

МІЦНІСТЬ ХРЕСТОПОДІБНИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АРМАТУРИ КЛАСУ А500С

Юлій КЛІМОВ

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037
yuliiklymov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4275-7058>

Анотація. В роботі наведені результати експериментальних досліджень міцності хрестоподібних зварних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр за [1] термомеханічнозмцненої арматури класу А500С [2] на зріз і розміцнення при зварюванні основного стержня за [3].

Експериментальні дослідження включали в себе випробування трьох серій зразків зварних з'єднань і зразків арматури у вихідному стані. Перша серія включала в себе випробування зварних з'єднань типу К1-Кт на розміцнення основного стержня при зварюванні. У якості основного (робочого) стержня приймалася арматура Ø14А500С, а у якості поперечних – арматура Ø12А500С і Ø8А240С. Для кожного з'єднання випробовувалось по 6 зразків на нижній і верхній границях значень вуглецевого еквіваленту марочного класу сталі Ст3пс, відповідно 0,245% і 0,346%. Друга серія включала в себе випробування зварних з'єднань типу К3-Рр на розміцнення основного стержня при зварюванні. Для прямого співставлення результатів випробувань різних типів хрестоподібних зварних з'єднань, діаметр основного і поперечного стержнів, кількість зразків і значення вуглецевого еквіваленту були такими, як і у першій серії. Третя серія включала в себе випробування зварних з'єднань типу К1-Кт на зріз. У якості поздовжнього стержня приймалася арматура Ø14А500С, а якості поперечних – арматура Ø12А500С і Ø8А500С. Для кожного з'єднання випробовувалось по 12 зразків на нижній і верхній границях значень вуглецевого еквіваленту.

В результаті випробувань зразків зварних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр арматури А500С на розміцнення при зварюванні встановлено, що



Юлій КЛІМОВ
професор кафедри
залізобетонних та кам'яних
конструкцій,
д.т.н., професор

руйнування відбувається по основному стержню і у зоні теплового впливу, величина розміцнення при цьому складала для з'єднання К1-Кт до 4%, а для з'єднання типу К3-Рр - 4...10%.

Руйнування зразків зварних з'єднань типу К1-Кт арматури А500С з арматурою Ø12А500С і Ø8А240С при випробуванні на зріз, зазвичай, відбувалося у зоні теплового впливу, або ряді випадків, при наявності обох стержнів з арматури класу А500С - безпосередньо по місцю зварювання. Середнє значення міцності на зріз для вибірки з 24 зразків з'єднань арматури класу А500С з арматурою А240С склало 356,5 МПа, або 0,89 від тимчасового опору арматури у вихідному стані, при коефіцієнті варіації- 0,08 і розмаху - 107,4 МПа. Середнє значення міцності на зріз для вибірки з 24 зразків з'єднань арматури класу А500С з арматурою А500С склало 541,1 МПа, або 0,80 від тимчасового опору арматури у вихідному стані, при коефіцієнті варіації – 0,152 і розмаху – 280,0 МПа.

Ключові слова. Термомеханічнозмцнена арматура; клас А500С; хрестоподібне зварне з'єднання; міцність, зріз, розміцнення.

ВСТУП

Хрестоподібні зварні з'єднання арматури типів К1-Кт і К3-Рр [1], які виконуються, відповідно, контактним точковим зварюванням двох стержнів і дуговим ручним зварюванням прихватками, займають особливе місце і є чи не найбільш поширеними при виготовленні арматурних елементів (сіток, плоских і просторових арматурних каркасів, тощо) для збірних і монолітних залізобетонних конструкцій. При цьому, якщо хрестоподібні з'єднання типу К1-Кт є з'єднанням з нормованою міцністю, то типу К3-Рр є монтажним з ненормованою міцністю на зріз і не може застосовуватися для зварювання робочої (розрахункової) поперечної арматури конструкцій. Тим не менш, в обох випадках при застосування таких з'єднань визначальними є їх міцність на зріз і на розміщення основного (робочого) стержня арматури.

Протягом останнього двадцятиріччя основною арматурою для залізобетонних конструкцій в Україні є термомеханічнозміцнена арматура класу А500С за [2].

Однак, у жодному з чинних нормативних документів України, в яких встановлюються типи зварних з'єднань арматури [1], технічні вимоги, методи випробувань і правила приймання зварних з'єднань [3], арматура класу А500С відсутня. Тому, у існуючій будівельній практиці зварні з'єднання арматури класу А500С застосовуються без жодного нормативного забезпечення, або, в окремих випадках, керуючись Рекомендаціями [4], які розроблені більше двадцяти років тому і не є нормативним документом.

Відсутні також і будь-які технологічні матеріали з виконання зварних з'єднань арматури класу А500С, в тому числі і хрестоподібних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр.

В світлі вищенаведеного, проведення експериментальних досліджень щодо можливих видів руйнування, міцності на зріз і розміщення при зварюванні хрестоподібних зварних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр арматури класу А500С є актуальною задачею для встановлення реального стану справ і

накопичення даних для розробки відповідних нормативних документів.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА
АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Арматура класу А500С за [2] є термомеханічнозміцненою, особливістю виробництва якої є різна міцність шарів у поперечному перерізі стержня – зовнішній шар якого має більшу, а внутрішнє ядро - меншу міцність, близьку до міцності сталі у вихідному стані (без термомеханічного зміцнення). Міцність самого арматурного стержня при цьому визначається інтегральною міцністю зовнішнього шару і внутрішнього ядра [5, 6, 7].

Така неоднорідність структури термомеханічнозміцненої арматури у поперечному перерізі стержня, а також суттєвий вплив на міцність температури нагріву, яка має місце при зварюванні [8], має визначальний вплив на міцність того чи іншого типу зварного з'єднання.

