самозахисним порошковим дротом – за таблицею 11 [1].
3. Визначається кількість шарів (проходів) зварювання:
 - при ручному зварюванні – за пунктом 7.10 [1];
 - при зварюванні в середовищі вуглекислого газу дротом суцільного перерізу – за однією з таблиць, наведених у додатку В;
 - при зварюванні самозахисним порошковим дротом – за таблицею 11 [1].

Для автоматичного зварювання під флюсом, яке використовується на високотехнологічних заводах металевих конструкцій, необхідно також вибрати флюс і визначити швидкість руху зварювальної головки з урахуванням технічних характеристик конкретного зварювального обладнання.

Обрані режими зварювання не враховуються в розрахунках конструкцій, але істотно впливають на якість виконання зварних з'єднань. Виняток складає діаметр зварювального дроту при автоматичному та напіваавтоматичному зварюванні, від якого залежать коефіцієнти форми кутового шва згідно з таблицею 16.2 ДБН В.2.6-198:2014 [6].

Перед зварюванням та в процесі виконання зварювальних робіт попередньо обрані режими зварювання можуть корегуватися з урахуванням характеристик і якості зварювальних матеріалів, кліматичних умов та інших факторів.

9. Загальні правила розрахунку зварних з'єднань

Зварні з'єднання будівельних конструкцій розраховуються за вказівками ДБН В.2.6-198:2014 [6]. Посилання на необхідні для розрахунку пункти, формули й таблиці норм [6] даються в алгоритмах розв'язання задач, які детально викладені в бланку для виконання індивідуальних розрахункових завдань [11].

Перед розрахунком зварного з'єднання необхідно:

- ✓ встановити розрахункові характеристики міцності зварюваних деталей за нормами [6], керуючись рекомендаціями розділу 6;
- ✓ вибрати зварювальні матеріали та визначити розрахункові опори зварних швів за нормами [6], керуючись рекомендаціями розділу 7;
- ✓ вибрати діаметр зварювального дроту для автоматичного чи напівавтоматичного зварювання за рекомендаціями розділу 8;
- ✓ встановити просторове положення шва з урахуванням конструктивної форми виробу та умов зварювання.

При розрахунках зварних швів слід керуватися вимогами нормативних документів [1, 5, 6], рекомендаціями посібників [8, 9], викладеними в [11] алгоритмами розв'язання типових задач, а також користуватися довідковими даними з додатків до цих методичних вказівок. Особливу увагу потрібно звертати на узгодження розмірностей величин, що входять до розрахункових формул. Як правило, зусилля доцільно виражати в кілоньютонах, а розміри та геометричні характеристики поперечних перерізів у сантиметрах відповідного ступеню. У процесі виконання розрахунків металевих конструкцій та зварних з'єднань доцільно користуватися описаною в наступній таблиці системою одиниць вимірювання, які є похідними одиницями системи СІ.

Величини	Одиниці виміру	Позначення	Перетворення величин
Габаритні розміри конструкцій	метри	м	1 м = 100 см
Розміри і геометричні характеристики поперечних перерізів	сантиметри у відповідному ступені	см, см ² см ³ , см ⁴	1 см = 10 мм
Зосереджені навантаження, поздовжні та поперечні сили	кілоньютони	кН	1 кН = 1000 Н
Згинальні та інші моменти сил	в статичних розрахунках	кілоньютони і метри	1 кН·м = = 100 кН·см
	при перевірках перерізів	кілоньютони і сантиметри	
Характеристичні та розрахункові опори, напруження в конструкціях	кілоньютони і сантиметри	кН/см ²	1 кН/см ² = = 10 МПа

10. Вимоги до конструювання зварних з'єднань

Зварні з'єднання сталевих будівельних конструкцій повинні відповідати вимогам пунктів 16.1.1...16.1.5 ДБН В.2.6-198:2014 [6]. Окрім того, при конструюванні зварних з'єднань потрібно враховувати такі вимоги, встановлені на підставі досвіду проектування, виготовлення та експлуатації конструкцій:

- ✓ якщо різниця товщини елементів у стикових з'єднаннях перевищує значення, наведені в пункті 3.8. ВБН А.3.1-36-1-96 [1], на кромці елемента більшої товщини знімають фаску під кутом 15° (кут нахилу близько 1:4);
- ✓ при стикуванні елементів різної ширини краї ширшого елемента зрізують з ухилом 1:4;
- ✓ стикові шви і таврові з'єднання елементів товщиною до 8 мм можуть виконуватися без оброблення крайок; при більшій товщині слід передбачити оброблення крайок згідно з рекомендаціями додатка С ВБН А.3.1-36-1-96 [1];
- ✓ катети кутових зварних швів встановлюють розрахунком і округлюють у більшу сторону до стандартних розмірів: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16 мм;
- ✓ розрахункова довжина кутового шва повинна бути не меншою за $4 \times k_f$ (чотири катети шва) і не меншою за 50 мм;
- ✓ конструктивну довжину зварного шва збільшують, враховуючи непровари на його кінцях, рівні товщині стикового шва або катету кутового шва, після чого округлюють до 5 мм у сторону збільшення.

Додаткові вимоги до зварних з'єднань конструкцій, що працюють в особливих умовах, викладені в таких пунктах ДБН В.2.6-198:2014 [6]:

16.1.6 – конструкції, що сприймають рухомі, динамічні та вібраційні навантаження;

16.1.7 – конструкції, у яких наявні напруження розтягу в напрямку товщини прокату;

16.1.9 – конструкції з односторонніми кутовими швами;

16.1.10 – конструкції з переривчастими кутовими швами;

16.1.12 – конструкції з пробковими швами.

З'єднання арматури в залізобетонних конструкціях виконуються згідно з ГОСТ 14098-91 [2], у якому наведені типи з'єднань, розміри допоміжних деталей і зварних швів, що гарантують їх достатню несучу здатність. З'єднання арматури, виконані за ГОСТ 14098-91 [2], розрахунку не потребують.

Рекомендована література

1. ВБН А.3.1-36-1-96. Зварювання при монтажі сталевих будівельних конструкцій. (Відомчі будівельні норми України). Державна корпорація "Укрмонтажспецбуд", 1996. – 79 с.
2. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіон України, 2018. – 30 с.
3. ДБН В.2.6-198:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування. К.: Мінрегіон України, 2014. – 199 с.
4. ДСТУ 2251-93 (ГОСТ 8509-93) Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні. Сортамент. К.: Держстандарт України, 1993. – 17 с.
5. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М. Металеві конструкції: Підручник. – Львів: Світ, 2004. – 280 с.
6. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов /Ю.И. Кудишин Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева и др. – М.: Изд. центр "Академия", 2007. – 688 с.
7. Стеклов О.И. Основы сварочного производства. Изд. 2–е. – М.: Высшая школа, 1986 – 224 с.
8. Індивідуальні розрахункові роботи з навчальної дисципліни "Метали і зварювання в будівництві". Методичні вказівки та дидактичні матеріали до практичних занять і самостійної роботи здобувачів вищої освіти спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" усіх форм навчання. // Пашинський В.А., Тихий А.О. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. - 15 с. [Електронне видання].

Додаток А

РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ

Таблиця А.1 Режими зварювання маловуглецевих сталей зварювальним дротом суцільного перерізу в середовищі вуглекислого газу (узагальнені дані за [10])

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Виліт дроту, мм	Витрати газу, л/хвилину	Кількість проходів
1,2 – 2,0	0,8 – 1,0	70 – 120	18 – 21	7 – 15	10 – 12	1 – 2
3 – 5	1,4 – 2,0	180 – 320	22 – 30	7 – 15	14 – 16	1 – 2
6 – 8	2,0	280 – 380	28 – 35	12 – 17	16 – 18	1 – 2
8 – 12	2,5	280 – 450	27 – 35	15 – 17	18 – 20	2 – 3

