

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет митної справи, матеріалів, технологій та гостинності
Кафедра матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

Структура та властивості зварних з'єднань сталі 18Г2С,
отриманих в умовах електроконтактного
зварювання / Structure and properties of joints of 18Г2С
steel obtained under electric contact welding conditions

спеціальності 132 "Матеріалознавство"

освітня програма "Матеріалознавство"

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПМ-41
Свиридюк Данило Володимирович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Гусачук Дмитро Анатолійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
к.т.н., професор
Гарант освітньої програми:
Кашицький Віталій Павлович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Матеріалознавство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ ІМБІРОВИЧ Н.Ю.

“ 03 ” _____ 01 _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Свиридюку Данилу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Структура та властивості зварних з'єднань сталі 18Г2С,
отриманих в умовах електроконтактного
зварювання

керівник роботи Гусачук Дмитро Анатолійович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “31” 12 2025 року № 02 540/01-

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи
« 19 » травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи звіт з переддипломної практики, зразки матеріалу
(сталі 18Г2С), зварні з'єднання, описи технологій, технічні умови,
стандарты

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) вступ; огляд технічної літератури;
опис методики досліджень та випробувань; дослідження структури та
властивостей зварних з'єднань сталі 18Г2С; охорона праці;
висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 слайд – характеристика арматурних сталей; 2 слайд – зразки зварних
з'єднань сталі 18Г2С; 3 слайд – методи підготовки зразків до досліджень;
4 слайд – оцінка якості та макроструктури зварних з'єднань; 5 слайд –
мікроструктури зварних з'єднань; 6, 7 слайди – властивості зварних
з'єднань сталі 18Г2С; 8 слайд – висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтроль</i>	<i>доцент кафедри матеріалознавства к.т.н. Мисковець С.В.</i>		

7. Дата видачі завдання «03» 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	<i>Вступ. Аналіз літературних джерел.</i>	<i>05.05.2026</i>	
2.	<i>Планування та виконання експерименту.</i>	<i>12.05.2026</i>	
3.	<i>Опис та аналіз результатів експерименту, розробка рекомендацій та висновків</i>	<i>19.05.2026</i>	

Здобувач вищої освіти _____ Свиридюк Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Гусачук Д. А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Свиридюк Д.В. Структура та властивості зварних з'єднань сталі 18Г2С, отриманих в умовах електроконтактного зварювання. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП "Матеріалознавство" спеціальності 132 "Матеріалознавство". Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку.

У роботі висвітлено: аналіз застосування електроконтактного зварювання низьковуглецевих легованих сталей у будівництві, методику досліджень, структуру та властивості сталі 18Г2С, вплив електроконтактного зварювання на структуру та твердість сталі в зоні зварного з'єднання, практичні рекомендації щодо оптимізації процесу зварювання в умовах будівельних робіт. Текстова частина містить 51 сторінку тексту, 21 рисунок, 8 таблиць, 14 літературних джерел та посилань, 1 додаток у вигляді презентації результатів досліджень. Презентація представлена на 8 слайдах.

В кваліфікаційній роботі досліджено вплив параметрів стикового електроконтактного зварювання на структуру та твердість сталі 18Г2С, на основі чого підібрані оптимальні параметри процесу зварювання для отримання міцного з'єднання арматурних конструкцій у будівництві, розроблено практичні рекомендації щодо використання контактного зварювання сталі 18Г2С.

Ключові слова: сталь, контактне стикове зварювання, електричний струм, структура, твердість, якість зварювання, міцність, технологічний процес.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Свиридюк			Структура та властивості зварних з'єднань сталі 18Г2С, отриманих в умовах електроконтактного зварювання / Structure and properties of joints of 18Г2С steel obtained under electric contact welding conditions	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Гусачук					3	51
Реценз.						ЛНТУ, каф. матеріалознавства, гр. ПМ-41		
Н. Контр.		Мисковець						
Затверд.		Імбирович						

ANNOTATION

Svyrydiuk D. Structure and properties of joints of 18Г2С steel obtained under electric contact welding conditions. Manuscript.

Qualifying work of a bachelor of the Educational Program "Material Science" in the specialty 132 "Material Science". Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The qualification work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of used sources and appendices.

The sections of the work cover: analysis of the use of electric contact welding of low-carbon, medium-alloyed steels in construction, research methodology, structure and properties of 18Г2С steel, the effect of contact welding on the structure and hardness of steel, practical recommendations for optimizing the welding process in the conditions of construction work. The text part contains 51 pages of text, 21 figures, 8 tables, 14 literary sources and references, 1 appendix through presentation of research results. The presentation is presented on 8 slides.

In the qualification work, the influence of the parameters of butt electric contact welding on the structure of 18Г2С steel was investigated, based on which the optimal parameters of the welding process were selected to obtain a strong connection of reinforcing structures in construction, practical recommendations for the use of contact welding of 18Г2С steel were developed.

Key words: steel, contact butt welding, electric current, structure, hardness, welding quality, strength, technological process.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вум.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ	8
1.1. Застосування контактного зварювання у будівництві	8
1.2. Характеристика арматурної сталі 18Г2С.....	10
1.3. Параметри та режими електроконтактного зварювання.....	13
1.4. Особливості формування та якість стикових електроконтактних з'єднань арматури	17
1.5. Особливості структури електроконтактних з'єднань	19
1.6. Висновки та постановка мети роботи	21
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИПРОБУВАНЬ	23
2.1. Підготовка зразків для досліджень	23
2.2. Опис зразків для дослідження структури	24
2.3. Методика дослідження структури зразків.....	28
2.4. Методика вимірювання твердості	29
2.5. Методика механічних випробувань	30
РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ	34
3.1. Оцінка якості зварних з'єднань арматури.....	34
3.2. Макроструктура зварних з'єднань	35
3.3. Результати досліджень мікроструктура зварних з'єднань	36
3.4. Розподіл твердості зварних швів прутків сталі 18Г2С.....	39
3.5. Визначення міцності прутків арматури та зварного з'єднання	41
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	45
4.1. небезпечні фактори в лабораторіях	45
4.2. Рекомендації щодо аерації лабораторних приміщень.....	46
4.3. Заходи з техніки безпеки під час роботи в лабораторіях.....	47
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Сьогодні залізобетонні конструкції, які є надзвичайно міцними та довговічними, широко застосовуються в будівництві як для промислових, так і для житлових будівель. Використання будівельної арматури, виготовленої з легованої сталі підвищеної міцності, є основною вимогою для металопрокату, який має бути високої міцності. Будівельна арматура повинна складатися з стрижнів, сітки або канатів, які виготовлені з металу та інших матеріалів, щоб зміцнити конструкцію, запобігти руйнуванню та підвищити її здатність переносити навантаження.

Сучасна будівельна галузь дозволяє виготовляти залізобетонні конструкції з високими характеристиками міцності. Використання будівельної арматури, виготовленої з легованої сталі підвищеної міцності, є основною вимогою для металопрокату, який має підвищену міцність і надійність.

Для армування бетонних конструкцій використовується низьковуглецева конструкційна сталь марки 18Г2С. Вміст мангану в цій сталі більше 1,2 % і вміст силіцію до 1,0 % покращують технологічні властивості зварювання різними методами. Ця сталь стійка до вологи та компонентів бетонних сумішей і в таких умовах має достатню довговічність. Таким чином, сталь 18Г2С зазвичай використовується для будівництва у вигляді гладкого гарячекатаного прокату або арматурного прокату. Завдяки високій зварюваності цієї сталі арматурні каркаси виробляються дуговим і контактним способами зварювання. Використання контактного зварювання, як стикового, так і точкового, підвищує продуктивність створення армованих бетонних конструкцій, а також знижує витрати на роботу та вплив людського фактору на якість зварених з'єднань порівняно з ручним дуговим зварюванням.

Одним із видів контактного зварювання є стикове зварювання. Під час цього типу зварювання велика кількість електричного струму та посилене притискання стиків арматури з'єднують деталі по торцевій поверхні під час нагрівання до температури плавлення.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Величина електричного струму, зусилля стискання торців деталей і час проходження електричного струму впливають на якість зварених електроконтактним зварюванням з'єднань. Це також залежить від умов використання, зварювального обладнання та матеріалу деталей. Отже, важливо провести дослідження того, як основні параметри зварювання впливають на якість зварного з'єднання для конкретного матеріалу, який було обрано в завданні роботи.

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було використано інструменти штучного інтелекту для редагування та форматування тексту (Gemini), а також генерації контенту (графіки, таблиці, списку використаних джерел) виключно як допоміжний засіб для пошуку ідей, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі, а отримані результати від генеративного ШІ були перевірені на достовірність та відповідність академічній доброчесності.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1. Застосування контактного зварювання у будівництві

Залізобетон зараз є основним матеріалом для будівництва будівель різного призначення [1]. Фізико-механічні характеристики, довговічність і надійність залізобетонних конструкцій є високими. Армований бетон використовується для виготовлення фундаментів, стін, тунельних каркасів і каркаси житлових і промислових будівель. Залізобетонні конструкції поділяють на збірні, монолітні та збірно-монолітні залежно від способу виконання робіт. Будівництво зі збірних конструкцій не потребує більших витрат, ніж будівництво із залізобетону, який є достатньо економічним.

У залізобетонних конструкціях арматуру розташовують у розтягнутій зоні, щоб оцінити напруження розтягу. Конструкція має високу міцність на стискання, розтяг і вигин завдяки сумісності бетону та сталевій арматури. Арматура може бути використана в деяких ситуаціях для зміцнення бетону проти зусиль на стиснення та для сприйняття усадочних, температурних, транспортних та інших постійних і тимчасових навантажень.

Арматура поділяється на напружену та ненапружену залежно від того, як вона працює. Неробочою арматуру використовують як у звичайних залізобетонних конструкціях, так і в попередньо напружених конструкціях. Напружену арматуру найкраще виготовляти з сталі, яка має високу міцність і може сприймати значні зусилля розтягу.

Арматура з бетону поділяється за призначенням на робочу, яка сприймає основні розтяжні зусилля під час експлуатації конструкції, розподільну, яка використовується для розподілу зусиль між робочою арматурою, закріплення стержнів у каркасі та забезпечення їхньої спільної роботи, а також для сприйняття поперечних зусиль і запобігання хомутам у бетоні.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Під час зведення та ремонту різних залізобетонних конструкцій використовується дугове зварювання бетонної арматури різними способами. Електродугове зварювання, ручне та напівавтоматичне електродугове зварювання та інші стали дуже поширеними. Слід зазначити, що електроконтактне зварювання за різними режимами та способами з'єднання арматури зараз широко використовується на заводах, виробничих групах збірного залізобетону та локальних будівельних майданчиках, крім вищевказаних способів (рисунок 1.1). Це зараз є одним із найпоширеніших методів виготовлення стикових з'єднань бетонної арматури в цехових умовах [2, 3].



Рисунок 1.1 – З'єднання арматури контактним зварюванням

Стикове зварювання оплавленням дозволяє значно підвищити надійність і термін служби залізобетонних конструкцій, а також забезпечує високу продуктивність. Цей метод зварювання має високу стабільність якості зварних з'єднань, які майже рівні по міцності основному металу. Зварювання виконується автоматично, поєднуючи монтажні та зварювальні операції в одному циклі, не застосовуючи допоміжних витратних матеріалів (гази,

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

електроди, флюси тощо). Крім того, для зварювальника не вимагається спеціальної кваліфікації.

Слід відзначити, що наразі створюються спеціальні технології та обладнання, які дають змогу застосовувати цей спосіб зварювання в польових і напівстаціонарних умовах [6]. Крім того, цей метод має деякі обмеження щодо існуючих процедур контролю якості [5]. Таким чином, розвиток технологій для неруйнівного моніторингу в режимі реального часу є проблемою.

