

РОЗДІЛ III. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 691.328.1

Геннадій Болотов, Максим Болотов, Тимур Ганєєв, Микола Корзаченко

ОЦІНКА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АРМАТУРИ ЗАЛІЗОБЕТОНУ

Геннадий Болотов, Максим Болотов, Тимур Ганеев, Николай Корзаченко

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Gennady Bolotov, Maksym Bolotov, Timur Hanieiev, Mykola Korzachenko

EVALUATION OF THE CARRYING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE WELDED ARMATURE JOINTS

У роботі наведено результати досліджень міцнісних характеристик зварних з'єднань арматури залізобетону, виконаних контактним стиковим зварюванням опором та оплавленням і механізованим дуговим зварюванням у середовищі захисних газів. Встановлено, що застосування м'яких режимів під час зварювання оплавленням із попереднім підігрівом забезпечує отримання рівномірних з'єднань із межею витривалості на рівні 639...685 МПа, на відміну від швів, виконаних електродуговим зварюванням, межа міцності яких у наших дослідгах не перевищувала 516...578 МПа, що обумовлено значною гетерогенністю структури металу зварного шва та ЗТВ.

Ключові слова: арматура, залізобетон, контактне стикове зварювання, механізоване зварювання, характеристики міцності.

Рис.: 9. Табл.: 6. Бібл.: 7.

В работе приведены результаты исследований прочностных характеристик сварных соединений арматуры железобетона, выполненных контактной стыковой сваркой сопротивлением и оплавлением и механизированной дуговой сваркой в среде защитных газов. Установлено, что применение мягких режимов при сварке оплавлением с предварительным подогревом обеспечивает получение равнопрочных соединений с границей выносливости на уровне 639...685 МПа, в отличие от швов, выполненных электродуговой сваркой, предел прочности которых в наших опытах не превышала 516...578 МПа, что обусловлено значительной гетерогенностью структуры металла сварного шва и ЗТВ.

Ключевые слова: арматура, железобетон, контактная стыковая сварка, механизированная сварка, характеристики прочности.

Рис.: 9. Табл.: 6. Библ.: 7.

The results of the studies of the strength characteristics of reinforced concrete welded armature joints made by flash-butt welding and arc welding in shielding gases are shown in the paper. It is established that the use of "soft" modes of preheated flash-butt welding provides the receipt of equally-strength with the limit of joints endurance at 639...685 MPa, unlike the arc welded joints, the tensile strength of which didn't exceed 516...578 MPa, due to the considerable heterogeneity of metal structure and HAZ of the joints.

Key words: armature, reinforced concrete, flash-butt welding, arc welding, the characteristics of strength.

Fig.: 9. Tabl.: 6. Bibl.: 7.

Постановка проблеми. Сучасні методи виробництва будівельних конструкцій різного призначення тісно пов'язані із використанням монолітно-каркасних систем, роль яких у будівництві все більше зростає із підвищенням вимог до експлуатаційної якості, надійності, швидкості зведення та економії матеріальних і трудових ресурсів.

Основним етапом технологічного процесу при зведенні будівель та споруд зі збірних або збірно-монолітних залізобетонних конструкцій (ЗБК) є улаштування арматурної сітки, суттєвий обсяг виконуваних робіт у процесі виробництва якої припадає саме на зварювальні операції. Це, насамперед, обумовлено високою якістю зварних з'єднань у порівнянні з так званими беззварювальними способами із застосуванням поєднувальних муфт типу "Lenton", або внапустку з перев'язуванням.

При зведенні будівель і споруд за монолітно-каркасною технологією для з'єднання арматурних стержнів та закладних елементів між собою найбільш широкого застосування набули дугові процеси зварювання плавленням із використанням ручного дугового, механізованого та ванно-дугового зварювання [1]. Слід зазначити, що у стаціонар-

них умовах, крім згаданих способів, для нарощування армованого каркаса широке застосування набуло контактне стикове зварювання з безперервним оплавленням опором та оплавленням з підігрівом. Тривалий термін використання контактного зварювання у виробничих умовах будівництва дозволив виділити певні його переваги, обумовлені, передусім, стабільною якістю зварних з'єднань (практично рівномірним з основним металом), процес легко автоматизується, не потребує додаткового витратного матеріалу, крім цього, не потребує зварювальників з високою кваліфікацією [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження працездатності зварних з'єднань арматурних стержнів, виконані різними науковцями, дозволили визначити основні вимоги до умов зварювання, головним чином пов'язані з рівномірністю нагрівання та охолодження, малим часом ізотермічної витримки металу в області високих температур та, що найважливіше, здатністю металу сприймати зварювальне тепло з утворенням якісного зварного з'єднання. Тобто потрібно сказати, що арматурний прокат, який використовується в будівництві залізобетонних конструкцій, повинен володіти не тільки високими фізико-механічними показниками, а і задовільною зварюваністю.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Слід пам'ятати, що якість та надійність будівельних конструкцій визначається не лише якістю вихідних матеріалів, а й значною мірою культурою будівельно-монтажних робіт, у тому числі під час виконання зварювальних операцій. Саме з останнім пов'язана поява значної частини дефектів, що впливатимуть на міцнісні показники як окремих елементів конструкції, так і несучої здатності будівлі загалом [3]. Ця проблема є багатогранною і вирішується одночасно в декількох напрямках. Серед них відповідальна роль належить дослідженню механічних властивостей зварних з'єднань арматури із застосуванням руйнівних методів контролю якості.