Таблиця А.2 Режими напівавтоматичного дугового зварювання стикових швів без оброблення кромки дротом СВ-08Г2С у середовищі вуглекислого газу для нижнього положення шва

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Виліт дроту, мм	Витрати газу, л/хвилину	Кількість проходів
1	0,8	60 – 70	17	7 – 12	6 – 7	1
1,5	0,8	85 – 100	18 – 19	7 – 21	6 – 7	1
	1,0	100 – 110	18 – 19	8 – 15	6 – 7	1
	1,2	120 – 160	19 – 20	9 – 13	6 – 7	1
2,0	0,8	110 – 140	19 – 21	7 – 12	6 – 7	1
	1,0	130 – 150	20 – 21	8 – 13	6 – 8	1
	1,2	160 – 180	21	9 – 15	6 – 8	1
3-4	1,0	140 – 160	20 – 21	8 – 13	7 – 9	1
	1,2	150 – 170	20 – 21	9 – 15	7 – 9	2
	1,2	190 – 230	21	9 – 15	7 – 10	2
5-8	1,6	180 – 220	23 – 26	15 – 20	12 – 15	2
	2,0	200 – 240	24 – 28	15 – 20	12 – 15	2
	2,0	260 – 280	28 – 30	15 – 25	15 – 17	2
10	2,0	280 – 300	28 – 30	20 – 25	15 – 17	2
12	2,0	380 – 400	30 – 32	20 – 25	15 – 17	2
14	2,0	480 – 500	33 – 40	15 – 25	12 – 16	2

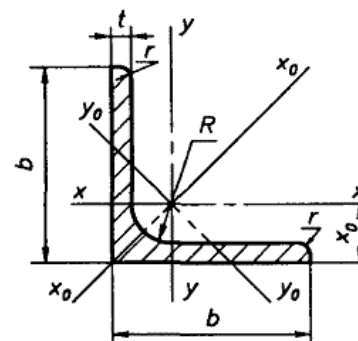
Додаток Б Довідкові таблиці

Таблиця Б.1 – Коефіцієнти стійкості для розрахунку центрально стиснутих стержнів за кривою стійкості типу С (за пунктом 8.1.3 ДБН В.2.6-198:2014)

$\bar{\lambda}$	0	0,02	0,04	0,06	0,08
0,3	1000	1000	1000	1000	1000
0,4	996	992	988	984	980
0,5	976	972	968	964	960
0,6	956	954	951	948	945
0,7	943	940	937	934	932
0,8	929	926	923	921	918
0,9	915	912	909	907	904
1,0	901	898	895	892	889
1,1	887	884	881	878	875
1,2	872	869	866	863	860
1,3	857	854	851	848	845
1,4	842	839	836	833	830
1,5	827	824	821	817	814
1,6	811	808	805	801	798
1,7	795	792	788	785	782
1,8	778	775	772	768	765
1,9	761	758	755	751	748
2,0	744	741	737	734	730
2,1	727	723	720	716	712
2,2	709	705	702	698	694
2,3	691	687	683	680	676
2,4	672	669	665	661	658
2,5	654	650	647	643	639
2,6	635	632	628	624	621
2,7	617	613	610	606	602
2,8	598	595	591	587	584
2,9	580	576	573	569	566
3,0	562	558	555	551	548
3,1	544	541	537	534	530
3,2	527	523	520	516	513
3,3	509	506	503	499	496
3,4	493	489	486	483	479
3,5	476	473	470	467	463
3,6	460	457	454	451	448
3,7	445	442	439	436	433
3,8	430	427	424	421	418
3,9	416	413	410	407	404
4,0	402	399	396	393	391
4,1	388	386	383	380	378
4,2	375	373	370	368	365
4,3	363	360	358	356	353
4,4	351	349	346	344	342
4,5	340	337	335	333	331
4,6	329	326	324	322	320