Зазвичай, стрижні з бетонної арматури товщиною до 25 мм з'єднуються безперервним оплавленням електричним стиковим зварюванням; стрижні більшого діаметра зварюються електроконтактним оплавленням з попереднім опорним підігрівом. Останній відрізняється значним рівнем нестабільності параметрів зварювання. Стикове зварювання імпульсним оплавленням має переваги перед попередніми методами і дозволяє з'єднувати широкий спектр арматури.

1.2. Характеристика арматурної сталі 18Г2С

Залізобетонні конструкції повинні мати арматуру, щоб збільшити термін служби конструкції. Це включає в себе міцність, здатність переносити навантаження під час розтягування та здатність добре виконувати зварювальні операції. Для виробництва арматури таких якостей використовують сталі з низьким вмістом вугілля та застосовують легування елементами. Легування підвищує в'язкість, корозійну стійкість і зварюваність сталі.

Звичайні марки сталей, такі як Ст3 і Ст2, є найдешевшими марками арматури для бетону. Вони недорогі та мають достатню міцність. Крім того, використовують марки сталей, спеціально розроблені для цього.

Арматурна сталь А-I (А240), А-V (А800), А-II (А300), А-IV (А600), А-III (А400) та А-VI (А1000) [2] використовується для створення каркасних конструкцій із залізобетону та армування бетону на будівельних майданчиках.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Матеріал, який має більшу кількість римських цифр, є більш міцним. Лігуючі речовини та зменшення вуглецю та інших шкідливих домішок додають міцність. Арматура рифлена або кругла. Те й інше виробляється за допомогою гарячого прокату. Кожен має свої переваги: круглий має більшу міцність, а рифлений краще зчіплюється з розчином. Кругла краще підходить для місць із сильним розтягненням. Вона також монтується у виріб великого розміру, оскільки її структура робить виріб надзвичайно міцним. Виготовляється кругла арматура діаметром до 32 мм. Ріфлена може бути більших розмірів.

Арматурна сталь класу А-ІІІ (А400) є найпоширенішим класом у сучасних будинках і підприємствах [1]. Для її виготовлення використовують такі марки сталей, як 10 ГС, 18 Г2С, 20 ГС, 20 ХГ2Ц, 25 Г2С, 23 Г2Т, 27 ГС і 35 ГС. Ці сталі дуже міцні, добре оброблювані та зварювані. Ці сталі використовують для виготовлення арматури [5]. Щоб підвищити антикорозійні властивості цих сталей, до них додають такі елементи як мідь, хром і нікель у кількостях до 0,3 % (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Сталі для армування бетону за класом прокату А400 (ДСТУ 9130:2021)

Марка сталі	Хімічний склад, %							
	С	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
18Г2С	0,14...0,23	1,20...1,60	0,60...0,90	<0,045	<0,040	<0,30	<0,30	<0,30
25Г2С	0,20...0,29	1,20...1,60	0,60...0,90	<0,045	<0,040	<0,30	<0,30	<0,30
27ГС	0,24...0,30	0,90...1,30	0,90...1,20	<0,045	<0,040	<0,30	<0,30	<0,30
35ГС	0,30...0,37	0,80...1,20	0,60...0,90	<0,045	<0,045	—	<0,30	<0,30

Окрім вмісту вуглецю, сталі для арматури також містять легувальні елементи та домішки. Усі ці показники повинні відповідати встановленим стандартам. У таблиці наведено список найпопулярніших із них. Вказані максимально допустимі концентрації сірки та фосфору. Немає жодних обмежень щодо міді та нікелю. Мідь і нікель дорогі, тому їх утримують на 0,3%, щоб виробництво не дорожчало. Нікель також може утворювати міцні

					БР 1426.00.00.000 ПЗ				Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					11

плівки на поверхні металу, що погіршує зварюваність, але не значно покращує твердість.

Мета внесення легуючих добавок полягає в тому, щоб покращити якість з'єднань арматури під час зварювання та зменшити її розширення в результаті теплового впливу. Коли частини арматури зварюються один з одним, найбільше проблем і виникає. Це залежить від того, наскільки високу температуру там зазнає метал. Наскільки міцне це з'єднання, залежить від надійності всієї конструкції.

У таблиці 1.2 показано, що в гарячекатаному стані механічні характеристики арматурних сталей третього класу змінюються незначно. Розкид цих параметрів значно більший для сталей звичайної якості, що визначає їх використання в арматурному прокаті першого та другого класів. Таблиця 1.2 – Механічні параметри сталей для арматури А400 у гарячекатаному стані (ДСТУ 9130:2021)

Марка сталі	Характеристика			
	σ_b , МПа	σ_m , МПа	δ , %	НВ, МПа
18Г2С	≥ 490	≥ 295	19	1700...2100
25Г2С	≥ 590	≥ 390	15	1900...2200
27ГС	≥ 600	≥ 400	12	2200...2500
35ГС	≥ 660	≥ 550	8	2100...2400

Згідно зі стандартом на арматуру для армування залізобетонних конструкцій, сталь 18Г2С найбільш широко застовується при виготовленні арматурного прокату класу А400 [5]. Крім того, цю сталь використовують для виготовлення зварних конструктивних елементів і деталей різного призначення, таких як сільськогосподарська техніка, трактори та автомобілі, енергетичне обладнання та промислове обладнання. Більшість деталей і виробів зі сталі 18Г2С виготовляють шляхом гарячого прокатування, гарячої пластичної деформації або обробки тиском, а також механічною обробкою.

Після термічної обробки, яка зазвичай включає гартування при 850...900 °С і відпускання при 400 °С, машинобудівні вироби зі сталі 18Г2С набувають міцності за розтягу $\sigma_{\epsilon}=910$ МПа з межею текучості $\sigma_m=830$ МПа.

1.3. Параметри та режими електроконтактного зварювання

Електроконтактне зварювання – це тип термомеханічного електродеформаційного зварювання. Більшість даних, стандартів і літератури стверджують, що цей метод зварювання є надзвичайно ефективним способом з'єднання металевих поверхонь виробів [6]. Оскільки в технологічному процесі бере участь зварювальний апарат із елементами та знаряддями, які автоматизують процес, цей метод міцного зчеплення двох виробів часто відносять до автоматизованого. Електроконтактне зварювання базується на тепловій дії електричного струму, тобто на законі Джоуля-Ленца, а саме: кількість теплоти Q (у кал.), що виділяється під час проходження електричного струму силою I (А) через опір контакту R_k (Ом), за час t , у сек,

$$Q=0,24I^2R_k t.$$

Найбільше тепло виділяється в місці контакту двох металевих заготовок, що спричиняє локальне плавлення й формування так званої зони зварювання, або ядра [6, 7]. Якість з'єднання, отриманого контактним зварюванням, переважно залежить від форми, розмірів і розташування осередку (зони зварювання) у місці стику.

Контактне стикове зварювання – це метод з'єднання різноманітних металевих виробів шляхом глибокої деформації їхніх поверхонь без прямого плавлення металу (рисунок 1.2). Останнім часом цей вид електромеханічного зварювання широко застосовується як у будівництві великих конструкцій, зокрема цивільних і промислових будівель, масивних гідротехнічних споруд, труб, а також у космічній та авіаційній техніці, так і для з'єднання мініатюрних деталей, таких як мікросхеми, напівпровідники, низьковуглецеві сталі і сплави на основі титану, алюмінію, магнію тощо [6].

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

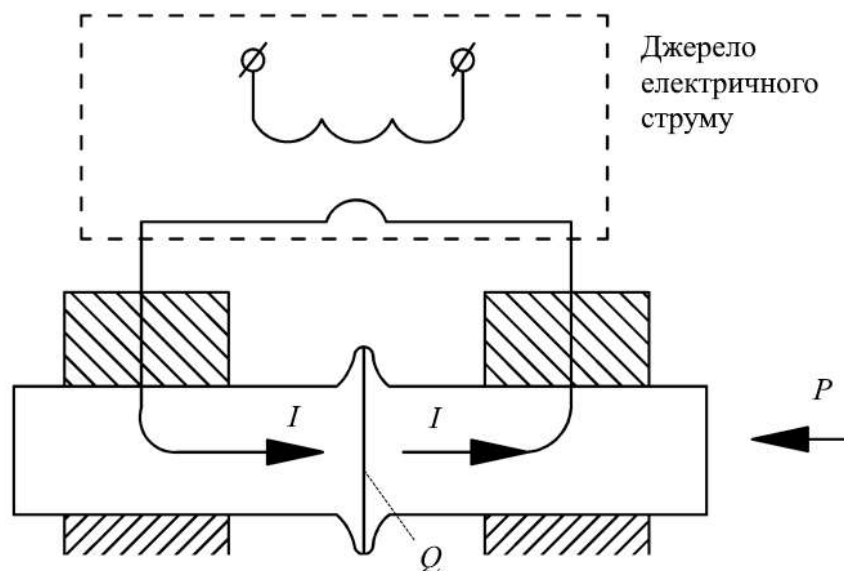


Рисунок 1.2 – Схема виконання контактного стикового зварювання

У виробництві несучих каркасів із залізобетону останнім часом широко використовується контактне електричне зварювання металів для з'єднання деталей [2, 3]. "Електроконтактне зварювання – це спосіб з'єднання металевих деталей, при якому деталі нагріваються шляхом проходження через них електричного струму з одночасним прикладенням механічного зусилля стискання деталей". Спеціалізовані електроди використовуються для підключення електричного струму та прикладання механічного навантаження стискання до місця, де деталі або заготовки з'єднуються.

За своєю суттю стикове зварювання металів є різновидом контактного електрозварювання, тому технологічні процеси та будова обладнання для обох видів є дуже подібними і відрізняються лише окремими технічними нюансами. Зручність виконання процесів отримання з'єднань методом контактного стикового зварювання зумовила його широке застосування у спорудженні армокаркасів бетонних конструкцій.

Технологічно стикове контактне зварювання виконується у певній послідовності. Спочатку деталі, що підлягають з'єднанню, закріплюють у спеціальних затискачах, які одночасно виконують функцію електродів. Конструкція зварювального обладнання передбачає, що площа контакту в цих

затискачах має бути значно більшою, ніж площа торців, що зварюються. Тому затискачі зазвичай максимально відповідають формі поверхні деталей, наприклад можуть бути круглими або плоскими. Далі рухомий затискач за допомогою електромеханічного приводу з великим зусиллям притискає край однієї деталі до стику іншої, закріпленої в нерухомому затискачі. Після надійного притискання вмикають зварювальний трансформатор на кілька секунд, щоб через електроди та деталі пройшов струм великої сили, який виділяє найбільшу кількість тепла в місці найменшого контакту, тобто на стику деталей.

Згідно з технологією розрізняють два основних способи контактного стикового електрозварювання: зварювання опором і зварювання оплавленням [8].

Для утворення щільного зіткнення зварених торців деталі стискаються спочатку осьовим зусиллям під час зварювання опором. Після цього подається електричний струм, як показано на рисунку 1.3, і поверхні, що стикаються, нагріваються до пластичного стану. Далі заготовки стискаються з наростаючим зусиллям, що призводить до сплавляння металу заготовок. До закінчення стискання зварюваних заготовок струм відключають.

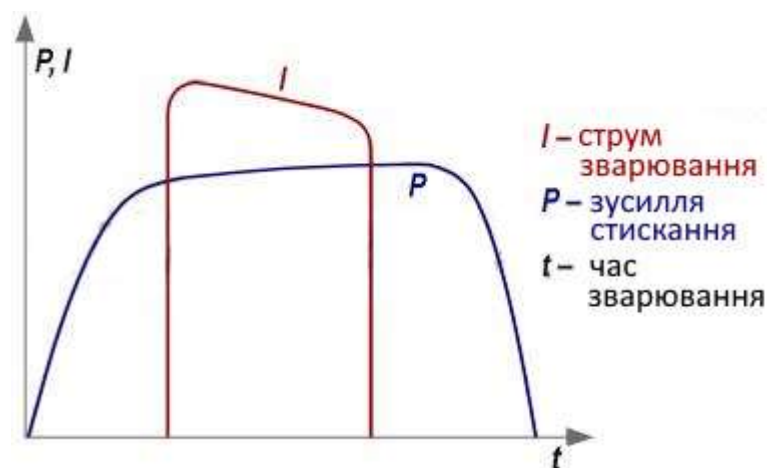


Рисунок 1.3 – Циклограма стикового зварювання опором

Деталі круглого або прямокутного перерізу площею, зазвичай до 200 мм², з'єднуються за допомогою зварювання опором. Для того, щоб торці

рівномірно нагрівалися, вони повинні бути точно підігнані та попередньо очищені хімічним або механічним способом.