Дослідженням зварюваності термомеханічнозміцненої арматури класу А500С присвячені роботи [5, 9, 10, 11, 12, 14] та інші. При цьому основна увага приділялася стиковому контактному з'єднанню арматури А500С типу С1-Ко за [1]. Зокрема у [5] встановлено суттєве зменшення від 8 до 20%, в залежності від діаметру марки сталі, міцності зварного з'єднання у порівнянні з міцністю арматури у вихідному стані, що відображає особливості поведінки термомеханічнозміцненої арматури класу А500С при нагріві у процесі зварювання.

Подібних цілеспрямованих експериментальних досліджень хрестоподібних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр за [1], які виконуються відповідно контактним точковим зварюванням двох стержнів і дуговим ручним зварюванням прихватками, до цього часу майже не проводилося. Незважаючи на те, що при виконанні таких з'єднань відбувається нагрів саме зовнішнього шару стержня, який в значній мірі впливає на міцність стержня, і при нагріві якого слід очікувати найбільшого впливу при зварюванні.

Для оцінки міцності хрестоподібних типів з'єднань арматури у [3] встановлені два види випробувань на міцність – міцність на зріз і на розміщення при зварюванні основного стержня, які були виконані в рамках цього дослідження.

Об'єкт дослідження – міцність на зріз і розміщення при зварюванні основного стержня хрестоподібних зварних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр за [1] термомеханічнозміцненої арматури класу А500С за [2].

Метою роботи є встановлення характеру руйнування, міцності на зріз і розміщення при зварюванні основного стержня хрестоподібних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр термомеханічнозміцненої арматури класу А500С.

Задачі дослідження:

- експериментально встановити характер руйнування хрестоподібних зварних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр термомеханічнозміцненої арматури класу А500С при випробуванні на зріз і розміщення при зварюванні основного стержня;

- отримати експериментальні дані щодо міцності на зріз і розміщення при зварюванні основного стержня хрестоподібних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр термомеханічнозміцненої арматури класу А500С.

Предмет дослідження.

Експериментальні дослідження включали в себе випробування хрестоподібних зварних з'єднань термомеханічнозміцненої арматури класу А500С типу К1-Кт (з нормованою міцністю) на зріз і розміщення при зварюванні основного стержня і типу К3-Рр (з ненормованою міцністю) на розміщення при зварюванні основного стержня.

Всього було випробувано три серії зразків зварних з'єднань арматури Ø14А500С з арматурою Ø12А500С і Ø8А240С зі сталі марки Ст3пс, для яких слід очікувати найбільшого впливу нагріву при зварюванні на міцність [8].

Варійованими факторами при цьому являлися вуглецевий еквівалент на рівні нижньої і верхньої границь марочного складу сталі Ст3пс, відповідно, 0,245% і 0,346%, діаметр і клас зварювальних стержнів арматури.

Перша серія включала в себе випробування зварних з'єднань типу К1-Кт на розміщення основного стержня при зварюванні. У якості основного (робочого) стержня приймалася арматура Ø14А500С, а у якості поперечного – арматура Ø12А500С і Ø8А500С. Для кожного з'єднання випробовувалось по 6 зразків при нижній і верхній границях значень вуглецевого еквіваленту.

Друга серія включала в себе випробування зварних з'єднань типу К3-Рр на розміщення основного стержня при зварюванні. Для прямого співставлення результатів випробувань різних типів хрестоподібних зварних з'єднань, діаметр основного і поперечного стержнів, кількість зразків і значення вуглецевого еквіваленту були такі ж, як і у першій серії.

Третя серія включала в себе випробування зварних з'єднань типу К1-Кт на зріз. У якості поздовжнього стержня приймалася арматура Ø14А500С, а у якості поперечного – арматура Ø12А500С і Ø8А500С. Для кожного з'єднання випробовувалось по 12 зразків при нижній і верхній границях значень вуглецевого еквіваленту.

Хрестоподібні зварні з'єднання контактним точковим зварюванням двох стержнів (К1-Кт) виконувалися на машині МТП-75, відносне значення осадки складало 0,25-0,32d (d – діаметр меншого стрижня). Сила стиску електродами приймалася згідно з рекомендаціями [4]. Температура нагріву основного (поздовжнього) стрижня при зварюванні, вимірювалась оптичним пірометром «Raunger МХ» і складала - 326⁰ С... 400⁰С.

Хрестоподібні зварні з'єднання дуговим ручним зварюванням прихватками (К3-Рр) виконувалися методом ручного дугового зварювання внапуск електродами типу УОНИ 13/55 діаметром 4 мм при зварювальному струмі 140А, катет шва становив 6 мм. Температура нагріву основного (поздовжнього) стрижня при зварюванні вимірювалась оптичним пірометром «Raunger МХ» і складала - 342⁰ С... 380⁰С.

Випробування зразків зварних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр на розміщення основного

стержня при зварюванні проводилося на розтяг за [15], а при випробування на зріз - за [3].

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати випробувань зразків арматури Ø14A500С, Ø12A500С і Ø8A240С у вихідному стані, які були проведені за [15], наведені у таблиці 1 (σ_T - межа текучості, σ_B - тимчасовий опір, δ_5 - відносне видовження після розривання).

В результаті випробувань зразків зварних з'єднань К1-Кт на розміщення основного стержня при зварюванні (перша серія) встановлено, що руйнування більшості зразків відбувається по металу основного стержня на відстані 40 ... 240 мм і 75... 240 мм від місця зварювання, відповідно, для зразків з поперечним стрижнем Ø12A500С і Ø8A240С (рис.1). Один із зразків зварного з'єднання зі стрижнем 12 А500С зруйнувався в зоні теплового впливу (рис.1а).

Розміщення металу основного стержня арматури 14 А500С у зварному з'єднанні типу К1-Кт з арматурою 12 А500С і 8А240С за результатами випробувань не перевищувало 4%, при цьому отримані розбіжності між міцністю арматури в вихідному стані і після зварювання були в межах точності випробувань (рис. 2). Значення вуглецевого еквіваленту на нижній ($C_e=0,245\%$) і верхній границях ($C_e = 0,346\%$) марочного складу сталі марки Ст3пс не впливало на величину розміщення арматури у зварному з'єднанні типу К1-Кт (рис. 2.).