$\bar{\lambda}$	0	0,02	0,04	0,06	0,08
4,7	318	316	314	312	310
4,8	308	306	304	302	300
4,9	298	296	294	293	291
5,0	289	287	285	284	282
5,1	280	278	277	275	273
5,2	271	270	268	266	265
5,3	263	262	260	258	257
5,4	255	254	252	251	249
5,5	248	246	245	243	242
5,6	241	239	238	236	235
5,7	234	232	231	229	227
5,8	226	224	223	221	220
5,9	218	217	215	214	213
6,0	211	210	208	207	206
6,1	204	203	202	200	199
6,2	198	196	195	194	193
6,3	191	190	189	188	187
6,4	186	184	183	182	181
6,5	180	179	178	177	176
6,6	174	173	172	171	170
6,7	169	168	167	166	165
6,8	164	163	162	161	161
6,9	160	159	158	157	156
7,0	155	154	153	152	152
7,1	151	150	149	148	147
7,2	147	146	145	144	143
7,3	143	142	141	140	140
7,4	139	138	137	137	136
7,5	135	134	134	133	132
7,6	132	131	130	130	129
7,7	128	128	127	126	126
7,8	125	124	124	123	122
7,9	122	121	121	120	119
8,0	119	118	118	117	116
8,1	116	115	115	114	114
8,2	113	112	112	111	111
8,3	110	110	109	109	108
8,4	108	107	107	106	106
8,5	105	105	104	104	103
8,6	103	102	102	101	101
8,7	100	100	99	99	99
8,8	98	98	97	97	96
8,9	96	96	95	95	94
9,0	94	93	93	93	92