Деталі постійно зближуються під час стикового оплавлення при включеному джерелі струму (рисунок 1.3). Окремі виступи стикаються з торцями арматури. Через невелику площу контактів-перемичок вони швидко нагріваються та розплавляються через високу щільність струму, що протікає через них. Частина металу вибухає і вилітає зі стику у формі іскор. Розплав, що викидається, також містить забруднення з поверхні заготовок. Утворення та оплавлення нових контактів-перемичок відбувається в результаті подальшого зближення деталей. У результаті цього постійного процесу на торцях утворюється шар рідкого металу. Осад відбувається після того, як торці оплавляться по всій поверхні. Торці зусиллям зближуються швидко. У цьому процесі рідкий метал, покритий оксидними плівками, видаляється зі стику.

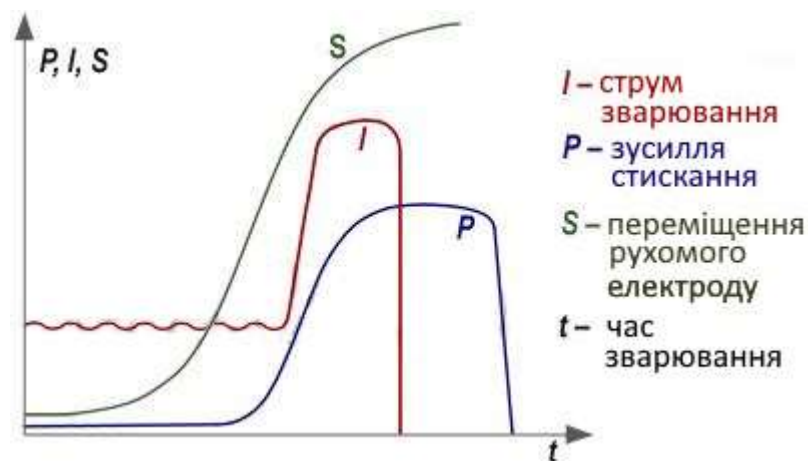


Рисунок 1.3 – Циклограма стикового зварювання оплавленням

Для зменшення вартості металу можна використовувати попередній підігрів, зближуючи деталі за допомогою кількох імпульсів струму. Після цього заготовки стискають, а потім їх оплавлюють і осаджують. За допомогою зварювання оплавленням можна з'єднувати матеріали з перетином складної форми площею до 100000 мм². На відміну від зварювання, опором не потрібно ретельно підготувати торці заготовок. Цей метод використовується для виготовлення різноманітних довгострокових виробів, таких як трубопроводи,

рейки та арматура з залізобетону, деталей замкнутої форми, таких як ланцюги та коліс автомобілів, а також складних деталей із простих заготовок.

1.4. Особливості формування та якість стикових електроконтактних з'єднань арматури

У процесі стикового зварювання спільна пластична деформація торців деталей стискається електричним струмом, що призводить до утворення з'єднання як оплавленням, так і опором. Багато в чому фізичні процеси, що відбуваються під час утворення з'єднання, схожі на процеси точкового зварювання. Але є і характеристики, які регулюють процеси утворення металічних зв'язків.

Схема стикового зварювання опором і оплавленням складається з двох етапів: нагрівання торців деталей; стискання та осадження металу.

На першому етапі стикового зварювання опором, що показано на рисунку 1.4 а, відбувається те саме, що й при точковому зварюванні до моменту, коли метал у контакті між деталями розплавляється. Це включає попереднє стиснення з зусиллям P (початкове зусилля), нагрівання контактної осередку під час протікання зварювального струму, стискання та пластичні деформації, деформацію приконтатної області та зниження опору контакту між деталями;

Нагрівання приконтатної області під час стикового зварювання оплавленням (рисунок 1.4 б) відбувається завдяки розплавленню та руйнуванню локальних перемичок, які утворюються при певній швидкості змикання контактних поверхонь деталей (дотику мікронерівностей в зазорі Δz , між деталями), що призводить до утворення на торцях металу завтовшки δ .

Осадка (різке збільшення зусилля стиснення P з'єднаних поверхонь) є причиною значної деформації нагрітих поверхонь під час другого етапу зварювання опором і оплавленням.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови формування міжатомних зв'язків на другому етапі, які виникають внаслідок пластичних деформацій під час осадки для зварювання опором і оплавленням, різні та залежать від стану поверхонь, що контактують.

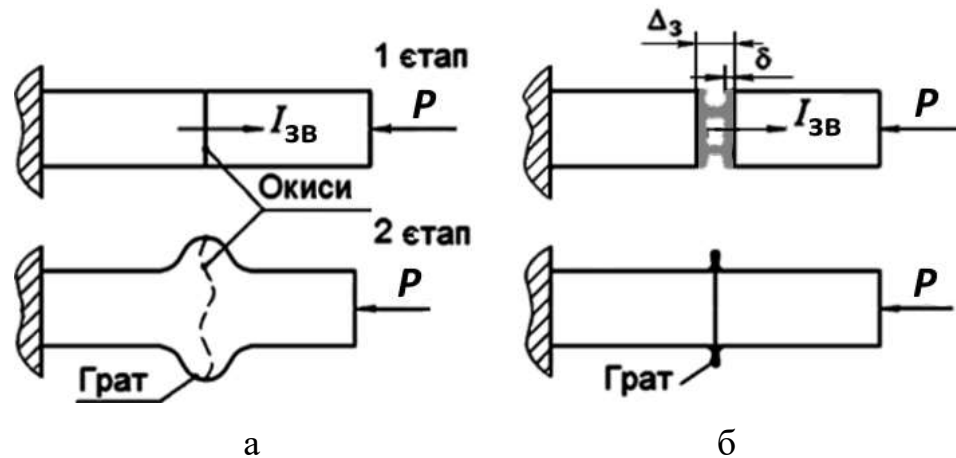


Рисунок 1.4 – Етапи утворення з'єднання за зварювання:

а – опором; б – оплавленням

Під час зварювання опором торцеві поверхні нагрівають до приблизно температури солідуса, але не досягають температури плавлення. При нормальних умовах оксидні плівки, які покривають поверхні з'єднаних компонентів, розпадаються в процесі пластичного осадження та видаляються в грат. Через незначні деформації оксидні плівки можуть не бути повністю видалені з місця з'єднання. Формування металевих зв'язків – це процес пластичної деформації металу в твердому стані.

Оксидні плівки залишаються на поверхні тонкого шару розплавленого металу під час зварювання оплавленням, і коли деталі стикаються, плівки разом з розплавом витісняються в грат. Зв'язки формуються переважно в твердому стані та частково в рідкому стані.

Процеси, пов'язані з формуванням з'єднання, майже ідентичні точковому зварюванню. Основні: охолодження та нагрівання металу; пластична деформація; зняття оксидних плівок. Зміни структури та властивостей металу; розширення та усадка металу під впливом тепла; і масоперенос під час контакту електрод-деталь є супутніми факторами. При стиковому зварюванні останні два процеси, масоперенос і теплове розширення, зазвичай не мають значного впливу на якість сполук.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Оксидні плівки на торцевій поверхні деталей значною мірою впливають на процес утворення з'єднання та його якість під час стикового зварювання. Вони ускладнюють взаємодію між атомами та перешкоджають утворенню міцних металевих зв'язків. Під час процесу пластичного осаджування металу торців оксидна плівка повинна бути роздроблена та видалена із зони з'єднання.

Вважається, що метал шва за своїми властивостями близький до основного металу під час зварювання оплавленням при дотриманні найкращих режимів зварювання. При зварюванні опором показники з'єднання, особливо пластичність і міцність, часто нижчі за показники основного металу. Це пов'язано з тим, що оксидні плівки не повністю видаляються з площини стику. Дефекти можуть виникнути, коли технологічний процес порушується. Основними дефектами стикового зварювання є непровар; рихлоти; перегрів; тріщини; розшарування та викривлення волокон; дефекти структури; і припікання поверхні в місці підведення струму.

Утворення великого зерна, підвищений вміст неметалевих включень у стику та зниження вмісту легуючих елементів у стику є найпоширенішими ознаками дефектів структури. Утворення великого зерна пов'язане з перегріванням металу та іншими факторами. Підвищений вміст неметалевих включень пов'язаний з сильним окисленням металу під час зварювання або, у деяких випадках, з підвищеним вмістом їх в основному металі. Витіснення зі стику металу в рідкому або твердому стані, випаровування та вигорання – це три способи, за допомогою яких метал шва забруднюється легуючими компонентами. Для того, щоб уникнути цих явищ, необхідно ретельно контролювати параметри та режим зварювання.

1.5. Особливості структури електроконтактних з'єднань

У процесі аналізу як макро-, так і мікроструктури зварного стику шов і зона термічного впливу виявляються візуально. Зварений стик може мати

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

довжину зони впливу в межах 10...80 мм. У такій послідовності мікроструктура зварних стиків по довжині поділяється на шість типових зон, які можна спостерігати на рисунку 1.5.

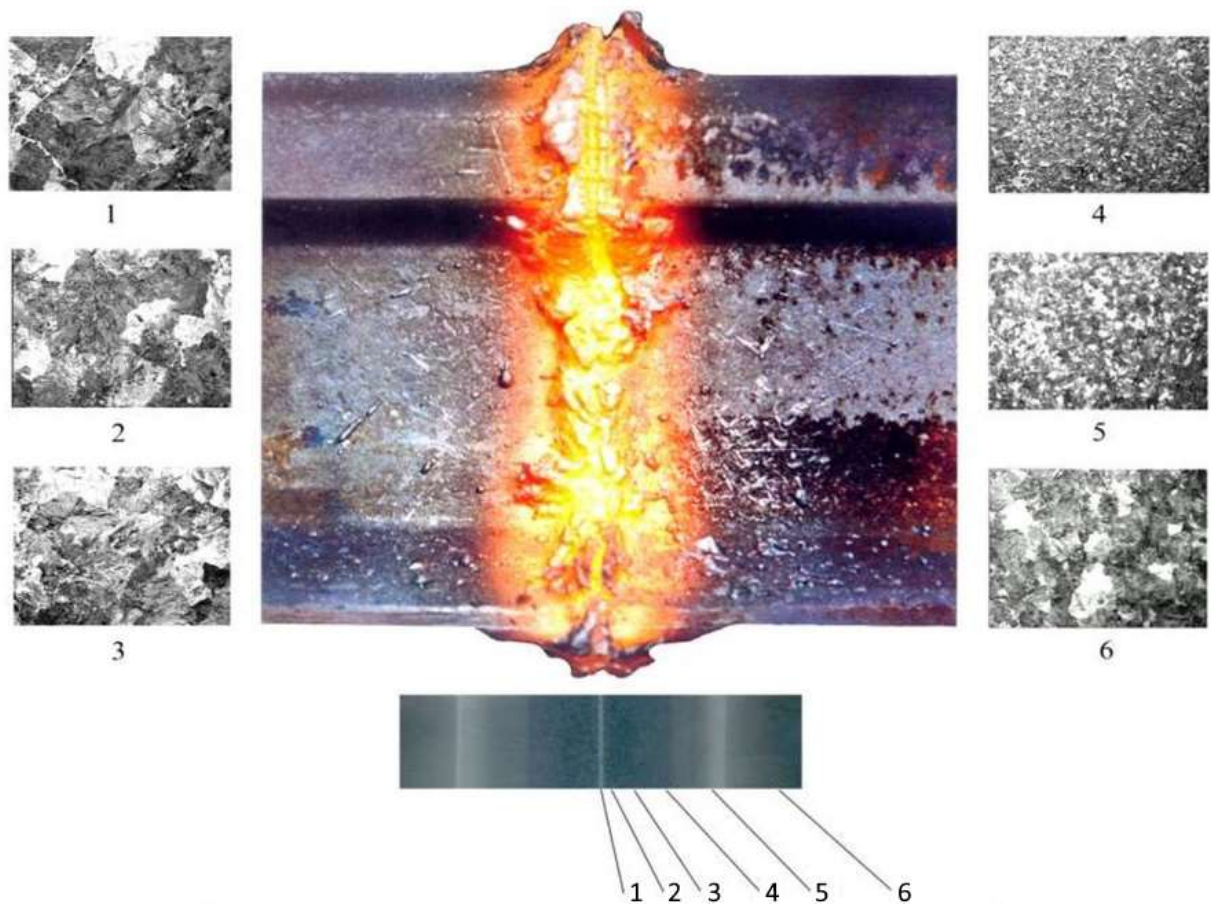


Рисунок 1.5 – Типова структура стикового електроконтактного з'єднання [9]