Руйнування зразків зварних з'єднань типу К3-Рр на розміщення основного стержня арматури 14 А500С при зварюванні (друга серія) відбувалося, як по металу основного стержня на відстані 30... 250 мм від місця зварювання (рис. 3а, 4а), так і у зоні теплового впливу (рис.3б, 4б). Руйнування у зоні теплового впливу мало місце при арматурі поперечного стержня Ø12А500С (рис.3б) і Ø8А240С (рис.4б), а кількість таких випадків складала до 40% від загального числа

зразків. При цьому розміщення металу основного стержня складало 4...10% (рис.5) і мало місце при руйнуванні у зоні термічного впливу. Стійкого впливу вуглецевого еквіваленту на нижній ($C_e=0,245\%$) і верхній границях ($C_e = 0,346\%$) марочного складу сталі марки Ст3пс на величину розміщення арматури у зварному з'єднанні типу К3-Рр не встановлено (рис.5).

Руйнування зразків зварних з'єднань типу К1-Кт арматури Ø14А500С з арматурою Ø8А240С при випробуванні на зріз (третья серія), як правило, відбувалося у зоні теплового впливу (рис.6а). Три з двадцяти чотирьох зразків зруйнувалися по основному стержню Ø8А240С (рис.6б). Значення міцності зразків зварних з'єднань на зріз коливалося від 302,7 МПа при руйнуванні в зоні термічного впливу до 410,1 МПа при руйнуванні по основному металу основного стержня (рис.7). Середнє значення міцності на зріз для вибірки з 24 зразків складало 356,5 МПа, середнє квадратичне відхилення – 28,7 МПа, коефіцієнт варіації – 0,081, розмах – 107,4 МПа. Зниження міцності зразків зварних з'єднань, що руйнувалися у зоні термічного впливу, у порівнянні з зразками, що руйнувалися по основному металу, складало 4,4...28,3%. Стійкого впливу вуглецевого еквіваленту на нижній ($C_e=0,245\%$) і верхній ($C_e = 0,346\%$) границях хімічного складу сталі марки Ст3пс на міцність зварних з'єднань типу К1-Кт на зріз не встановлено (рис.7).

Руйнування зразків зварних з'єднань типу К1-Кт арматури Ø14А500С з арматурою Ø12А500С при випробуванні на зріз відбувалося по основному стержню Ø8А240С (2 зразки, рис.8а), у зоні теплового впливу (17 зразків, рис.8б) і безпосередньо по місцю зварювання (5 зразків, рис.8в). Значення міцності зразків зварних з'єднань на зріз коливалося від 390,5...410,8 МПа при руйнуванні по місцю зварювання до 540,1...590,6 МПа при руйнуванні в зоні теплового впливу (рис.9). Середнє значення міцності на зріз складало 541,1 МПа, середнє квадратичне відхилення – 82,1 МПа коефіцієнт варіації – 0,152, розмах – 280,0 МПа.

Зниження міцності зразків зварних з'єднань, що руйнувалися по місцю зварювання і у зоні теплового впливу, у порівнянні з зразками, що руйнувалися по основному стержню, відповідно складало 39,3...42,3% і

12,7...20,1%. Впливу вуглецевого еквіваленту в межах нижньої ($C_e=0,245\%$) і верхньої границь ($C_e = 0,346\%$) хімічного складу сталі марки Ст3пс на міцність зварних з'єднань типу К1-Кт на зріз не виявлено (рис.9).

Табл. 1. Механічні характеристики зразків арматури у вихідному стані
Table. 1 Mechanical characteristics of reinforcement bars in the initial state

№ п/п	Діаметр і клас арматури,	Марка сталі	Кількість зразків, шт.	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %
1	Ø14A500C	Ст3пс	9	629,3	688,2	19,8
2	Ø12A500C		9	615,7	675,5	18,5
3	Ø8A240C		9	270,6	397,3	28,3

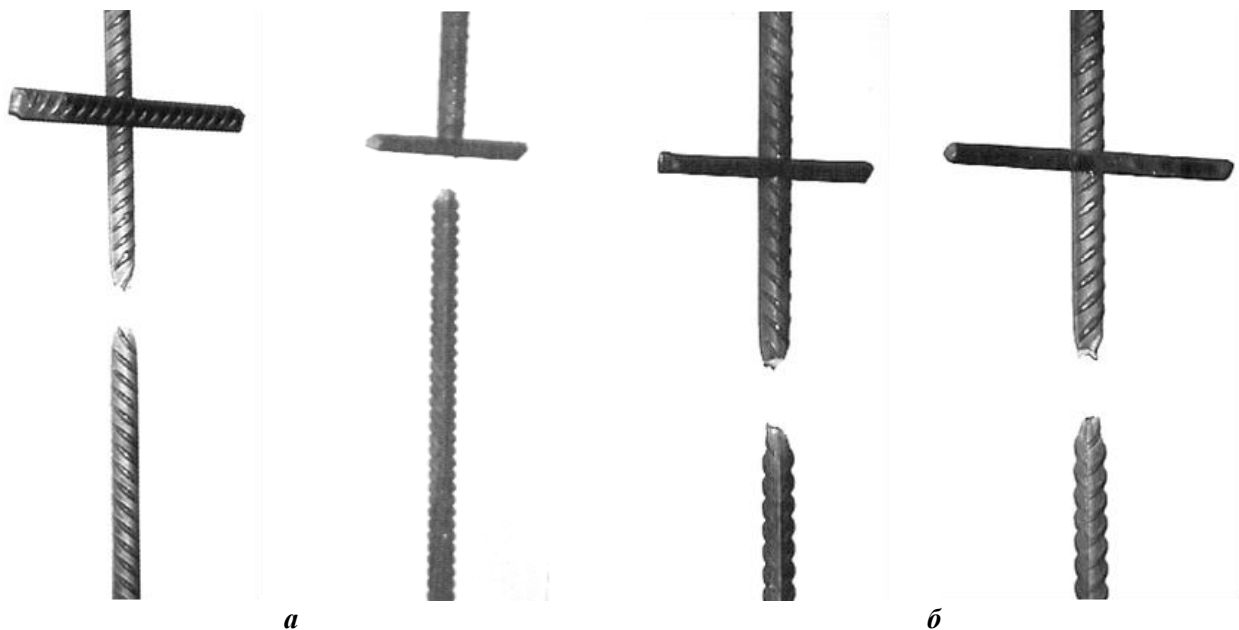


Рис. 1. Характер руйнування зварного з'єднання типу К1-Кт при випробуваннях на розміщення при зварюванні:

а - з'єднання з арматурою Ø12A500C;

б- з'єднання з арматурою Ø8A240C.

Fig. 1. The nature of the failure of the welded joint type K1-Kt test tests for softening during welding:-

a-connection with reinforcement Ø12A500C;

b-connection with reinforcement Ø8A240C.

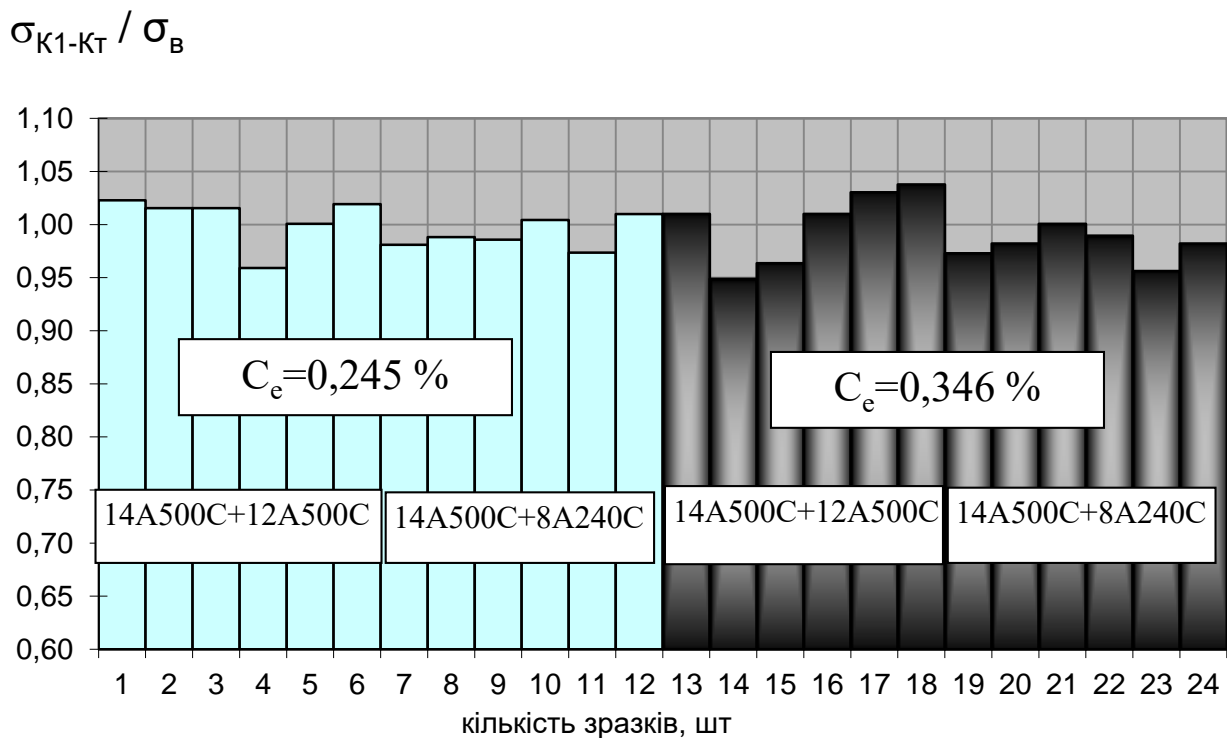
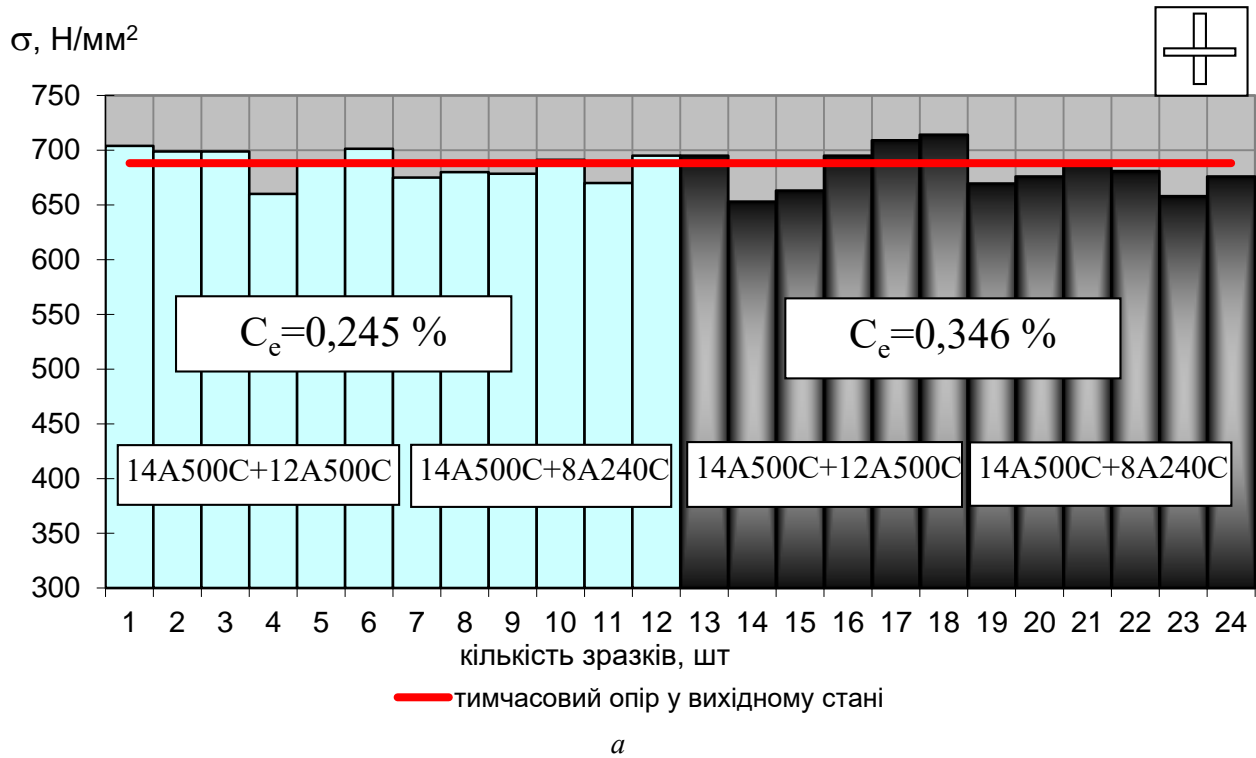