Таблиця Б.2 – Кутники гарячекатані
рівнополичні
за ГОСТ 8509-93

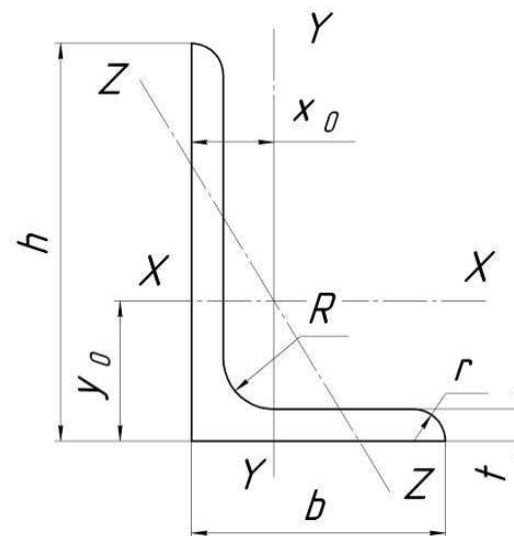


Номер кутника	b	t	R	r	A, см ²	Довідкові значення величин для осей										Маса 1 м, кг
						x - x			X ₀ - X ₀		y ₀ - y ₀			I _{xy} , см ⁴	x ₀ , см	
						I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0 max} , см ⁴	i _{x0 max}	I _{y0 min} , см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0 min}			
мм					I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	I _{x0 max} , см ⁴	i _{x0 max}	I _{y0 min} , см ⁴	W _{y0} , см ³	i _{y0 min}	I _{xy} , см ⁴	x ₀ , см		
5	50	3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	1,00	4,16	1,33	2,32
		4	5,5	1,8	3,89	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	5,42	1,38	3,05
		5	5,5	1,8	4,80	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	6,57	1,42	3,77
		6	5,5	1,8	5,69	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	7,65	1,46	4,47
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	7,69	1,52	3,44
		5	6,0	2,0	5,41	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,10	9,41	1,57	4,25
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	18,86	4,09	1,95	29,90	2,45	7,81	3,26	1,25	11,00	1,69	3,90
		5	7,0	2,3	6,13	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87	1,25	13,70	1,74	4,81
		6	7,0	2,3	7,28	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	15,90	1,78	5,72
7	70	5	8,0	2,7	6,86	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	18,70	1,90	5,38
		6	8,0	2,7	8,15	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	22,10	1,94	6,39
		7	8,0	2,7	9,42	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	25,20	1,99	7,39
		8	8,0	2,7	10,67	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,99	1,37	28,20	2,02	8,37
7,5	75	5	9,0	3,0	7,39	39,53	7,21	2,31	62,65	7,91	16,41	5,74	1,49	23,10	2,02	5,80
		6	9,0	3,0	8,78	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62	1,48	27,30	2,06	6,89
		7	9,0	3,0	10,15	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	31,20	2,10	7,96
		8	9,0	3,0	11,50	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16	1,47	35,00	2,15	9,02
		9	9,0	3,0	12,83	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	38,60	2,18	10,07
8	80	6	9,0	3,0	9,38	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60	1,58	33,40	2,19	7,36
		7	9,0	3,0	10,85	65,31	11,32	2,45	103,60	3,09	26,97	8,55	1,58	38,30	2,23	8,51
		8	9,0	3,0	12,30	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	43,00	2,27	9,65
9	90	6	10,0	3,3	10,61	82,10	12,49	2,78	130,00	3,50	33,97	9,88	1,79	48,10	2,43	8,33
		7	10,0	3,3	12,28	94,30	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	55,40	2,47	9,64
		8	10,0	3,3	13,93	106,11	16,36	2,76	168,42	3,48	43,80	12,34	1,77	62,30	2,51	10,93
		9	10,0	3,3	15,60	118,00	18,29	2,75	186,00	3,46	48,60	13,48	1,77	68,00	2,55	12,20

Номер кутника	b	t	R	r	A, см ²	Довідкові значення величин для осей										Маса 1 м, кг
						X - X			X ₀ - X ₀		Y ₀ - Y ₀			I _{xy} , см ⁴	X ₀ , см	
						I _X , см ⁴	W _X , см ³	i _X , см	I _{X0 max} , см ⁴	i _{X0 max} , см	I _{Y0 min} , см ⁴	W _{Y0} , см ³	i _{Y0 min} , см			
мм					I _X , см ⁴	W _X , см ³	i _X , см	I _{X0 max} , см ⁴	i _{X0 max} , см	I _{Y0 min} , см ⁴	W _{Y0} , см ³	i _{Y0 min} , см	I _{xy} , см ⁴	X ₀ , см		