На рисунку 1.5 зображено схему, яка показує шість типових зон з'єднання стрижнів, утворених контактним стиковим зварюванням:

зона 1 – шов шириною 0,5...1 мм. У вигляді світлої смужки знеуглецювання та поперечного повороту волокон один міліметр виділяється;

зона 2 – ділянка металу, яка не розплавилася повністю, шириною від 1 до 1,5 міліметрів, де можуть бути легкоплавкі включення та рихлості;

зона 3 – перегрівання та рекристалізація (утворення та зростання зерен за рахунок початково деформованих зерен) утворюють область великого зерна шириною 10...15 мм;

зона 4 – після перекристалізації металу (утворення нових кристалів із кристалів попередньої модифікації при охолодженні з аустенітної структури в перлітну) утворюється область дрібного зерна шириною 10...15 мм;

зона 5 – зона неповної нормалізації шириною від 5 до 10 мм із переходом до основного металу;

зона 6 – основний матеріал.

Основним фактором, який впливає на ширину зони впливу, є тепловий режим; чим довше триває нагрівання та зростає температура, тим далі поширюються температури, що перевищують критичні точки. Отже, при контактному зварюванні оплавленням тривалість зварювання збільшує зону впливу. Ефект «холодного зварювання» може виникнути під час процесу оплавлення та подальшого осадження, якщо метал не розігрівається достатньо, коли тепло не встигає поширитися. Отже, крім його типових недоліків, зварювання опором також має порівняно вузьку зону термічного впливу.

1.6. Висновки та постановка мети роботи

Враховуючи матеріал, розглянутий у попередніх розділах, можна зробити висновок, що електроконтактне стикове зварювання широко використовується для з'єднання пруткових сталевих заготовок як у будівництві, так і в машинобудуванні. Коли процес контактного зварювання виконується в стаціонарних умовах, він найбільш ефективно використовується для виготовлення різних штучних залізобетонних будівельних конструкцій. Сучасні будівельні майданчики також використовують мобільне обладнання для контактного стикового зварювання арматури для фундаментних основ і стінових несучих конструкцій.

Слід зазначити, що використання автоматизованого обладнання стикового контактного зварювання дозволяє звільнити кваліфікованих працівників з графіку будівництва, що зменшує витрати на будівництво. У

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

порівнянні з електродуговим ручним зварюванням, використання цього методу зварювання зменшує вплив людського фактору на якість з'єднань [2].

Встановлено, що якість зварених з'єднань і їх міцність, яку можна визначити за структурою та будовою з'єднання, залежать від вибору основних параметрів, способу зварювання та налаштування обладнання. Саме останнє залежить від матеріалу та параметрів зварювання. Таким чином, ця робота має на меті дослідити та визначити вплив основних методів стикового контактного зварювання та його характеристик на структуру та властивості, зокрема на твердість зварної зони для арматурної сталі 18Г2С. Результати цього дослідження допоможуть розробити практичні рекомендації щодо того, як виконувати арматуру з цієї сталі під час стикового контактного зварювання. Ці рекомендації можуть бути використані на сучасних будівельних майданчиках і підприємствах, які виробляють штучні залізобетонні конструкції.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИПРОБУВАНЬ

2.1. Підготовка зразків для досліджень

Перед виконанням технологічного процесу зварювання перевіряється підготовка деталей до зварювання. За потреби виконується очищення та термічна обробка. Окремо перевіряються зварювальні матеріали та параметри процесу зварювання. Зварювання супроводжується постійним або вибіркоvim контролем. Після зварювання виконують контроль, що включає визначення параметрів якості, дослідження потенційних причин дефектів. За його результатами здійснюється уточнення процедури та параметрів зварювання.

Під час визначення технологічного процесу зварювання вивчається підготовка деталей до зварювання, їх очищення, термічна обробка, використання зварювальних матеріалів і параметри процесу. Зварювання супроводжується вибіркоvim або постійним контролем. Післязварювальний контроль включає визначення параметрів якості, визначення можливих причин дефектів і, як наслідок, коригування процедури та параметрів зварювання (якщо потрібно).

Процес електроконтактного зварювання складається з двох частин. Перша залежить від параметрів зварювання та ресурсів, які використовуються, а друга виникає через різні фізичні процеси, які відбуваються під час зварювання. Ці процеси залежать від характеру процесу, умов зварювання та всіх зовнішніх і внутрішніх пошкоджень. Практично неможливо визначити всі подібні "побічні" процеси. Отже, неможливо точно описати вплив кожного фактора на якість зварного з'єднання. Незалежно від того, які вони є, статистичний аналіз дозволяє оцінити процес у цілому та врахувати дію кожного фактора.

Оцінка якості характеристик за енергетичними параметрами процесу зварювання є предметом перспективних досліджень. Оскільки ці параметри

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

легко виміряти без додаткового обладнання та людських ресурсів, цей підхід вважається найбільш ефективним у випадку масового виробництва. В основному результати аналізу використовуються для прогнозування характеристик якості зварного з'єднання: можливих дефектів, механічних властивостей і геометрії шва. Це дозволяє виявляти порушення під час процесу та здійснювати його моніторинг. Інтелектуальні системи часто використовуються для проведення такого аналізу, що дозволяє усунути людину від процесу контролю, що зменшує суб'єктивність результатів і вартість процесу. Такі системи моніторингу зараз використовуються для дугового та контактного точкового зварювання.

На даному етапі розглядається техніка, яка використовується для оцінки ефективності використання електричного контактного зварювання для виготовлення каркасних армувань бетону. Основна увага приділяється виготовленню арматури, необхідної для будівництва будинків. В основному розглядалися прутки та ланки, але також інші форми арматури. У всіх випадках використовували конструкційну сталь для арматури класу А3, що виготовлена зі сталі 18Г2С. Для проведення цього дослідження було відібрано репрезентативну вибірку всіх потенційних комбінацій діаметрів, які використовувалися під час зварювання. По-перше, було визначено найпоширеніші діаметри арматури (8, 10, рідше 12 і 16 мм), а також поздовжні прутки (2, 5, 8, 10 і іноді 15 м). Таблиця 1 містить перелік восьми різних діаметрів, які використовувалися для створення окремого списку товщин з'єднань. Таким чином, значення з'єднань для тестових зразків коливалися від мінімуму 8 мм, до максимуму 14 мм.

2.2. Опис зразків для дослідження структури

Згідно з завданням кваліфікаційної роботи, пробні цикли електроконтактного зварювання стрижневих заготовок використовувалися для виготовлення зразків для проведення комплексу досліджень (рисунок 2.1).

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зварювання проводилося за допомогою мобільного обладнання, розробленого Інститутом електрозварювання ім. Є. Патона. Зокрема, застосовували сучасну установку для контактного зварювання труб і стрижневих заготовок К813 [2], яка була розташована на монтажному майданчику цеху виготовлення залізобетонних конструкцій. За використання цієї установки можна досягти струмів зварювання до 8 кА.



Рисунок 2.1 – Зварні заготовки зі сталі 18Г2С

Для армування бетонних виробів зварювали стрижневі зразки зі сталі 18Г2С з гладкою поверхнею діаметром 8 та 14 мм. У процесі підготовки дослідної партії зразків контактне стикове зварювання проводилося в різних режимах. Однак найефективнішим методом для стикового з'єднання арматури був метод оплавлення. У процесі зварювання струм зварювання, час пропускання та сила стискання торців заготовок, а також цикли змінюються під час початкового етапу стикового зварювання.

Електроконтактне зварювання оплавленням складалося з трьох етапів: формування дуги, іскріння, нагрівання та оплавлення. Кожен із цих етапів потребує різної сили струму та часу. У результаті досліджень ці параметри змінювали в межах, наведених у таблиці 4.1. Енергія, необхідна для доведення матеріалу до температури солідусу та сплавлення металу, є основою для виявлення струму та часу. Електроконтактне зварювання займає менше часу, ніж інші види зварювання. Це робить використання цього типу зварювання в умовах будівництва дуже ефективним.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.1 – Параметри контактного зварювання оплавленням

Етап зварювання	Зміна параметрів		Густина струму зварювання, А/мм ²
	струм, кА	час, с	
I – формування дуги, іскріння	0,2...0,5	0,2...0,5	5...10
II – нагрівання металу	3,5...5,5	1,0...3,5	20...60
III – сплавлення, формування з'єднання	5,0...6,0	1...7	60...160

Дослідження також включало зварювання як на жорстких, так і на м'яких режимах роботи зварювальної машини. У цьому випадку для оцінки режиму краще використовувати густина струму зварювання, яку можна виміряти у А/мм². Максимальний струм зварювання становив 160 А/мм².

Під час процесу зварювання зразки стискали з питомим зусиллям 5...10 МПа на початку процесу та 30...50 МПа на етапі сплавлення, що відповідало деформаційному осаджуванню зони нагрітого металу.

Налаштування зварювальної машини були виконані таким чином, щоб процес зварювання опором міг відбуватися за допомогою прикладання механічного зусилля у зоні контакту стиків заготовок (таблиця 2.2). Тиск на контактних поверхнях становив 120...150 МПа після стискання заготовок. У цьому режимі було визначено дві фази процесу: нагрівання металу та формування з'єднання.

Таблиця 2.2 – Параметри контактного зварювання опором

Етап зварювання	Зміна параметрів		Щільність струму зварювання, А/мм ²
	струм, кА	час, с	
I – нагрівання металу	2,5...3,5	2,5...7,5	10...30
II – сплавлення, формування з'єднання	5,0...6,0	1...7	50...90

Переносні мобільні кліщі PN-18C PEI-POINT можна використовувати для зварювання арматурних прутків у нахлест [10].

Зварюванню піддавали рифлені прутки діаметром до 16 мм (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Зварювання арматури в нахлест

Такий спосіб зварювання арматури був виконаний за допомогою контактної зварювання оплавленням. Зварювальний струм коливався між 7...10 кА під час сплавлення металу та формування зварного з'єднання. Щільність струму змінювалася під час процесу зварювання через зміни площі контакту при зварюванні у нахлест (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – З'єднання прутків в нахлест

Коли площа контакту прутків змінюється в зоні зварювання, зміна щільності струму пов'язана з цим явищем. У результаті пластичної осадки прутків під час стискання та оплавлення металу на початку зварювання площа контакту була меншою, ніж під час зварювання. Таким чином, струм зварювання зростає протягом процесу, досягаючи 10 кА для прутків арматури діаметром 16 мм.