Рис. 2. Результати випробувань зварного з'єднання типу К1-Кт при випробуваннях на розміцнення при зварюванні:

a- порівняння з тимчасовим опором при розриві ;

b- відносне розміцнення арматури.

Fig. 2. Test results of the welded joint type K1-Kt in tests for hardening during welding:

a-comparison with the tensile strength;

b- relative softening of reinforcement.

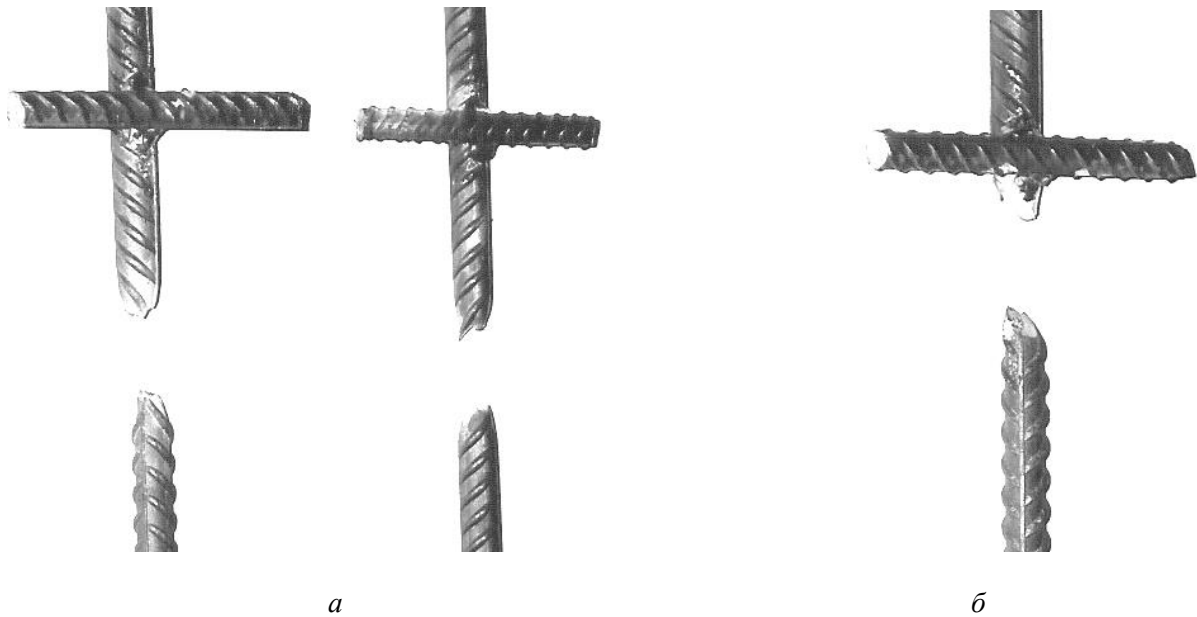


Рис. 3. Характер руйнування зварного з'єднання типу К3-Рр при випробуваннях на розміщення при зварюванні з арматурою Ø12А500С:
a - по металу основного стержня;
б- у зоні теплового впливу.

Fig. 3. The nature of the failure of the welded joint type K3-Pp during tests for hardening during welding-bath with reinforcement Ø12A500C:
a-on the metal of the main bar;
b-in zone of thermal injection