10	100	7	12,0	4,0	13,75	130,59	17,90	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	76,40	2,71	10,79
		8	12,0	4,0	15,60	147,19	20,30	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	86,30	2,75	12,25
		10	12,0	4,0	19,24	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	110,00	2,83	15,10
		12	12,0	4,0	22,80	208,90	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,10	1,95	122,00	2,91	17,90
		14	12,0	4,0	26,28	237,15	33,83	3,00	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	138,00	2,99	20,63
		16	12,0	4,0	29,68	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	152,00	3,06	23,30
11	110	7	12,0	4,0	15,15	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,96	11,89
		8	12,0	4,0	17,20	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,00	13,50
12,5	125	8	14,0	4,6	19,69	294,36	32,20	3,87	466,76	4,87	121,98	25,67	2,49	172,00	3,36	15,46
		9	14,0	4,6	22,00	327,48	36,00	3,86	520,00	4,86	135,88	28,26	2,48	192,00	3,40	17,30
		10	14,0	4,6	24,33	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	211,00	3,45	19,10
		12	14,0	4,6	28,89	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	248,00	3,53	22,68
		14	14,0	4,6	33,37	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10	2,45	282,00	3,61	26,20
		16	14,0	4,6	37,77	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10	2,44	315,00	3,68	29,65
14	140	9	14,0	4,6	24,72	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	274,00	3,76	19,41
		10	14,0	4,6	27,33	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	301,00	3,82	21,45
		12	14,0	4,6	32,49	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	354,00	3,90	25,50
16	160	10	16,0	5,3	31,43	774,24	66,19	4,96	1229,10	6,25	319,33	52,52	3,19	455,00	4,30	24,67
		11	16,0	5,3	34,42	844,21	72,44	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	496,00	4,35	27,02
		12	16,0	5,3	37,39	912,89	78,62	4,94	1450,00	6,23	375,78	60,53	3,17	537,00	4,39	29,35
		14	16,0	5,3	43,57	1046,47	90,77	4,92	1662,13	6,20	430,81	68,15	3,16	615,00	4,47	34,20
		16	16,0	5,3	49,07	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	690,00	4,55	38,52
		18	16,0	5,3	54,79	1290,24	114,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	771,00	4,63	43,01
		20	16,0	5,3	60,40	1418,85	125,60	4,85	2248,26	6,10	589,43	90,02	3,12	830,00	4,70	47,41
18	180	11	16,0	5,3	38,80	1216,44	92,47	5,60	1933,10	7,06	499,78	72,86	3,59	716,00	4,85	30,47
		12	16,0	5,3	42,19	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	776,00	4,89	33,12
20	200	12	18,0	6,0	47,10	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,40	98,68	3,99	1073,00	5,37	36,97
		13	18,0	6,0	50,85	1960,77	134,44	6,21	3116,18	7,83	805,35	105,07	3,98	1156,00	5,42	39,92
		14	18,0	6,0	54,60	2097,00	144,17	6,20	3333,00	7,81	861,00	111,50	3,97	1236,00	5,46	42,80
		16	18,0	6,0	61,98	2362,57	163,37	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,77	3,96	1393,00	5,54	48,65
		20	18,0	6,0	76,54	2871,47	200,37	6,12	4860,42	7,72	1181,92	146,62	3,93	1689,00	5,70	60,08
		25	18,0	6,0	94,29	3466,21	245,59	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,68	3,91	2028,00	5,89	74,02
		30	18,0	6,0	111,54	4019,60	288,57	6,00	6351,05	7,55	1698,16	193,06	3,89	2332,00	6,07	87,56