2.3. Методика дослідження структури зразків

Після зварювання стрижні обробляли для виявлення мікро- та макроструктур. Відбір зразків для механічних випробувань на розрив проводився з партії зварених з'єднань. Зразки також підготовлювали для металографічних досліджень і оцінки якості зварного шва відповідно до силових, часових і енергетичних параметрів процесу зварювання. Під час підготовки мікро- та макрошліфів стрижні розрізали приблизно в середині зварного шва.

Відрізання робочої зони зварного з'єднання призвело до того, що зони термічного впливу були захоплені (рисунок 2.4). Дослідження стану цих зон також було важливим для оцінки якості отриманих з'єднань. Для цього використовували високошвидкісний відрізний верстат. Під час відрізання воду використовували для охолодження зони відрізу. У процесі відрізання використовувався абразивний круг товщиною 2мм.



Рисунок 2.4 – Відрізання зразків для аналізу структури з'єднання

Для отримання поверхні темплетів для макроаналізу зразки з'єднань розрізали вздовж стержня арматури на відрізному верстаті. Зразки піддавали шліфуванню на грубому та тонкому шліфувальному полотні після розрізання поверхні зони зварювання. Наждачні папери P1000 і P1500 використовувалися для тонкого шліфування.

Таким чином зразки піддавалися візуальному макроаналізу, а також збільшенню до тридцяти разів. Після тонкого шліфування зразки

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

досліджували по поверхні. Розчин HNO_3 у спирті (3...5 %) використовувався для травлення.

Після полірування поверхні зразка алмазними пастами було проведено мікроструктурний аналіз. Дослідження проводилися за допомогою оптичного металографічного мікроскопу ММП-14Ц. Для фотографування структури зварного з'єднання та зон термічного впливу використовували звичайну цифрову USB-камеру.

2.4. Методика вимірювання твердості

У роботі для визначення твердості металів і сплавів застосовували прямі методи вимірювання. Прилади, що використовуються для вимірювання твердості прямими методами, зазвичай є стаціонарними установками. У процесі випробування до індентора, який вдавлюється в зразок або виріб, прикладають визначене навантаження. У результаті на поверхні утворюється відбиток. Для кожного з прямих методів існує відповідна залежність, яка дозволяє обчислити твердість за значенням прикладеної сили та геометричними характеристиками отриманого відбитка. Зокрема, у методі Роквелла вимірюється глибина цього відбитка.

Одним із переваг прямих методів вимірювання твердості є те, що вони універсальні щодо матеріалів, які використовуються для випробування. Спочатку стаціонарні твердоміри готові вимірювати твердість будь-якого металу чи сплаву без додаткового калібрування. Їхні недоліки включають недостатню мобільність, обмеження за розмірами виробу, що вимірюється, досить великий відбиток і низький темп вимірювання.

Для оцінки твердості сталі в зоні електроконтактного зварного з'єднання в роботі використовували прямий метод вимірювання твердості за Вікерсом на приладі NOVOTEST TC-БРВ. У зонах зварного шва можна було зробити точні вимірювання за допомогою оптичної системи та механізму

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

навантаження, що є важливим для такого роду досліджень. Під час цих випробувань навантаження на індентор складало 100 грам.

Для визначення твердості конкретних ділянок зварного електроконтактного з'єднання в роботі використовували метод мікротвердості. Вимірювання проводилися мікротвердоміром NOVOTEST ТС-МКВ. Формула була використана для визначення величин мікротвердості:

$$H_{\mu} = 18540 \cdot \frac{P}{d^2},$$

де P – навантаження, г;

d – довжина діагоналі відбитку, мкм.

Процес вимірювання твердості виконували за схемою зображеною на рисунку 2.5.

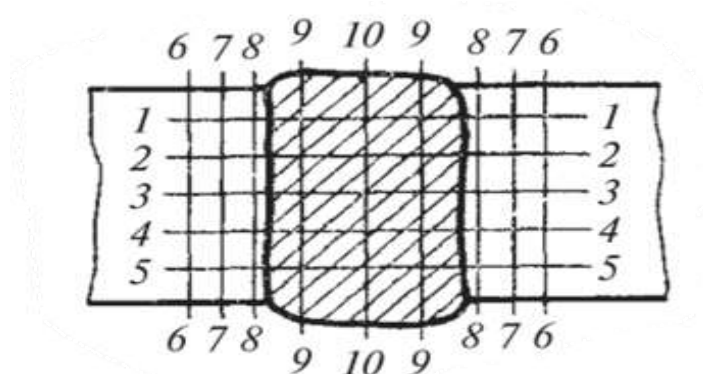


Рисунок 2.5 – Схема вимірювання
твердості зварного з'єднання

Таким методом вимірювання можна було уникнути помилок у вимірюванні мікротвердості зварних зон. З'ясувалося, що похибки знаходяться в межах статичного відхилення.

2.5. Методика механічних випробувань

Механічні випробування включали вимірювання статичної міцності прутків арматури зі сталі 18Г2С, зварених стиковим електроконтактним зварюванням, а також міцності безпосередньо зварного з'єднання.

Випробування розтягування проводилися за допомогою розривної машини МР-200. Як відомо, методологія цих випробувань різноманітна [4, 6]. На відміну від традиційного випробовування циліндричних прутків, зварені стрижні піддають спеціальному обточуванню перед статичного розтягу для визначення міцності зварного шва. У першому випадку форма та розміри зразків для випробування стикових з'єднань стрижнів повинні відповідати технічним умовам на випробування, які передбачені для цього типу випробування. Для проведення випробувань статичної міцності самих зварених прутків арматури були створені стрижні, конструкція яких показана на схемі 2.6.

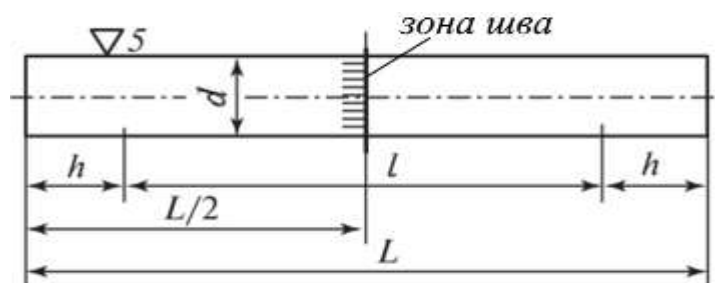


Рисунок 2.6 – Форма та розміри зразків для випробувань стикових з'єднань на статичне розтягування

Механічний рівень основного металу має бути використаний для видалення потовщення зварного шва. Дозволяється зняття основного металу по всій поверхні зразка на глибину до п'ятнадцяти відсотків від товщини металу або діаметра стрижня, але не більше чотирьох міліметрів. Потовщення слід різати поперек шва. Плоскі зразки, які мають гострі кромки, повинні бути закруглені шляхом згладжування напилком уздовж їхньої кромки радіусом не більше 1,0 мм. Розміри зразків були визначені на основі діаметру (таблиця 2.3).
Таблиця 2.3 – Розміри зразків для діаметру арматури (d , мм)

Діаметр прутка d , мм	Довжина робочої частини зразка l , мм	Загальна довжина зразка L , мм
≤ 10	60	$L = l + 2h$
10...25	100	

Величині захватної частини зразків h визначаються відповідно до конструкції випробувальної машини. Поверхня захватних ділянок має бути не нижче п'яти ступенів шорсткості. В іншому випадку зразки готувалися для визначення міцності безпосередньо зварного шва, як показано на рисунку 2.7.

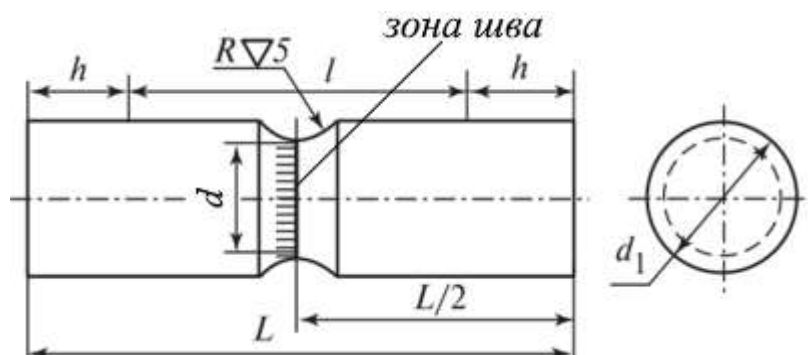


Рисунок 2.7 – Форма та розміри зразків для випробувань міцності шва стикових з'єднань

Для визначення міцності зварного шва відбирались відповідні розміри циліндричних зразків (таблиця 2.4), згідно діаметру прутків які використовувалися у дослідях.

Таблиця 2.4 – Розміри зразків для визначення міцності шва

Діаметр прутка d , мм	Діаметр робочої частини (шийки) d_1 , мм	Радіус скруглення R , мм	Довжина робочої частини зразка l , мм	Загальна довжина зразка L , мм
≤ 5	$d_1 = 0,75d$	$R = 0,5d_1$	40	$L = l + 2h$
$5 \dots \leq 10$			60	
$10 \dots 20$			70	

Величина захвату зразків h встановлюється відповідно до конструкції робочих захватів випробувальної машини. Тимчасовий опір для такого типу випробувань визначається за формулою:

$$\sigma_s = \frac{kP}{F},$$

де σ_s – тимчасовий опір, МПа;

k – поправочний коефіцієнт;

F – площа січення зразка у зоні шийки до випробування, мм².

У цій формулі силу руйнування P зразків визначали за індикаторною діаграмою випробувальної машини. Коефіцієнт k , який прийнято для вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей, становить 0,9.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

РОЗДІЛ 3

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

3.1. Оцінка якості зварних з'єднань арматури

Після отримання дослідної партії прутків шляхом стикового контактного зварювання оцінювали кожне з'єднання. Це дослідження дозволило визначити якісні показники для зварних з'єднань, такі як величина провару, стан поверхні, величина грату та інші характеристики. У результаті виконання таких дослідів було можливо провести першу оцінку впливу кожного способу стикового контактного зварювання (рисунок 3.1) на якість отриманих з'єднань арматури, виготовленої зі сталі 18Г2С.

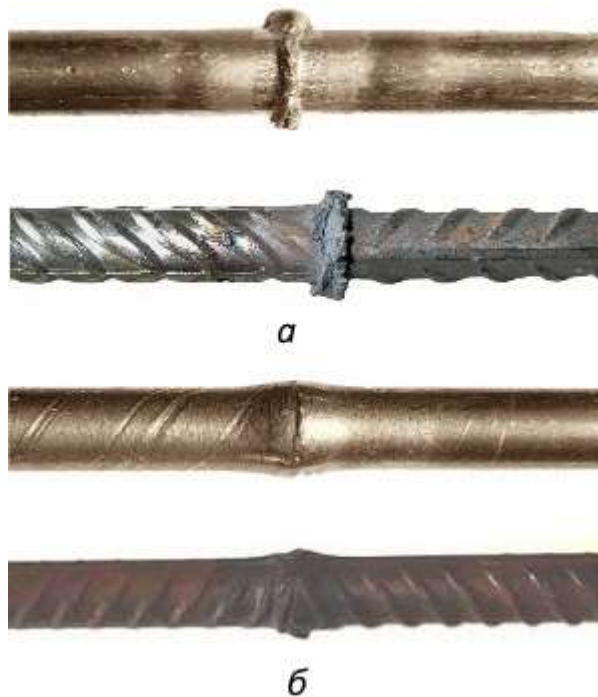


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд стикових з'єднань арматури, отриманих за режимами зварювання: а – оплавленням; б – опором