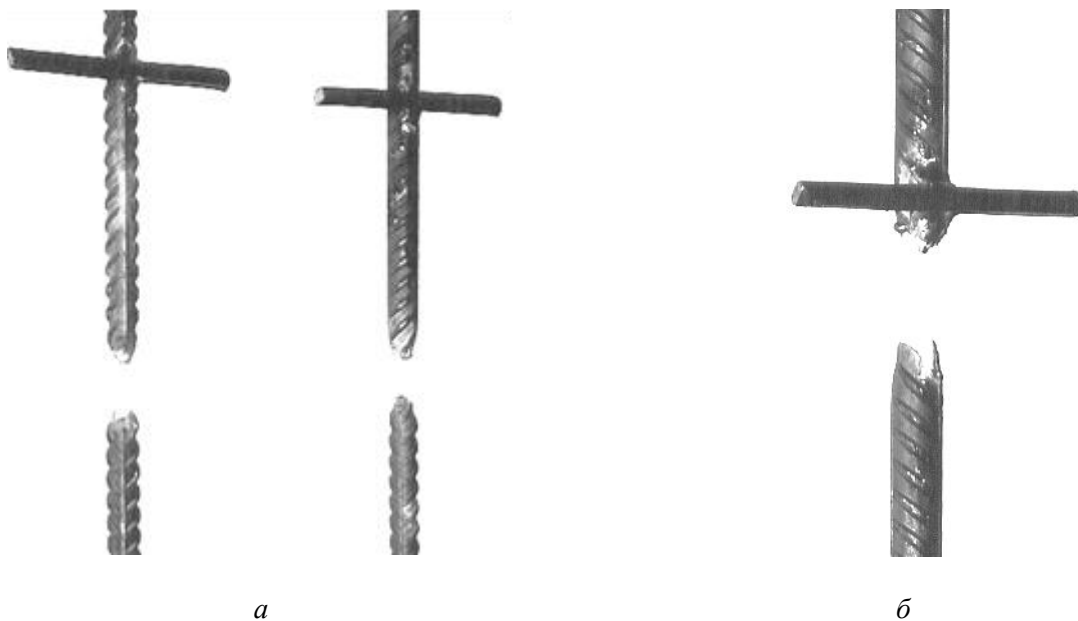
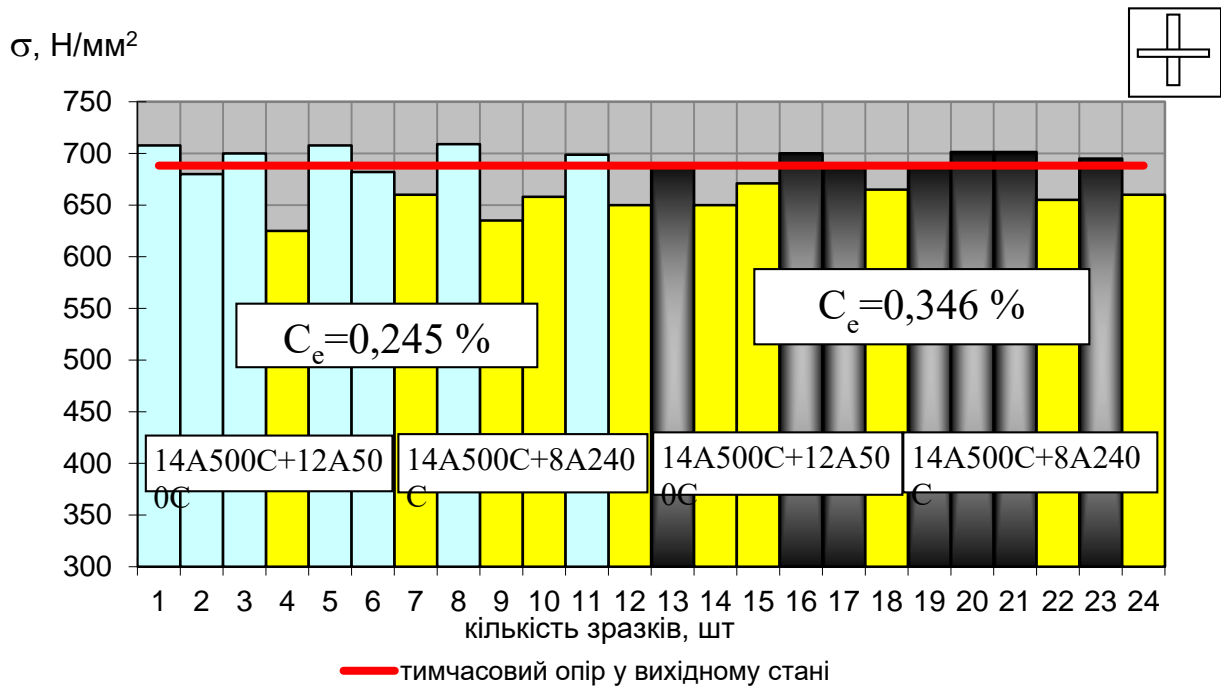
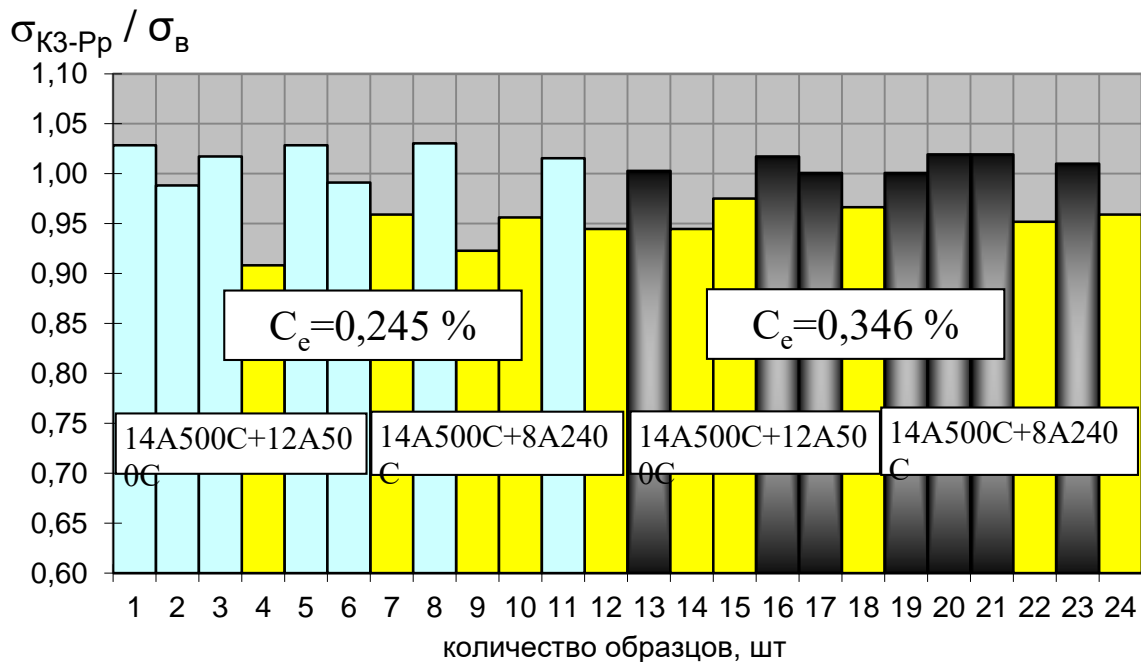


Рис. 4. Характер руйнування зварного з'єднання типу К3-Рр при випробуваннях на розміщення при зварюванні з арматурою Ø8А240С:
a - по металу основного стержня;
б- у зоні теплового впливу.