Мета статті. У зв'язку з цим мета цієї роботи полягає в оцінюванні несучої здатності зварних з'єднань арматурних стержнів залізобетону шляхом їх механічних випробувань на розрив.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для потреб індивідуального будівництва найбільш широкого застосування набула арматура класів А-III та А-IVв гарячекатаному або термозміцненому стані діаметром 8...16 мм, виготовлених із сталей 35ГС, 25Г2С, Ст3Гпс та Ст5сп (пс).

Оцінку механічних властивостей зварних з'єднань арматурних стержнів здійснювали на зразках діаметром 8...14 мм. Завдання ускладнювалось тим, що відібрана нами партія дослідних зразків не мала ані сертифікату, ані жодного маркування, тобто без будь-якого кольорового індикатора на торцях стержнів, що вказувало б на належність арматури до того чи іншого класу міцності. У зв'язку з цим перш ніж приступити до досліджень процесів зварювання арматурних стержнів, доцільним є встановлення відповідності відібраних зразків певному класу міцності.

Оскільки основним нормованим показником якості сталеві арматури є клас арматури по міцності на розтяг, тому з метою визначення класу відповідності всі відібрані арматурні стержні піддавалися механічним випробуванням на розрив. Механічні дослідження здійснювали відповідно до ГОСТ 12004-81. Випробування проводили на партіях зразків діаметром 8, 10, 12 та 14 мм на розривній машині МР-200 (із максимальним навантаженням 200 кН). З кожної партії відбиралося по три зразки. Довжина стержнів для механічних досліджень становила 200 мм, оскільки номінальний діаметр випробуваної арматури не перевищує 20 мм [4].

Загальний вигляд зразків після випробування на розтяг наведено на рис. 1. Результати механічних випробувань зразків арматурної сталі наведено в табл. 1.

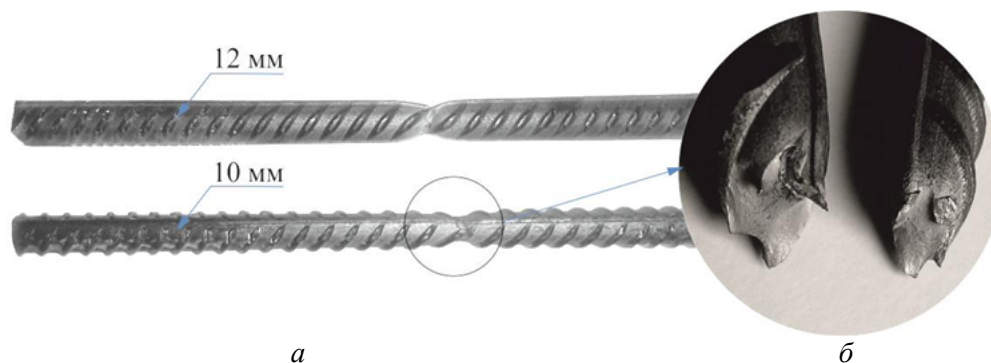


Рис. 1. Зразки арматурних стержнів діаметром 10 і 12 мм (а) та їх злам (б) після механічних випробувань на розтяг

Таблиця 1

Результати механічних випробувань зразків арматури

Номер профілю (номінальний діаметр зразків), мм	Площа поперечного перерізу, мм ²	Тимчасовий опір розриву, Н/мм ²	Межа текучості, Н/мм ²	Відносне подовження при розриві, %
8	50,3	577	391	14
		561	384	14
		582	401	13
10	78,5	590	409	11
		574	388	9
		597	412	12
12	113,1	568	372	13
		554	360	11
		560	368	9
14	153,9	572	367	9
		576	390	11
		581	400	12

Отримані у процесі механічних випробувань результати дають нам підставу вважати, що зразки досліджуваної арматури відносяться до класу міцності А-III (А400, А400С), про що свідчать отримані значення межі текучості, що в наших дослідях коливалися в межах 374...412 Н/мм², та відносне подовження, що не перевищує 14 %.