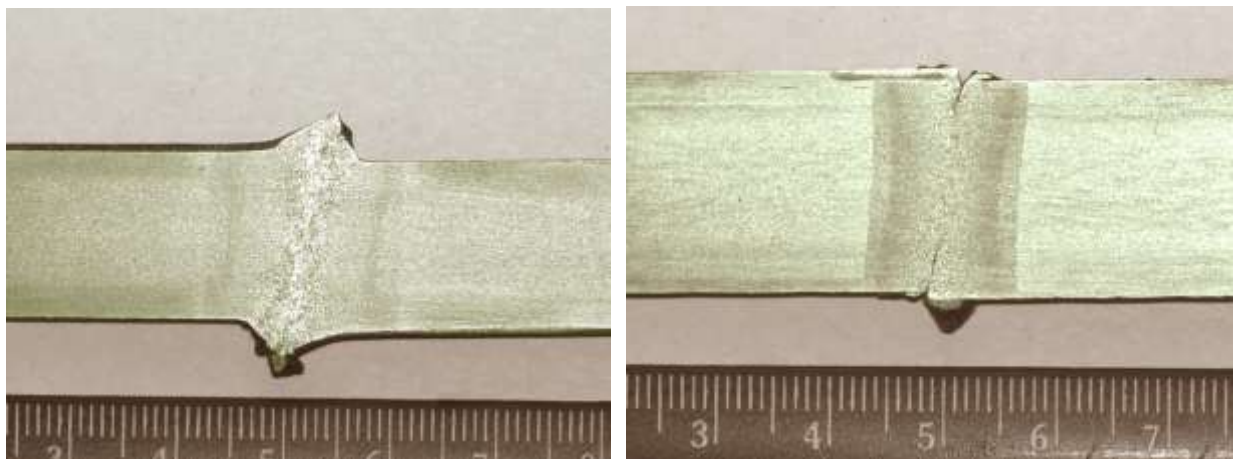
Дослідження показали, що при контактному зварюванні з оплавленням прутки мають дефект у вигляді грату. Це об'єми металу які виходять на зовнішню поверхню зварного шва та наплавлення метал у вигляді потовщення. Параметри режиму зварювання, особливо густина струму та час

процесу зварювання, визначають величину цього грату. Якість з'єднання також залежить від тривалості етапів з'єднання. Грат не є значним дефектом, оскільки арматура використовується в бетоні. З іншого боку, з'єднання, зварені за допомогою електроконтактного зварювання опором, мають непровари, які можна побачити на поверхні з'єднання у вигляді локальних тріщин. Їхня природа пов'язана з тим, що метал не плавиться. Пластична осадка значно деформувала метал прутків арматури в середній частині.

3.2. Макроструктура зварних з'єднань

У роботі були проведені візуальні оцінки макроструктури та якості зварних з'єднань прутків арматури, виготовлених зі сталі 18Г2С. Для таких досліджень використовували невеликі збільшення до тридцяти разів.

Якість зварного з'єднання можна оцінити за макроструктурним станом, який залежить від способу зварювання та параметрів електроконтактного зварювання. Для проведення достовірних досліджень, після огляду шліфованої поверхні, зразки протравлювали (рисунок 3.2) для виявлення структури шва.



а

б

Рисунок 3.2 – Макроструктура з'єднань арматури, отриманих за режимами зварювання: а – оплавленням; б – опором

Аналіз макроструктури зварних з'єднань арматурної сталі 18Г2С, звареної електроконтактним стиковим зварюванням, показав, що якість

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

зварного шва впливає як на метод, так і на основні параметри. Зокрема, під час контактного зварювання опором у зварному шві утворюються непровари, у вигляді тріщин. Збільшення струму зварювання до заданих значень зварювальної машини не було достатньо для повного усунення цього дефекту зварювання.

Зварювання оплавленням, навпаки, створює міцну внутрішню структуру шва без непроварів і тріщин. Дослідження також показали, що використання переривчастого режиму на першому етапі контактної зварювання оплавленням може покращити структуру шва. Заготовки, затиснуті в затискачах і підведені до них напругою, зводяться та розводяться з незначним притисканням. Це викликає іскріння та локальне оплавлення контактних поверхонь, що дозволяє видалити забруднення з основної зони формування зварного шва. На рисунку 3.3 показано, як плавлення створює більш широкі зони термічного впливу на основний метал заготовок.



Рисунок 3.3 – Зони термічного впливу
для режиму зварювання оплавленням

Аналіз макроструктури зон термічного впливу показав, що їх розмір зазвичай не перевищує половини діаметру прутка.

3.3. Результати досліджень мікроструктура зварних з'єднань

Для дослідження мікроструктури зварних з'єднань використовували оптичний мікроскоп із збільшенням у 100 та 500 разів.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Попереднє дослідження початкової структури сталі 18Г2С у стані поставки було проведено з метою порівняльного аналізу (рисунок 3.4) структур зварних швів. Відповідно до стандарту використовували прутки арматури класу АІІІ у гарячекатаному стані.

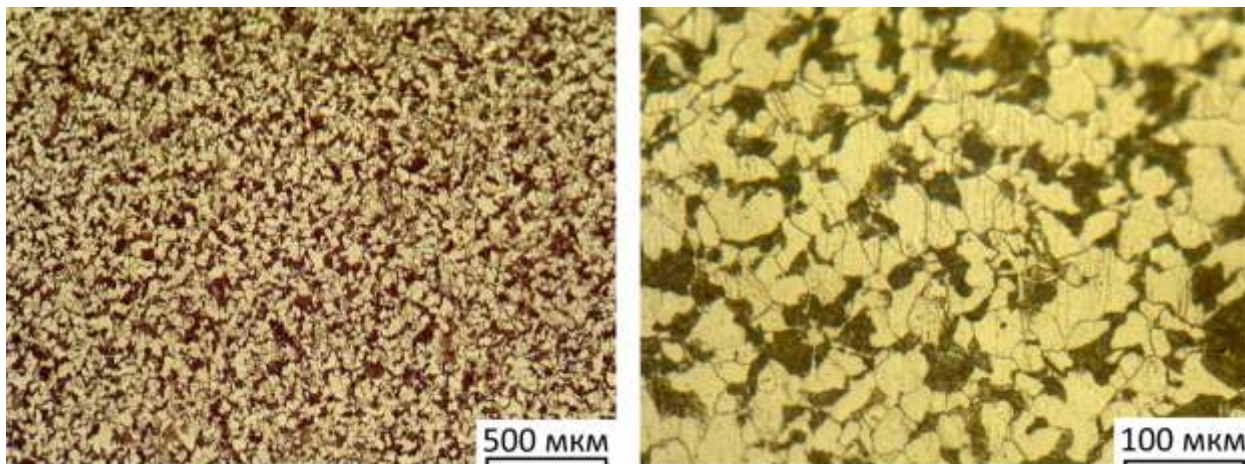


Рисунок 3.4 – Мікроструктура арматури 18Г2С до зварювання

З представлених структур видно, що прутки арматури у стані поставки мають будову типову для доєвтектоїдної сталі з подрібненої перліто-феритною структурою. У процесі виробництва арматури технологія гарячого прокатування прутків призводить до більш дисперсних структур. Пластичне формування, яке відбувається під час оброки під високою температурою, запобігає формуванню смугастої структури, яка є характерною для холоднокатаного прокату.

В процесі досліджень зварних швів, спочатку вивчали структуру середини зварного шва (рисунок 3.5). Потім, для жорстких режимів зварювання, вивчали зони термічного впливу та ділянки перегріву.

На основі аналізу структури з'єднання в середній частині зварного шва можна зробити висновок, що в цій частині формується структура сталі, яка порівняно рівна. Цей метал має структуру, схожу на структуру литої сталі з малим вмістом вуглецю. Це може бути ознакою перерозподілу вуглецю під час процесу зварювання, коли атоми вуглецю витісняються з зони розплавлення в ґрат і частково дифундують у глиб металу прутків. Така структура може підвищити пластичність зварного шва, але зменшити його твердість.

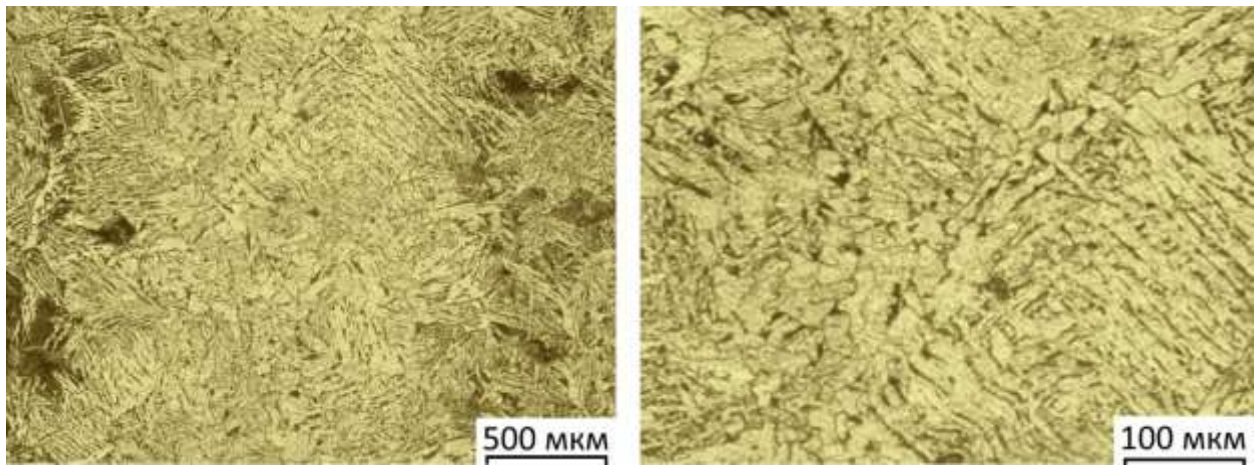


Рисунок 3.5 – Мікроструктура середини зварного шва

Згідно з дослідженнями, ширина зони литого металу під час січення зварного шва коливається від 0,5 до 1,5 мм. Це залежить від режимів зварювання контактом. При зварюванні опором ширина може становити 0,5...0,8 мм, а з'єднання може бути повністю відсутні на краях. Ця область оплавлення видно чітко, і її ширина коливається від 1,0 до 1,5 мм. У місцях, близьких до зони литого металу, температура зварного шва значно змінює структуру основного металу прутків. Зони термічного впливу, як показано на рисунку 3.6, розташовані по обидві сторони від зони зварювання.

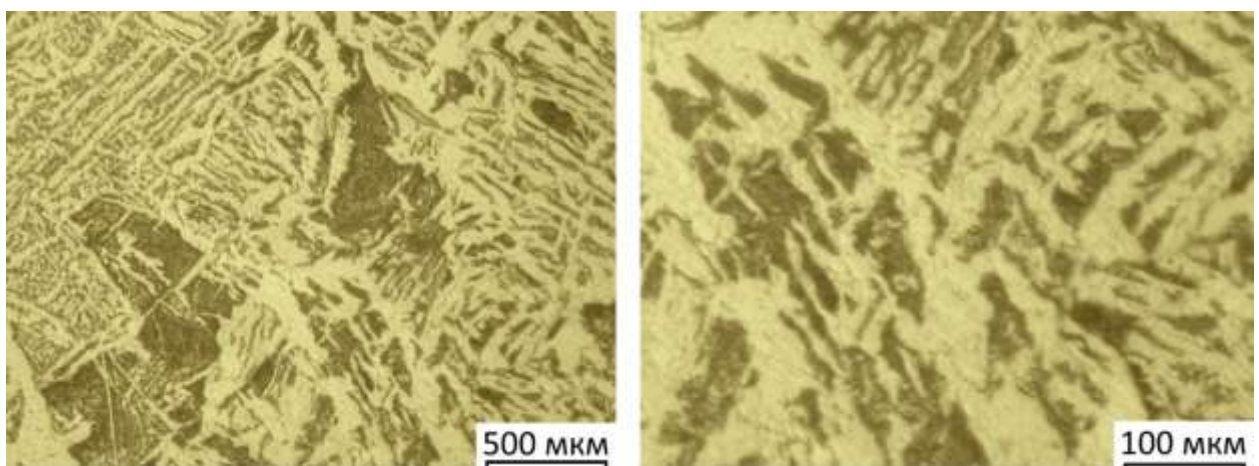


Рисунок 3.6 – Мікроструктура зон термічного впливу

Згідно з аналізом структури в зонах термічного впливу, сталь 18Г2С має більш грубу ферито-перлітну структуру. На деяких ділянках структура нагадує структуру доевтектоїдної сталі Відманштетта.