Fig. 4. The nature of the failure of the welded joint type K3-Pp during tests for hardening during welding-bath with reinforcement Ø8A240C:
a-on the metal of the main bar;
b-in zone of thermal injection



a



б

Рис. 5. Результати випробувань зварного з'єднання типу К3-Рр при випробуваннях на розміцнення при зварюванні:

а- порівняння з тимчасовим опором при розриві ;

б- відносне розміцнення арматури (жовтим кольором позначені зразки, що зруйнувалися у зоні теплового впливу).

Fig. 5. Test results of the welded joint type K3-Pp in tests for hardening during welding:

a- comparison with the tensile strength;

b- relative softening of reinforcement (yellow indicates samples that collapsed in the zone of thermal injection).

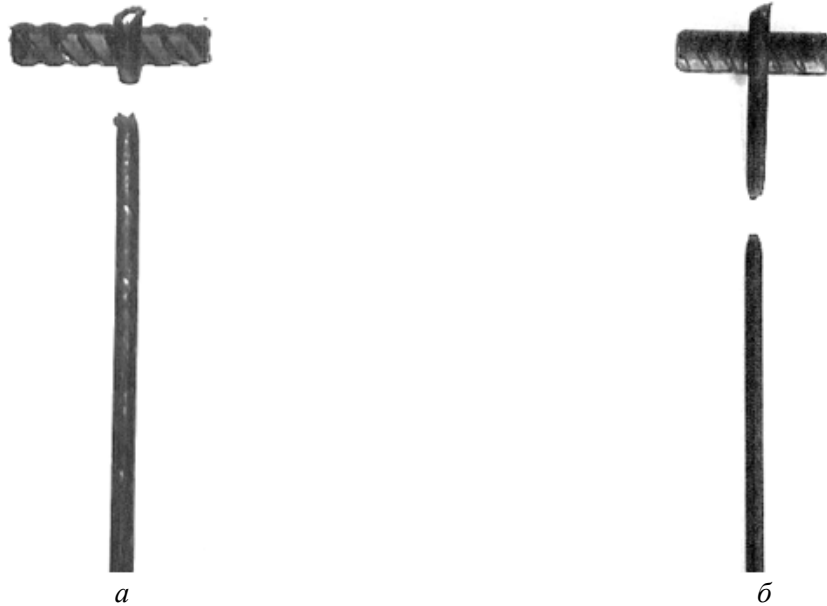


Рис. 6. Характер руйнування зварного з'єднання типу К1-Кт при випробуванні на зріз з арматурою Ø8A240С:
a - у зоні теплового впливу;
б - по металу основного стержня.

Fig. 6. The nature of the failure of welded joint type K1-Kt during tests for shear with reinforcement Ø8A240С:
a - in zone of thermal injection;
b - on the metal of the main bar.

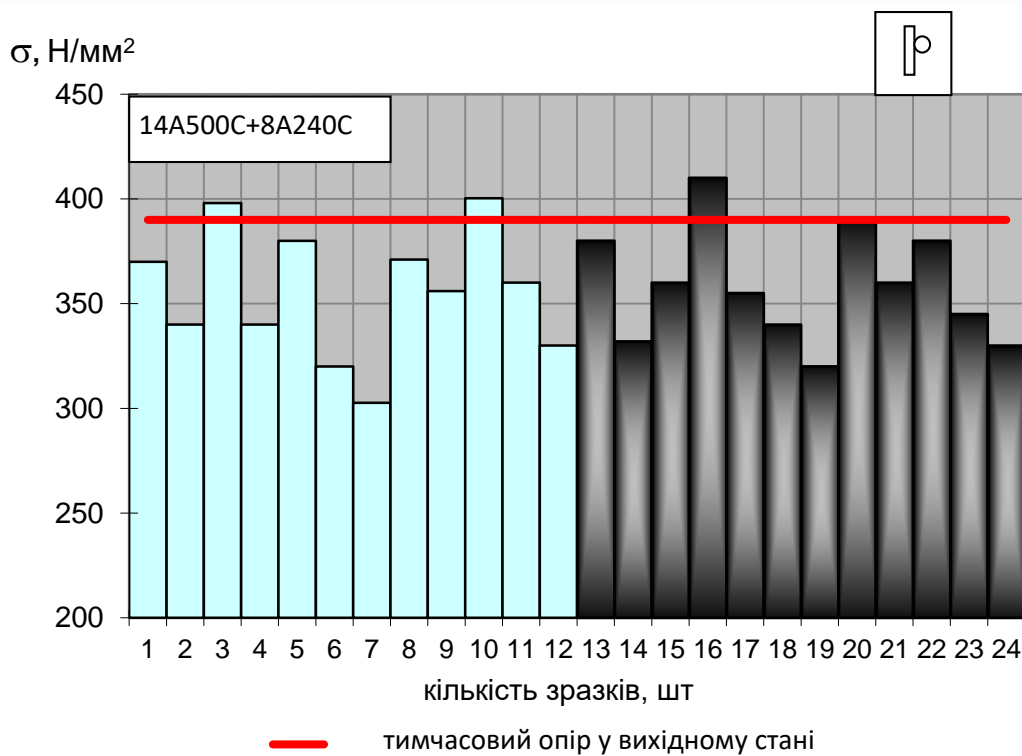


Рис. 7. Результати випробувань зварного з'єднання типу К1-Кт при випробуванні на зріз з арматурою Ø8A240С.