Відповідно до ГОСТ 5781-82 арматуру А400, А400С виготовляють із середньовуглецевих низьколегованих сталей 35ГС, 25Г2С, 32Г2Рпс або низьковуглецевої сталі ВСт3Гпс. Хімічний склад цих сталей наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Хімічний склад арматурних сталей

Марка арматурної сталі	С, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	S, %	P, %	Cu, %
35ГС	0,30...0,37	0,80...1,20	0,60...0,90	<0,30	<0,30	<0,045	<0,040	<0,30
25Г2С	0,20...0,29	1,20...1,60	0,60...0,90	<0,30	<0,30	<0,045	<0,040	<0,30
32Г2Рпс	0,28...0,37	1,3...1,75	<0,17	<0,30	<0,30	<0,05	<0,045	<0,30
ВСт3Гпс	0,14...0,22	0,80...1,10	<0,15	<0,30	<0,30	<0,05	<0,040	<0,30

Для цих сталей було розраховано вуглецевий еквівалент (C_e), як показник, що характеризує здатність металів до зварювання з утворенням якісного нероз'ємного з'єднання. Згідно з [5] вуглецевий еквівалент для арматурних стержнів класу А-III, виготовлених з низьколегованої сталі, що підлягають зварюванню, повинен знаходитись в межах 0,52...0,62.

Під час розрахунку користувалися формулою, яка найбільше підходить саме для низьколегованих сталей, що дозволяє з достатньою точністю виявляти схильність їх до утворення кристалізаційних тріщин:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + V + Mo)}{5} + \frac{(Cu + Ni)}{15}. \quad (1)$$

Проведений розрахунок показав, що досліджувані леговані арматурні сталі відносяться до категорії, що важко зварюються зі схильністю до утворення холодних та гарячих тріщин. Значення C_e таких сталей коливається в межах 0,55...0,58. Найбільш оптимальним щодо обраного критерію є низьковуглецева сталь, величина C_e якої становить 0,34, що відповідає категорії сталей із задовільною зварюваністю. Таким чином, технологічні дослідження процесів зварювання арматури повинні проводитися з урахуванням фізико-хімічних особливостей її матеріалу.

Вибір раціонального способу зварювання при конструюванні зварних з'єднань арматури і закладних деталей повинен відбуватись з урахування конструктивно-геометричних параметрів майбутніх швів. Так, під час зварювання арматури залізобетону залежно від положення стержнів у просторі найбільш поширеними типами зварних з'єднань є стикові, стикові із парними накладками, напусткові та хрестоподібні.

Зварювання стикових з'єднань здійснювали за допомогою контактної стикового зварювання опором та оплавленням з підігрівом. Стикові з накладками та напусткові з'єднання арматурних сталей доцільно виконувати із застосуванням електродугового зварювання [6]. Вибір оптимальних конструктивно-геометричних параметрів зварних швів, виконаних контактним і дуговим зварюванням, здійснювали відповідно до ГОСТ 14098-91.

Дослідження процесів зварювання стикових швів типу С1-Ко арматурних стержнів діаметром 8...14 мм здійснювали на машині для контактної стикового зварювання МС-801 із номінальною силою струму 8кА. Зварювання зразків проводили як на жорстких, так і м'яких режимах, значення основних технологічних параметрів яких визначали експериментально. Так, під час зварювання оплавленням на м'яких режимах щільність зварювального струму залежно від площі поперечного перерізу зразків варіювалася в межах $j_{зв} = 10...60 \text{ А/мм}^2$, час ізотермічної витримки становив $t_{зв} = 8...12 \text{ с}$. Зусилля нагріву $F_n = 10...20 \text{ МПа}$, зусилля осадки $F_{ос} = 100...150 \text{ МПа}$. Установочна довжина при цьому становила $l_{уст} = 14...24 \text{ мм}$.

Зварювання на жорстких режимах здійснювали із деяким підвищенням щільності зварювального струму в межах $j_{зв} = 60...160 \text{ А/мм}^2$, тривалість нагріву становила $t_{зв} = 0,8...2 \text{ с}$. Зусилля нагріву та осадки, як і в попередньому випадку, становили 10...20 МПа та 100...150 МПа відповідно. Установочна довжина також залишалася незмінною $l_{уст} = 14...24 \text{ мм}$.

При зварюванні оплавленням до основних параметрів режиму ще додаються припуск на осадку $\Delta_{ос}$ та оплавлення $\Delta_{оп}$. Припуск на осадку в нашому випадку становив $\Delta_{ос} = 8...12 \text{ мм}$, припуск на оплавлення – $\Delta_{оп} = 3...5 \text{ мм}$.