**Таблиця Б.3 – Кутники гарячекатані нерівнополичні
за ГОСТ 8510-86***

(вибірка поширених профілів)

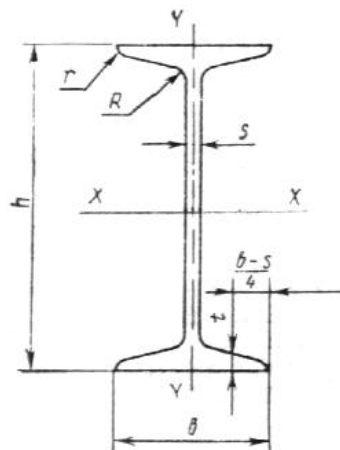


Номер кутника	Розміри в мм					A см ²	Довідкові значення величин для осей									x ₀ см	y ₀ см	Маса 1 м, кг
	h	b	t	R	r		X – X			Y – Y			V – V					
							I _x см ⁴	W _x см ³	i _x см	I _y см ⁴	W _y см ³	i _y см	I _z см ⁴	W _z см ³	i _z см			
L40x25x3	40	25	3,0	4,0	1,3	1,89	3,06	1,14	1,27	0,93	0,49	0,70	0,56	0,41	0,54	0,59	1,32	1,48
L40x25x4	40	25	4,0	4,0	1,3	2,47	3,93	1,49	1,26	1,18	0,63	0,69	0,71	0,52	0,54	0,63	1,37	1,94
L50x32x3	50	32	3,0	5,5	1,8	2,42	6,18	1,82	1,60	1,99	0,81	0,91	1,18	0,68	0,70	0,72	1,60	1,90
L50x32x4	50	32	4,0	5,5	1,8	3,17	7,98	2,38	1,59	2,56	1,05	0,90	1,52	0,88	0,69	0,76	1,65	2,40
L63x40x4	63	40	4,0	7,0	2,3	4,04	16,33	3,83	2,01	5,16	1,67	1,13	3,07	1,41	0,87	0,91	2,03	3,17
L63x40x5	63	40	5,0	7,0	2,3	4,98	19,91	4,72	2,00	6,26	2,05	1,12	3,73	1,72	0,86	0,95	2,08	3,91
L63x40x6	63	40	6,0	7,0	2,3	5,90	23,31	5,58	1,99	7,29	2,42	1,11	4,36	2,02	0,86	0,90	2,12	4,63
L63x40x8	63	40	8,0	7,0	2,3	7,68	29,60	7,22	1,96	9,15	3,12	1,09	5,58	2,60	0,85	1,07	2,20	6,03
L75x50x5	75	50	5,0	8,0	2,7	6,11	34,81	6,81	2,39	12,47	3,25	1,43	7,24	2,73	1,09	1,17	2,39	4,79
L75x50x6	75	50	6,0	8,0	2,7	7,25	40,92	8,08	2,38	14,60	3,85	1,42	8,48	3,21	1,08	1,21	2,44	5,69
L75x50x7	75	50	7,0	8,0	2,7	8,37	46,77	9,31	2,36	16,61	4,43	1,41	9,69	3,69	1,08	1,25	2,48	6,57
L75x50x8	75	50	8,0	8,0	2,7	9,47	52,38	10,52	2,35	18,52	4,88	1,40	10,87	4,14	1,07	1,29	2,52	7,43
L80x50x5	80	50	5,0	8,0	2,7	6,36	41,64	7,71	2,56	12,68	3,28	1,41	7,57	2,75	1,00	1,13	2,60	4,49
L80x50x6	80	50	6,0	8,0	2,7	7,55	48,98	9,15	2,55	14,85	3,88	1,40	8,88	3,24	1,08	1,17	2,65	5,92