Такий тип зварювання є результатом високої температури в цих ділянках під час процесу зварювання, яка швидко охолоджується завдяки

швидкій віддачі тепла в більш глибокі шари металу прутків. Коли процеси дифузії у твердих розчинах не мають значного розвитку, подібні структури утворюються під час процесів швидкого перетворення α - γ та α - α

У дослідженнях було виявлено, що зони термічного впливу для з'єднань прутків арматури, отриманих електроконтактним зварюванням як опором, так і оплавленням, мають приблизно такі ж розміри. Однак контрастність їхніх границь відрізняється. Границі переходу структурно більш плавні під час зварювання оплавленням, що призводить до меншого градієнта властивостей.

3.4. Розподіл твердості зварних швів прутків сталі 18Г2С

Склад металу заготовок і режим зварювання визначають твердість зварних з'єднань, зварених електроконтактним зварюванням. Встановлено коливання твердості за шириною зварного з'єднання під час процесу вимірювання твердості експериментальних зразків. Вимірювання твердості по зонам зварного з'єднання за допомогою методу мікротвердості дають найбільш точні результати (рисунок 3.7). Під час вимірювань навантаження на індентор становило 50 грам.

На основі даних, отриманих з вимірювання мікротвердості за січенням зони зварного шва, можна зробити висновок, що цей параметр відрізняється залежно від режиму зварювання. Отримання приблизно однакових значень мікротвердості за січенням зварного шва, які майже не відрізняються від твердості основного металу, є найкращим результатом. Тим не менш, градієнт температури змінює структуру металу, що проявляється в змінах його твердості та твердості.

Для таких результатів слід пам'ятати, що значення твердості також може впливати на пластичну деформацію зони зварювання. Це особливо стосується зварювання опором, де ступінь осадки може перевищувати зусилля стискання, що прикладене до арматури.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

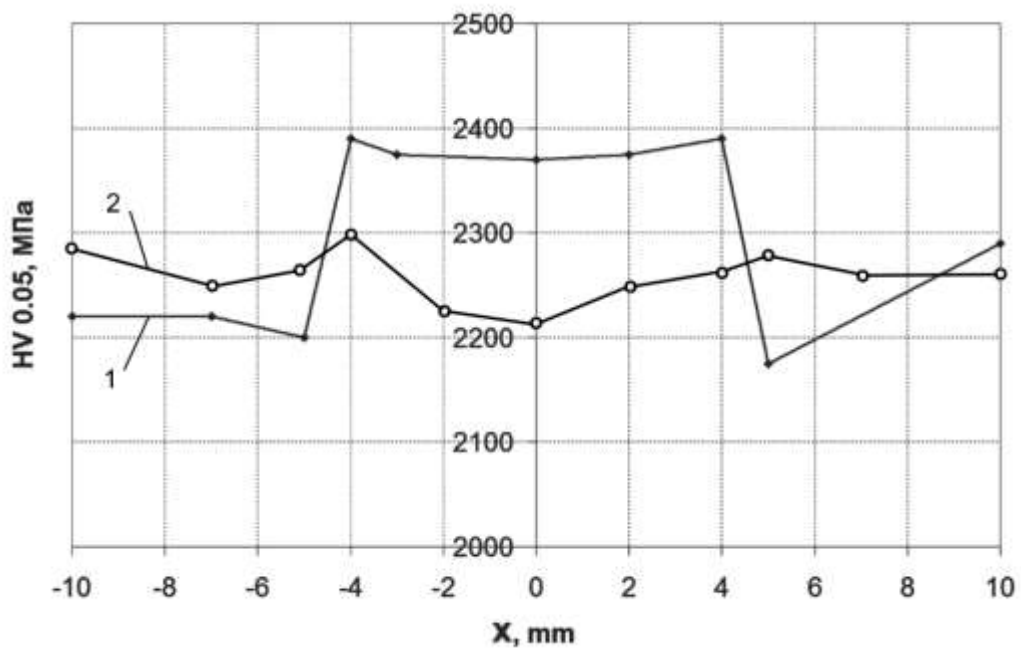


Рисунок 3.7 – Розподіл мікротвердості за січенням зварного шва:

1 – зварювання опором; 2 – зварювання оплавленням

З отриманих результатів вимірювання мікротвердості видно, що більший перепад значень твердості є характерним для режиму електроконтактного стикового зварювання опором. У цьому режимі після стискання заготовок до місця з'єднання підводиться коротка напруга. Це призводить до більш швидкого нагріву та охолодження металу в області зварного шва. Цьому також сприяє більш сильна деформація навколишніх областей. Таким чином, коли основний метал переходить до зон термічного впливу, відбувається підвищення твердості. Центр зварних з'єднань також демонструє високу твердість. У цьому місці метал практично не розплавлюється, а його склад залишається незмінним, що призводить до зміцнення структури.

Для режиму зварювання оплавленням, зона шва та прилеглі ділянки розігріваються ще до того, як прикладається основне зусилля стикання заготовок. Сталь сильно прогрівається як у місці шва, так і на периферії. Сталь розплавляється під час формування зварного шва, втрачаючи певну кількість карбону в рідкому стані, що призводить до переміщення атомів карбону в грат. Тому середня твердість шва в цьому режимі зварювання нижча. Аналіз

розподілу твердості по січенню зварного з'єднання показує більш рівномірний розподіл твердості, ніж у режимі зварювання опором. В результаті більш повільного охолодження та більшого прогріву навколишніх областей нагартування менше в зонах термічного впливу. Це зменшує температурний градієнт і швидкість відводу тепла з основного металу порівняно з зварюванням опором.

Виконані дослідження розподілу твердості показали, що контактне зварювання методом оплавлення має кращі показники зварювання. Розподіл твердості між зонами термічного впливу та січенням зварного шва є більш рівномірним, що означає менший перепад міцнісних характеристик або градієнтів властивостей. Це, у свою чергу, гарантує кращу механічну стійкість цих з'єднань арматури.

3.5. Визначення міцності прутків арматури та зварного з'єднання

Циліндричні зразки, підготовлені за методикою, описаною раніше у другому розділі, розтягували, щоб визначити силу зварних з'єднань і арматури 18Г2С на розривній машині МР-200. Для перевірки достовірності результатів використовували не менше двох або трьох зразків прутків, отриманих за різними параметрами зварювання опором та оплавленням. З метою порівняльного аналізу спочатку випробовували суцільні пруткові заготовки з арматурної сталі 18Г2С третього класу, які були підготовлені відповідно до розмірів досліджуваних зварних прутків. Зразки арматури відповідного діаметру попередньо випробовували на розтяг для проведення порівняльного аналізу, який використовувався для контактного зварювання (таблиця 3.1).

У серії таких досліджень було виявлено, що обрана арматура відповідає вимогам стандарту для дослідження впливу параметрів контактного зварювання. Діаметр прутків мало впливає на основні механічні характеристики. Найбільш чутливим до цього є відносне видовження прутків;

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

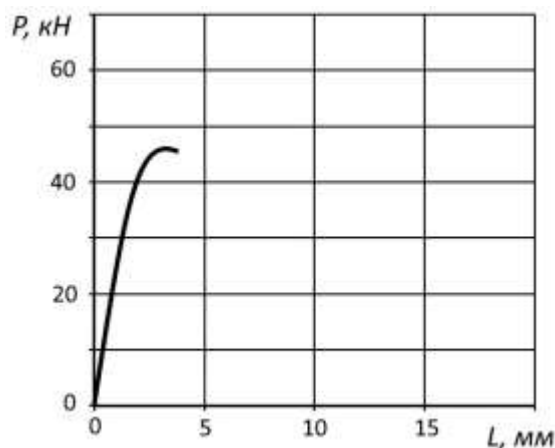
особливо це помітно, коли діаметр прутків збільшується, цей показник зменшується.

Таблиця 3.1 – Результати випробування на розтяг зразків арматури

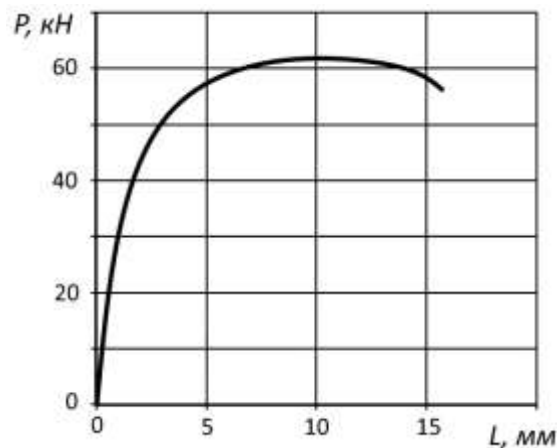
Діаметр прутка, мм	Площа перерізу, мм ²	Параметр		
		межа плинності $\sigma_{0,2}$, МПа	тимчасовий опір σ_b , МПа	відносне видовження δ , %
8	50,3	391	577	14
		384	561	14
		401	582	13
10	78,5	409	590	11
		388	574	9
		412	592	12
12	113,1	372	568	13
		360	554	11
		368	560	9
14	153,9	367	572	9
		390	576	11
		400	581	12

Зразки, отримані зварюванням опором, показали низьку міцність при розтягуванні. Напруження розриву рідко перевищувало 350 МПа. З цієї причини на діаграмі розтягування, показаній на рисунку 3.8, а, не спостерігається явної межі текучості, яка вказувала б на те, що метал переходить у пластичну зону деформування. Таким чином, під час використання цього режиму електроконтактного зварювання прутки швидко руйнувалися, практично не допускаючи пластичної деформації металу. Усі діаметри вибраного діапазону арматури мали подібний характер випробувань, що зварювались за режимом оплавлення.

У дослідженнях цієї серії зразків також було виявлено руйнування зразків у місці стику стрижнів у зварному шві. Руйнування, яке відбувалося під час процесу розтягу, було пов'язане з різкою втратою зусилля розривної машини, що є ознакою типового крихкого злому чи руйнування. Такий характер був характерним як для жорстких, так і для м'яких режимів зварювання.



а



б

Рисунок 3.8 – Індикаторні діаграми розтягу зразків для діаметру прутка арматури 14 мм:

а – зварювання опором; б – зварювання оплавленням

В роботі оцінювали результати випробувань серії зразків, зварених електроконтактним стиковим зварюванням за режимом опору. Щільність струму зварювання $J_{зв}=10...60$ А/мм² для м'якого режиму та $J_{зв}=60...160$ А/мм² для жорсткого режиму були визначені відповідно до діаметра арматури. Порівняння характеристик міцності можна виконати за даними таблиці 3.2, залежно від режиму стикового зварювання.

Таблиця 3.2 – Результати випробування на розтяг зразків арматури після електроконтактного стикового зварювання опором

Діаметр прутка, мм	Показник випробувань		Характер руйнування
	тимчасовий опір σ_B , МПа	відносне видовження δ , %	
м'які режими (густина струму $J_{зв}=10...60$ А/мм ² , час витримки 5...7 с)			
8	319	2,0	по шву
10	324	1,5	по шву
12	327	1,5	по шву
14	341	1,0	по шву
жорсткі режими (густина струму $J_{зв}=60...160$ А/мм ² , час витримки 1...3 с)			
8	476	9,0	по ЗТВ
10	495	8,5	по ЗТВ
12	503	6,0	по ЗТВ
14	512	5,5	по ЗТВ

Дані показують, що м'яке зварювання опором дає найменшу міцність з'єднань і руйнує зварний шов, а не метал он термічного впливу чи сам пруток.