Перед зварюванням торці та поверхні деталей, що затискаються в губки контактної машини, ретельно очищалися з метою видалення забруднень і створення щільного електричного контакту. Після зварювання зразки з'єднань піддавалися випробуванням на розтяг на розривній машині МР-200. Механічні випробування зразків арматури зварених контактним стиковим зварюванням оплавленням та опором проводили згідно з вимогами ГОСТ 10922-90. Результати випробувань наведено в табл. 3.

Натурні випробування зварних арматурних зразків показали, що застосування м'яких режимів під час зварювання оплавленням з підігрівом забезпечує найбільш якісне зварне з'єднання серед усіх досліджуваних режимів. Границя міцності таких зразків становить 639...685 МПа, що на 10...15 % більша за витривалість зразків зварених із застосуванням жорстких режимів, та на 30...40 % більша за показники міцності зразків, зварених опором. Руйнування відбувалося по основному металу на значній відстані від зварного шва (рис. 2, а).

Результати механічних випробувань арматурної сталі на розрив

Діаметр зразка, мм	Зварювання опором			
	жорсткі режими	Характер руйнування	м'які режими	Характер руйнування
8	476	По ЗТВ	319	По шву
10	496	По ЗТВ	324	По шву
12	505	По ЗТВ	327	По шву
14	518	По ЗТВ	296	По шву
Діаметр зразка, мм	Зварювання оплавленням			
	жорсткі режими	Характер руйнування	м'які режими	Характер руйнування
8	571	По ЗТВ	652	По осн. мет.
10	564	По ЗТВ	639	По осн. мет.
12	548	По ЗТВ	685	По осн. мет.
14	581	По ЗТВ	671	По осн. мет.

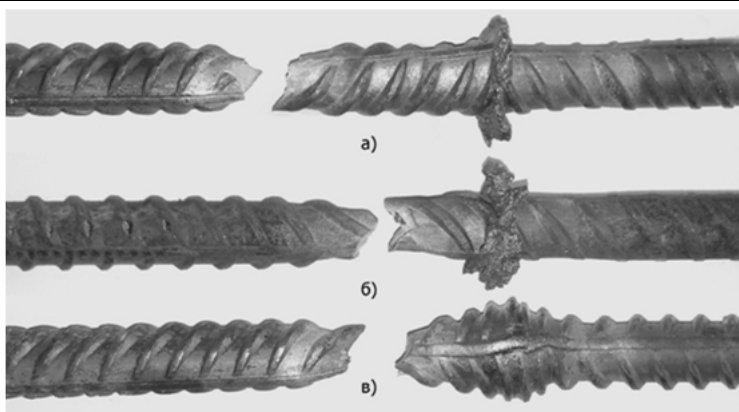


Рис. 2. Зразки арматури діаметром 14 мм зварені контактним стиковим зварюванням оплавленням на м'яких режимах (а), на жорстких режимах (б), опором на жорстких режимах (в) після механічних випробувань на розрив

Застосування жорстких режимів під час зварювання оплавленням призводить до деякого зниження міцнісних показників зварних з'єднань. Границя витривалості на розтяг таких зразків знаходиться в межах 548...581 МПа. Руйнування відбувається виключно по ЗТВ і носить крихкий характер (рис. 2, б). Очевидно, часткова втрата пластичних властивостей зварного з'єднання пов'язана з тим, що зварювання на підвищених щільностях струму призводить до деякого перегріву металу в зоні з'єднання із появою крихких ділянок знеміцнення, обумовлених ростом зерна в зоні термічного впливу (рис. 4, а). Унаслідок чого спостерігається певне підвищення твердості металу на цій ділянці (рис. 5).

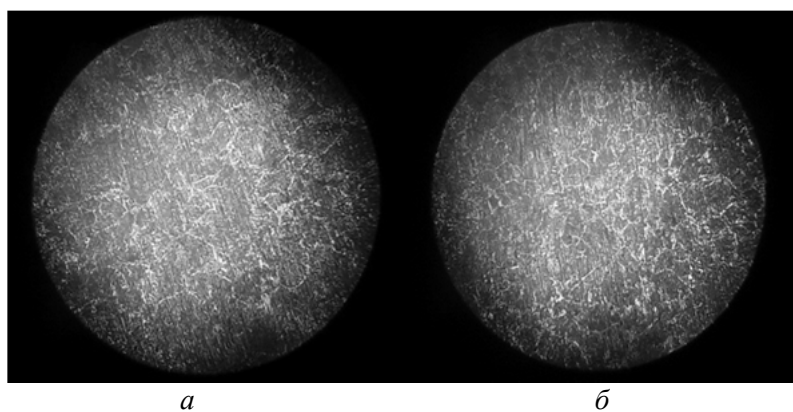


Рис. 4. Мікроструктура зони з'єднання арматури, виконаних стиковим зварюванням оплавленням на жорстких режимах без відпалу (а) та з відпалом (б), $\times 200$ раз