Номер кутника	Розміри в мм					А см ²	Довідкові значення величин для осей									X _o см	Y _o см	Маса 1 м, кг
	h	b	t	R	r		X – X			Y – Y			V – V					
							I _x см ⁴	W _x см ³	i _x см	I _y см ⁴	W _y см ³	i _y см	I _z см ⁴	W _z см ³	i _z см			
L90x56x5	90	56	5,5	9,0	3,0	7,86	65,28	10,74	2,88	19,67	4,53	1,58	11,77	3,81	1,22	1,26	2,92	6,17
L90x56x6	90	56	6,0	9,0	3,0	8,54	70,58	11,66	2,88	21,22	4,91	1,58	12,70	4,12	1,22	1,28	2,95	6,70
L90x56x8	90	56	8,0	9,0	3,0	11,18	90,87	15,24	2,85	27,08	6,39	1,56	16,29	5,32	1,21	1,36	3,04	8,77
L100x63x6	100	63	6,0	10,0	3,3	9,58	98,29	14,52	3,20	30,58	6,27	1,79	18,20	5,27	1,38	1,42	3,23	7,53
L100x63x7	100	63	7,0	10,0	3,3	11,09	112,9	16,78	3,19	34,99	7,23	1,78	20,83	6,06	1,37	1,46	3,28	8,70
L100x63x8	100	63	8,0	10,0	3,3	12,57	127,0	19,01	3,18	39,21	8,17	1,77	23,38	6,82	1,36	1,50	3,32	9,87
L100x63x10	100	63	10,0	10,0	3,3	15,47	154,0	23,32	3,15	47,18	9,99	1,75	28,34	8,31	1,35	1,58	3,40	12,14
L110x70x6	110	70	6,5	10,0	3,3	11,45	142,4	19,11	3,53	45,61	8,42	2,00	26,94	7,05	1,53	1,58	3,55	8,98
L110x70x8	110	70	8,0	10,0	3,3	13,93	171,5	23,22	3,51	54,64	10,20	1,98	32,31	8,50	1,52	1,64	3,61	10,93
L125x80x7	125	80	7,0	11,0	3,7	14,06	226,5	26,67	4,01	73,73	11,89	2,29	43,40	9,96	1,76	1,80	4,01	11,04
L125x80x8	125	80	8,0	11,0	3,7	15,98	225,6	30,26	4,00	80,95	13,47	2,28	48,82	11,25	1,75	1,84	4,05	12,58
L125x80x10	125	80	10,0	11,0	3,7	19,70	311,6	37,27	3,98	100,5	16,52	2,26	59,33	13,74	1,74	1,92	4,14	15,47
L125x80x12	125	80	12,0	11,0	3,7	23,36	364,8	44,07	3,95	116,8	19,46	2,24	69,47	16,11	1,72	2,00	4,22	18,34
L140x90x8	140	90	8,0	12,0	4,0	18,00	363,7	38,25	4,49	119,8	17,19	2,58	70,27	14,39	1,58	2,03	4,49	14,13
L140x90x10	140	90	10,0	12,0	4,0	22,24	444,5	47,19	4,47	145,5	21,14	2,58	85,51	17,58	1,96	2,12	4,58	17,46
L160x100x9	160	100	9,0	13,0	4,3	22,87	606,0	56,04	5,15	186,0	23,96	2,85	110,4	20,01	2,20	2,24	5,19	17,96
L160x100x10	160	100	10,0	13,0	4,3	25,28	666,6	61,91	5,13	204,1	26,42	2,84	121,2	22,02	2,19	2,28	5,23	19,85
L160x100x12	160	100	12,0	13,0	4,3	30,04	784,2	73,42	5,11	238,8	31,23	2,82	142,1	25,93	2,18	2,36	5,32	23,58
L160x100x14	160	100	14,0	13,0	4,3	34,72	897,2	84,65	5,08	271,6	35,89	2,80	162,5	29,75	2,16	2,43	5,40	27,26
L180x110x10	180	110	10,0	14,0	4,7	28,33	952,3	78,59	5,80	276,4	32,27	3,12	165,4	29,96	2,42	2,44	5,88	22,20
L180x110x12	180	110	12,0	14,0	4,7	33,69	1122,6	93,33	5,77	324,1	38,20	3,10	194,3	31,83	2,40	2,52	5,97	26,40
L200x125x11	200	125	11,0	14,0	4,7	34,87	1449,0	107,3	6,45	446,4	45,98	3,58	263,8	38,27	2,75	2,79	6,50	27,37
L200x125x12	200	125	12,0	14,0	4,7	37,89	1568,2	116,5	6,43	481,9	49,85	3,57	285,0	41,45	2,74	2,83	6,54	29,74
L200x125x14	200	125	14,0	14,0	4,7	43,87	1800,8	134,6	6,41	550,8	57,43	3,54	326,5	47,57	2,73	2,91	6,62	34,43
L200x125x16	200	125	16,0	14,0	4,7	49,77	2026,1	152,4	6,38	616,7	64,83	3,52	367,0	53,56	2,72	2,99	6,71	39,07

**Таблица Б.4 – Двотаври сталеві гарячекатані
за ГОСТ 8239-89 (СТ СЭВ 2209-80)
(з ухилом полицок)**

Двотаври номерів від 24 до 60 не рекомендується
використовувати в нових розробках.



Позначення:
h — висота двотавра;
b — ширина полицки;
s — товщина стінки;
t — середня товщина полицки;
R — радіус внутрішнього заокруглення;
r — радіус заокруглення полицки

Номер двотавра	Розміри в мм						А, см ²	Маса 1 м, кг	Довідкові значення для осей						
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>			X – X				Y – Y		
									<i>I_x</i> , см ⁴	<i>W_x</i> , см ³	<i>i_x</i> , см	<i>S_x</i> , см ³	<i>I_y</i> , см ⁴	<i>W_y</i> , см ³	<i>i_y</i> , см
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54

Навчально-методичне видання

МЕТАЛИ І ЗВАРЮВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

Методичні рекомендації з вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія
усіх форм навчання

Укладачі: В.А. Пашинський, А.А. Тихий

Електронне видання