Режим електроконтактного зварювання оплавлення часто використовується в стаціонарних умовах зварювання арматурної сталі, зокрема в цехах із виготовлення залізобетонних конструкцій. Порівняння характеристик міцності в залежності від способу стикового зварювання опором чи оплавленням можна бачити за узагальненими даними, представленими в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати випробування на розтяг зразків арматури після електроконтактного стикового зварювання оплавленням

Діаметр прутка, мм	Показник випробувань		Характер руйнування
	тимчасовий опір $\sigma_{\text{в}}$, МПа	відносне видовження δ , %	
м'які режими (густина струму $J_{\text{зв}}=10\ldots60$ А/мм ² , час витримки 5...7 с)			
8	590	12,0	по зоні осн. металу
10	575	13,0	по зоні осн. металу
12	621	10,0	по зоні осн. металу
14	609	11,5	по зоні осн. металу
жорсткі режими (густина струму $J_{\text{зв}}=60\ldots160$ А/мм ² , час витримки 1...3 с)			
8	571	8,5	по ЗТВ
10	564	8,0	по ЗТВ
12	548	9,0	по ЗТВ
14	581	7,0	по ЗТВ

З результатів можна зробити висновок, що прутки, зварені за способом оплавлення, мають найвищу міцність з'єднання. Це було пов'язано з параметрами м'якого електроконтактного стикового зварювання. У цьому випадку жорсткі режими зварювання призвели до менших показників міцності для всіх діаметрів арматури, і вони були зруйновані в зоні термічного впливу.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Небезпечні фактори в лабораторіях

Відповідно до законодавства умови безпеки на робочих місцях повинні бути відповідними, а також безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, засобів колективного та індивідуального захисту, які використовуються працівниками, а також санітарно-побутові умови [11, 12]. Важливим моментом у державній політиці України є його ставлення до захисту працюючих громадян шляхом прийняття нових законів про охорону праці та створення державних виконавчих структур для ефективного виконання цих законів.

Коли працівники працюють у лабораторіях з технічного аналізу та випробування матеріалів, підготовки зразків і матеріалів, вони стикаються з деякими небезпечними факторами, які можуть вплинути на їхнє здоров'я та самопочуття. Вид виконуваних робіт визначає ці потенційно небезпечні елементи. Відрізування металевих заготовок, їх обточування, обробка на шліфувальних верстатах, експериментальне зварювання та використання електричного обладнання є прикладами ситуацій, коли працівники повинні виконувати механічні операції [13].

У цих випадках основними небезпечними факторами є ймовірність травмування різальним інструментом, ураження електричним струмом, наявність пилу та шкідливих газів. Кислоти та інші небезпечні речовини можуть завдати значної шкоди здоров'ю, незахищеним частинам тіла. У випадку інтенсивного використання хімічного та іншого лабораторного посуду є небезпека травмування уламками скляного посуду, за випадків його пошкодження та руйнування.

Технічні лабораторії часто використовують спеціальне обладнання для нагріву. Відповідно виконувані роботи можуть бути небезпечними, оскільки

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

можуть виникнути опіки через необережне виконання робіт, необережне використання обладнання та необережне поводження з нагрітими до небезпечної температури предметами.

4.2. Рекомендації щодо аерації лабораторних приміщень

Повітря в лабораторіях на постійних робочих місцях, в ізольованих приміщеннях та в робочій зоні повинно відповідати нормам гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин. Важливим також є відповідність нормальним метеорологічним умовам: температура, відносна вологість; швидкості руху повітря, тощо. Загальні санітарні заходи захисту мають включати також норми освітлення, фарбування обладнання та фарбування приміщень [12].

Природна аерація та припливно-витяжна вентиляційні системи вентиляції використовуються для зменшення шкідливого впливу забрудненого повітря та газів на працівників у лабораторіях. У місцях, де проводиться підготовка хімічних реактивів, травників і робота з ними, слід встановити та розмістити місцеву витяжну шафу. Це зменшує поширення шкідливих газів і випарів у інші частини будівлі.

Організований природний повітрообмін, спричинений або вітром, або гравітаційними силами, називається аерацією. Аерація може забезпечити сильне провітрювання. Наступне відрізняє механічну вентиляцію від аерації. Механічна вентиляція використовує тиск вентилятора приблизно $40\ldots 80 \text{ кг/м}^2$, що дозволяє подавати повітря в певні місця за меншою кількістю повітря безпосередньо від місця забруднення.

Аерацію можна використовувати в приміщеннях із високими тепловиділеннями, якщо концентрація шкідливих газів і пилу в припливному повітрі не перевищує 30 % гранично допустимої концентрації в робочій зоні. Аерацію не використовують у випадках, коли за умовами технології

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

виробництва потрібна попередня обробка повітря або коли приплив зовнішнього повітря викликає туман або конденсат.

У лабораторіях можна використовувати механічну вентиляцію разом з аерацією. Аерація не повинна застосовуватися в цехах, де є джерела виділення газів і пар шкідливих речовин або пилу, оскільки це створює небезпеку отруєння навколишнього середовища. Крім того, природний приплив цих цехів поширює шкідливі виділення по всьому приміщенню. У приміщеннях із системами кондиціонування повітря також не застосовується аерація.

4.3. Заходи з техніки безпеки під час роботи в лабораторіях

Охорона праці передбачає створення робочих місць, де повністю усувається виробничий травматизм і професійні захворювання. Організаційно-технічні проблеми, порушення технологічних процесів, нехтування правилами та правилами безпеки можуть призвести до травм і професійних захворювань на виробництві. У лабораторії аналізу та випробувань матеріалів правила техніки безпеки необхідно неухильно дотримуватися. Насамперед у приміщенні має бути вся необхідна техніка, меблі, вентиляція та водопровід.

Кожен працівник, який перебуває в лабораторії, зобов'язаний дотримуватися таких вимог [14]: заздалегідь пройти інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки; вміти користуватися засобами пожежогасіння та знати, де вони розташовані; володіти навичками користування аптечкою, знати її місцезнаходження, а також уміти надавати першу допомогу при опіках (зокрема хімічних) і отруєннях; бути обізнаним з властивостями вихідних реактивів і продуктів реакцій; уміти правильно використовувати засоби індивідуального захисту.

Кожен працівник повинен ретельно прибрати робоче місце, робочі они лабораторії, вимкнути газопостачання, електрику та воду після завершення роботи. Лише після цього робітнику дозволяється залишити лабораторію.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

У лабораторії працівникам забороняється працювати самотійно. Вимогою є присутність як мінімум двох осіб одночасно в приміщенні. Забороняється вживати їжу чи напої з посуду, яка знаходиться в лабораторії. Їсти, пити та палити в лабораторії заборонено. Керівник лабораторії відповідає за дотримання цих правил. Забороняється використовувати невимитий посуд для дослідів. Посуд у лабораторії повинен бути ретельно вимитий після завершення роботи. Не допускається залишати увімкнене обладнання, електричні плити та газові пальники без нагляду.

Працівникам лабораторії заборонено викидати в раковини будь-які тверді предмети (зокрема папір). Також не допускається зливання в раковини легкозаймистих, горючих і хімічно активних рідин, зокрема технічної соляної кислоти та подібних речовин. Забороняється нахилитися над відкритим отвором посудини, що нагрівається, а також спрямовувати його в бік інших осіб. Нагріта сірчана кислота та інші хімічні речовини виділяють токсичні пари, які становлять серйозну небезпеку для людини. У разі необхідності визначення вмісту посудини слід обережно направляти пари легким рухом руки у свій бік, не вдихаючи їх глибоко.

З метою захисту від небезпечних і шкідливих виробничих факторів працівники лабораторії повинні бути забезпечені спеціальним одягом, спеціальним взуттям і засобами індивідуального захисту відповідно до типових галузевих норм, затверджених у встановленому порядку.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано вплив параметрів стикового електроконтактного зварювання на структуру та властивості сталі 18Г2С, яка застосовується для виробництва арматури класу А-III для потреб будівництва.

З аналізу будівництва встановлено, що арматурний прокат класу А-III є найбільш поширеним матеріалом для армування різноманітних залізобетонних конструкцій під час будівництва фундаментів і несучих елементів у цивільному та промисловому будівництві. Потреба в оперативному та якісному монтажі арматурних каркасів залишається актуальною, а її ефективне вирішення можна забезпечити застосуванням стикового електроконтактного зварювання.

За результатами досліджень структури зварних з'єднань сталі 18Г2С встановлено, що найвища якість зварного шва досягається при застосуванні режиму стикового зварювання оплавленням із попереднім нагріванням зварюваних кінців арматури шляхом подачі електричної напруги на початку їхнього контакту, з подальшим прикладанням основного зусилля стискання. У цьому випадку структура зони шва є суцільною і включає зону литого металу та зони термічного впливу, без утворення пор і тріщин. Міцність такого зварного з'єднання перевищує міцність основного металу за умови використання стикового зварювання оплавленням за густини струму $10...60 \text{ А/мм}^2$ у січенні прутка.

На основі аналізу структури та результатів механічних випробувань визначено оптимальні параметри електроконтактного зварювання для отримання міцних стикових з'єднань арматури зі сталі 18Г2С. Для арматури діаметром 8, 10, 12 і 14 мм доцільно застосовувати зварювання оплавленням за м'якими режимами: при густині зварювального струму $10...60 \text{ А/мм}^2$, питомому тиску стискання 30...50 МПа та тривалості процесу 5...7 с.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Золотова Н. М. Сучасні матеріали та технології будівництва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 135 с.
2. Оцінка несучої здатності зварних з'єднань арматури залізобетону / Г. Болотов, М. Болотов, Т. Ганєєв, М. Корзаченко // Технічні науки та технології. – 2017. – № 1 (7). – С. 58-67. [http://doi.org/10.25140/2411-5363-2017-1\(7\)-58-67](http://doi.org/10.25140/2411-5363-2017-1(7)-58-67).
3. Santillan, P. (2020). Assessment and Optimization of a Clean and Healthier Fusion Welding Procedure for Rebar in Building Structures. Applied Sciences. 2020, 10, 7045; <http://doi.org/10.3390/app10207045>.
4. ДСТУ 3760:2019 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. – Чинний від 2019–08–01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 18 с. (Національні стандарти України).
5. ДСТУ 9130 - 2021 Прокат гарячекатаний з арматурної сталі для залізобетонних конструкцій. Технічні умови. – Чинний від 2021–10–20. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 18 с. (Національні стандарти України).
6. Технологія металів та зварювання: навчальний посібник / А. М. Власенко. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 250 с.
7. Любич О. Й. Обладнання і технологія зварювального виробництва: навч. посіб. / О. Й. Любич, В. М. Радзієвський, А. Ф. Будник. - Суми: Сумський державний університет, 2013. - 229 с.
8. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017.– 346 с.
9. Chenyao X., Daqian S., Zhaozhi X., Jiegong W., Guoshan S., Microstructures and mechanical properties of flash butt welded high strength steel joints, Materials & Design, Volume 96, 2016, Pages 506-514, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.01.129>.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

10. Зварювальні кліщі PN 18 / ТОВ "Зварювальні Технології" / URL: <https://svartech.com.ua/ua/p534907518-svarochnye-kleschi.html> (дата звернення: 26.04.2024).

11. Безпека життєдіяльності та охорона праці: підручник / В. В. Сокурєнко, О. М. Бандурка, С. М. Бортник та ін.; за заг. ред. В. В. Сокурєнка; Харків. нац. ун-т внутр. справ. – Харків: ХНУВС, 2021. – 308 с.

12. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. / Т. Є. Стиценко, Г. В. Пронюк, Н. М. Сердюк, І. І. Хондак. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 336 с.

13. Правила улаштування електроустановок. Електрообладнання промислових підприємств: ПБЕЕПП 0.00–1.32–10. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 121 с.

14. Проектування засобів індивідуального захисту працюючих : навч. посіб. / В.І. Голінько, Л.Д. Третьякова, С.І. Чеберячко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. 181 с.

					БР 1426.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		