Досягти рівномірності таких зварних з'єднань вдалося завдяки застосуванню наступної термообробки – відпалу, що призвело до активації рекристалізаційних процесів у металі. Внаслідок чого відбувається зміна розмірів зерен металу біляшовної зони в сторону їх подрібнення і, як результат, зниження чисел твердості (рис. 4, б). Це дозволило покращити механічні показники з'єднань. Міцність на розрив таких зразків становила вже 612...644 МПа.

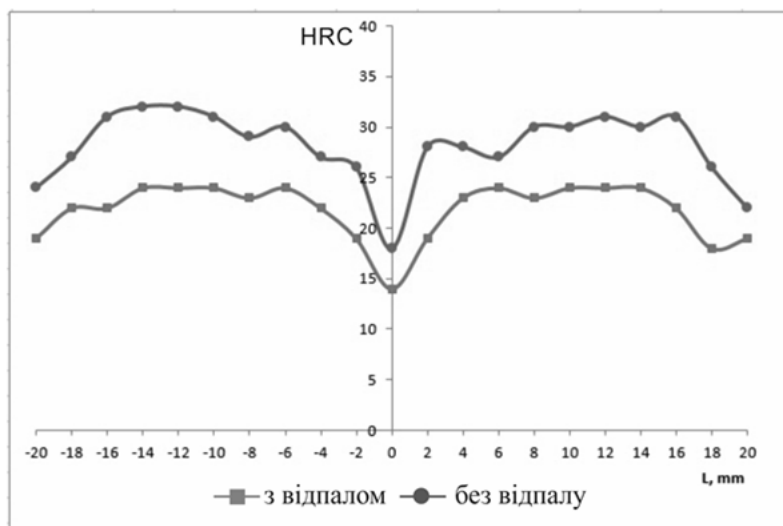


Рис. 5. Розподіл твердості в зоні зварних з'єднань арматури виконаних стиковим зварюванням опаленням на жорстких режимах

Застосування м'яких режимів під час стикового зварювання опором арматури діаметром 14 мм у наших дослідках не забезпечувало належної якості з'єднань. Руйнування зразків носить крихкий характер і відбувається по зварному шву, а межа міцності не перевищує показник у 327 МПа. На топографії зламу зварного з'єднання помітна ділянка з відсутнім проплавленням, що свідчить про недостатній нагрів торців деталей, що зварюються, обумовленого, скоріш за все, замалою щільністю зварювального струму (рис. 6).

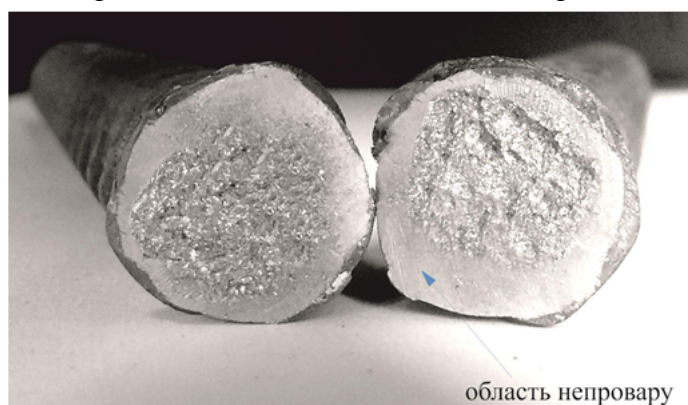


Рис. 6. Характер зламу зварного з'єднання арматури діаметром 14 мм, виконаного стиковим зварюванням опором із застосуванням м'яких режимів після механічних випробувань на розрив

Також у роботі проведено комплекс експериментальних досліджень з визначення міцності напусткових та стикових з'єднань з парними круглими накладками арматурних стержнів діаметром 8...12 мм, виконаних електродуговим зварюванням.

Зварювання напусткових з'єднань типу $S_{23}-P_e$ виконували фланговими протяжними швами з одностороннім та двостороннім проплавленням (рис. 7, а). Стикові з'єднання з парними круглими накладками типу $S_{21}-P_n$ виконували аналогічно до попередніх з одностороннім, шаховим та двостороннім проплавленням (рис. 7, б). Зварювання проводили відповідно до ГОСТ 14098-91.

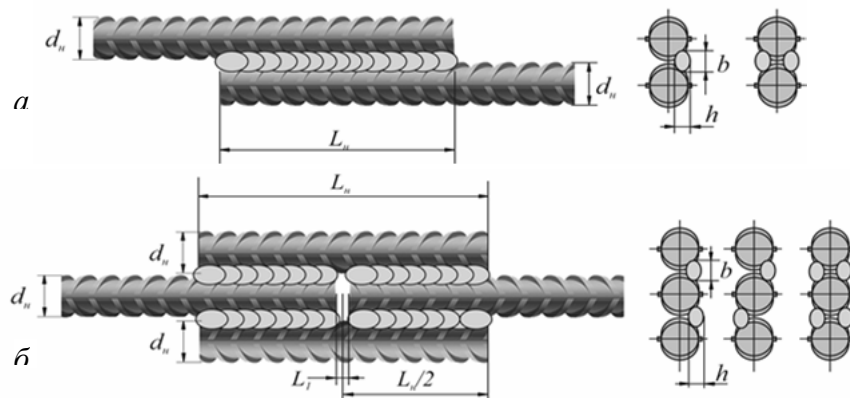


Рис. 7. Зварні з'єднання арматури, виконані РДЗ: а – напусткові типу C_{23} -Ре; б – стикові з накладками типу C_{21} -Рн

Здійснювалось механізоване зварювання в середовищі CO_2 плавким електродом на постійному струмі зворотної полярності величиною $I_{зв} = 130A$. Використовували зварювальний дріт Св-08Г2С діаметром 1,2 мм, тимчасовий опір розриву якого становить $\sigma_B = 560$ МПа, що дещо поступається границі міцності арматурних сталей класу А-III (590 МПа). Хімічний склад матеріалу електродного дроту наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Хімічний склад матеріалу електродного дроту Св-08Г2С

Марка дроту	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	S, %	P, %	Cu, %
Св-08Г2С	0,05 -0,11	1,80 -2,10	0,70 -0,95	0,20	0,25	0,010	0,015	0,20

Геометричні параметри виконуваних зварних з'єднань визначалися відповідно до [7] (табл. 5).

Таблиця 5

Геометричні характеристики зварних з'єднань

Тип з'єднання	Клас арматури	d_n , мм	L_n	L_1	b	h
C_{23} -Ре	А-III	8-14	$8d_n$	$0,5d_n$	$0,5d_n$	$0,25d_n$
C_{21} -Рн			$4d_n$			

Механічні випробування зразків зварних з'єднань на розрив проводили відповідно до ГОСТ 10922-90. Результати випробувань наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Результати натурних випробувань зварних зразків арматури

Діаметр зразків, мм	Напусткові з'єднання				Стикові з'єднання з накладками								
	Тимчасовий опір, МПа				Тимчасовий опір, МПа								
	односторонні		двосторонні		односторонні		двосторонні						
8	Руйнування по шву	367	Руйнування по ЗТВ	271	Руйнування по шву	423	Руйнування по ЗТВ	525					
									188	374	264	439	534
									178	375	259	434	516
10	Руйнування по шву	384	Руйнування по ЗТВ	275	Руйнування по шву	461	Руйнування по ЗТВ	566					
									192	392	292	479	546
									186	369	288	474	571
12	Руйнування по шву	411	Руйнування по ЗТВ	307	Руйнування по шву	505	Руйнування по ЗТВ	578					
									188	394	321	512	582
									185	408	318	489	575

За результатами механічних випробувань встановлено, що шви напусткових та стикових з'єднань, виконані з одностороннім проплавленням, не забезпечують високої міцності з'єднань. Межа витривалості таких зразків не перевищує 192...321 МПа відповідно. Руйнування зразків увесь час відбувалося по зварному шву. Низька міцність односторонніх напусткових швів під час випробування на розтяг обумовлена, очевидно, складним напруженим станом, що виникає внаслідок неспіввідповідності прикладання навантаження і, як наслідок, появи згинального моменту.

Зварювання арматури шаховими та двосторонніми швами дещо підвищило тимчасовий опір зварних з'єднань, але не дозволило досягти їх рівномірності. Так, показники міцності напусткових та стикових з'єднань арматурних стержнів у наших дослідях коливалися в межах 411...578 МПа, що дещо поступається міцності основного металу (600 МПа). Руйнування зразків відбувалося увесь час по ЗТВ і носить крихкий характер (рис. 8).

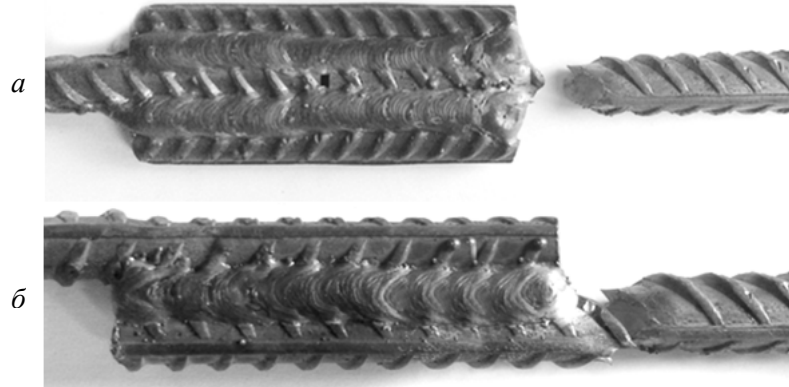


Рис. 8. Зразки зварних з'єднань арматури після натурних випробувань на розрив:
а – стикових з парними накладками; б – напусткових

Мікроструктурні дослідження металу зварного шва та ЗТВ дозволили визначити основні причини такого руйнування. Так, у результаті металографічного аналізу встановлено, що мікроструктура металу шва характеризується переважно ферито-перлітною структурою із додаванням невеликої кількості бейніту (рис. 9, а).

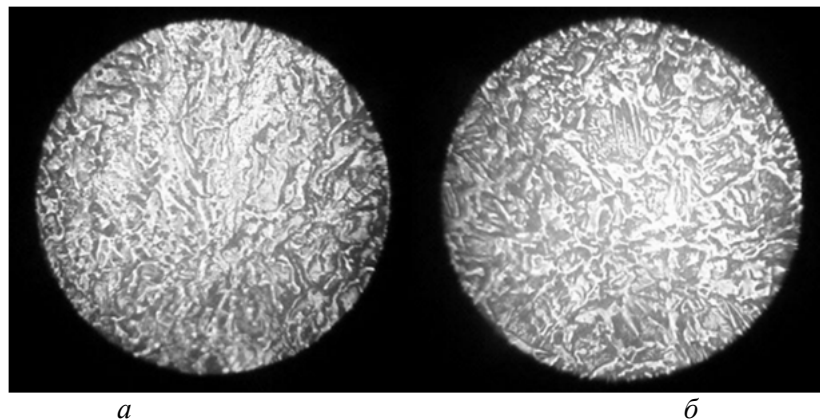


Рис. 9. Мікроструктура металу зварного шва (зварювальний дріт Св-08Г2С) (а);
зони термічного впливу (ділянка перегріву) (б)

Поява голчастих зерен мартенситу разом зі зростанням кількості бейніту, що спостерігається у структурі металу біляшовної зони (ділянки перегріву), зумовлює підвищену схильність таких з'єднань до теплової крихкості (рис. 9, б). У зв'язку з цим тривалий час ізотермічної витримки під впливом підвищених температур протягом зварювального циклу неминуче призводить до появи в ЗТВ малопластичних гартівних структур, що стають причиною знеміцнення металу на цій ділянці.

Висновки і пропозиції. Результати проведених досліджень дозволяють зробити такі висновки:

1. Експериментальним шляхом встановлено, що досліджувані зразки стержневої арматури відповідають класу міцності А-III, межа текучості яких у наших дослідях коливалася в межах 374...412 МПа, а відносно подовження не перевищувало 14 %.

2. Розрахунок вуглецевого еквівалента показав, що арматурні сталі досліджуваного класу відносяться до категорії, що важко зварюються зі схильністю до утворення кристалізаційних тріщин.

3. Проведені дослідження процесів зварювання стикових швів арматури контактним стиковим зварюванням показали, що застосування м'яких режимів під час зварювання оплавленням із попереднім підігрівом забезпечує отримання рівномірних із основним металом стикових з'єднань із межею витривалості на рівні 639...685 МПа.

4. Встановлено, що застосування відпалу після зварювання дозволяє уникнути крихких руйнувань у ЗТВ та досягти рівномірності зварних з'єднань, отриманих на жорстких режимах за рахунок перекристалізаційних процесів, що супроводжуються зниженням твердості внаслідок подрібнення зерен на цій ділянці.

5. Встановлено, що з'єднання, отримані із використанням електродугових процесів зварювання плавленням, характеризуються різкою неоднорідністю металу зварного шва і ЗТВ зі схильністю до теплової крихкості внаслідок утворення малопластичних гартівних структур. Міцність таких з'єднань не перевищує 516...578 МПа. Таким чином, підвищена чутливість арматурних сталей до зварювального нагріву висуває певні вимоги до термічного циклу зварювання, головним чином пов'язаних з усунення крихких загартованих ділянок і забезпечення однорідної структури у звареному шві і зоні термічного впливу.

Список використаних джерел

1. Врублевская В. В. Исследование прочности крестообразных соединений из стальной арматуры малых диаметров, выполненных дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа / В. В. Врублевская, А. А. Васильев, Д. М. Гурский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2013. – № 3. – С. 80–85.

2. Чвертко П. Н. Контактная стыковая сварка стержневой арматуры классов А400С-А600С при строительстве конструкций из монолитного железобетона / П. Н. Чвертко // Автоматическая сварка – 2010. – № 8. – С. 30–34.

3. Болотов М. Г. Аналітичний огляд основних причин та наслідки аварій будівель та споруд, що сталися на території України за останні п'ять років / М. Г. Болотов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 4 (69). – С. 197–204.

4. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 30 с.

5. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 21с.

6. Болотов Г. П. Ручне дугове зварювання будівельних сталей малоамперною дугою модульованим струмом / Г. П. Болотов, С. В. Олексієнко, М. Г. Болотов // Технічні науки та технології. – 2015. – № 1 (1). – С. 48–53.

7. ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. – М. : Издательство стандартов, 2014. – 19 с.

References

1. Vrublevskaia, V.V., Vasilev, A.A., Gurskii, D.M. (2013). Issledovanie prochnosti krestoobraznykh soedinenii iz stalnoi armatury malykh diametrov, vypolnennykh dugovoi svarkoi poluavtomatom v srede aktivnogo gaza [Research strength of cruciform joints of steel reinforcement of small diameter, made semi-automatic arc welding in active gas atmosphere]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Serii B. Promyshlennost. Prikladnye nauki – Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied science*, no. 3, pp. 80–85 (in Russian).

2. Chvertko, P.N. (2010). Kontaktnaia stykovaia svarka stержnevoi armatury klassov A400S-A600S pri stroitelstve konstruktsii iz monolitnogo zhelezobetona [Flesh-butt welding rod reinforcement classes A400S, A600S in the construction of reinforced concrete structures]. *Avtomaticheskai svarka – Automatic Welding*, no. 8, pp. 30–34 (in Russian).

3. Bolotov, M.G. (2013). Analitychnyi ohliad osnovnykh prychnyn ta naslidky avarii budivel ta sporud, shcho stalysia na terytorii Ukrainy za ostanni piat rokiv [Analytical report of main causes and consequences of accidents of buildings and structures on the territory of Ukraine for the past five years]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universitetu. Serii «Tekhnichni nauky» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 4(69), pp. 197–204 (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. GOST 12004-81 (1983). *Stal armaturnaia. Metodyi ispytaniya na rastyazhenie [Reinforcing steel. Methods for tensile testing]*. Moscow: Izdatelstvo standartov (in Russian).
5. DSTU 3760:2006 (2007). *Prokat armaturniy dlya zalizobetonnykh konstruksiy. Zahalni tehniczni umovi [Rent reinforcement for concrete structures. General specifications]*. Kyiv: Derzhspozhivstandart Ukrainy (in Ukrainian).
6. Bolotov, G.P., Oleksienko, S.V., Bolotov, M.G. (2015). Ruchne duhove zvaryuvannia budivelnykh stalei maloampernoju duhoiu modulovanim strumom [Hand arc welding builds steels by littleampere arc with modulation of current]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies*, no. 1 (1), pp. 48–53 (in Ukrainian).
7. GOST 14098-2014 (2014). *Soedineniia svarnye armatury i zakladnykh izdelii zhelezobetonnykh konstruksii. Tipy, konstruksii i razmery [Welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. The types and sizes of constructions]*. Moscow: Izdatelstvo standartov (in Russian).

Болотов Геннадій Павлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Болотов Геннадій Павлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Bolotov Gennady – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bolotovgp@mail.ua

Researcher ID: H-5304-2014

ORCID: orcid.org/0000-0003-0305-2917

Scopus Author ID: 6506157907

Болотов Максим Геннадійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Болотов Максим Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Bolotov Maksym – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: piligrim.83@mail.ru

Researcher ID: H-4183-2014

Scopus Author ID: 57190377278

ORCID: orcid.org/0000-0002-0915-4132

Ганєєв Тимур Рашитович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ганеев Тимур Рашитович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Hanieiev Timur – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gatavltim@ukr.net

ORCID: orcid.org/0000-0001-6037-5494

Корзаченко Микола Миколайович – викладач кафедри промислового і цивільного будівництва, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Корзаченко Николай Николаевич – преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Korzachenko Mykola – lecturer of Department of Civil and Industrial Construction, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: korzachenko_87@meta.ua

Researcher ID: F-5177-2016

ORCID: orcid.org/0000-0002-5674-8662