Fig. 7. Test results of the welded joint type K1-Kt during tests for shear with reinforcement Ø8A240С.

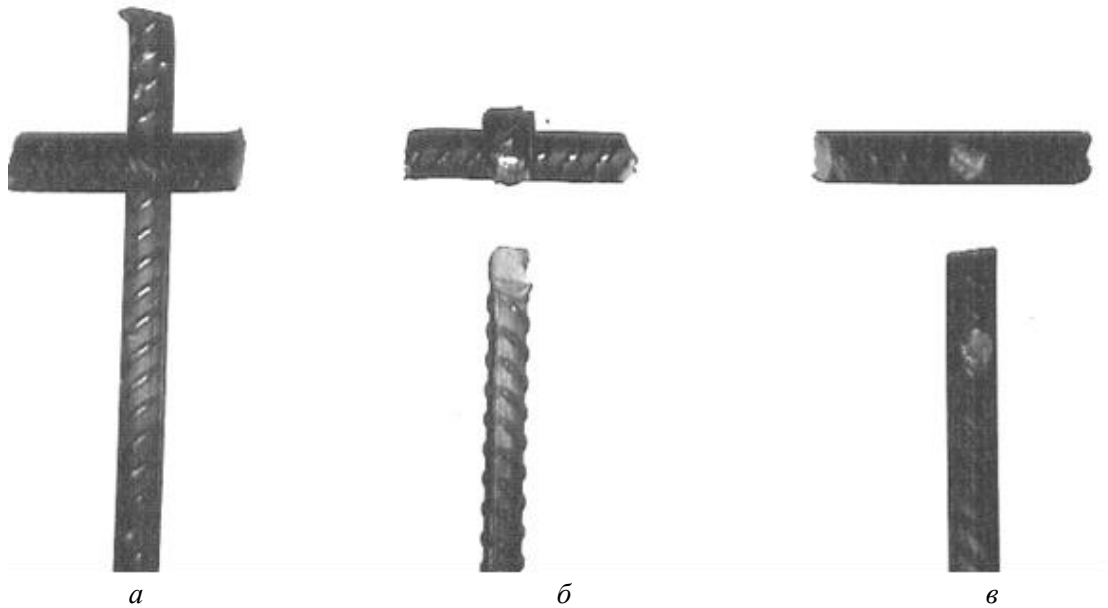


Рис. 8. Характер руйнування зварного з'єднання типу К1-Кт при випробуванні на зріз з ар-матурою Ø12A500С:

a - по металу основного стержня;

б - у зоні теплового впливу; *в* – в місці зварювання.

Fig. 8. The nature of the failure of the welded joint type K1-Kt during tests for shear with reinforcement Ø8A240C:

a - on the metal of the main bar;

б - in zone of thermal injection; *в* – at the welding site.

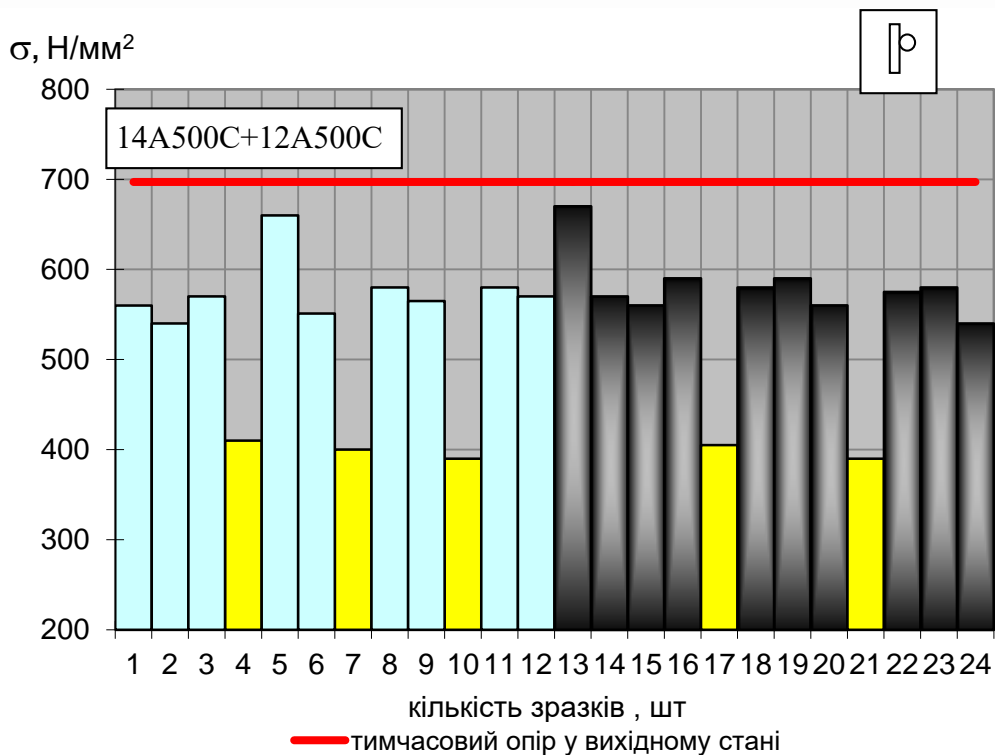


Рис. 9. Результати випробувань зварного з'єднання типу К1-Кт при випробуванні на зріз з арматурою Ø12A500С (жовтим кольором позначені зразки, що зруйнувалися по місцю зварювання).

Fig. 9. Test results of the welded joint type K1-Kt during tests for shear with reinforcement Ø12A500C (yellow indicates samples that collapsed at the welding site).

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Хрестоподібні зварного з'єднання арматури контактним точковим зварюванням двох стержнів - К1-Кт і дуговим ручним зварюванням прихватками - К3-Рр є основними з'єднаннями, які застосовуються при виготовленні сіток, плоских і просторових каркасів залізобетонних конструкцій. При цьому, найбільш відповідальним є зварне з'єднання К1-Кт, яке має забезпечити проектну міцність розрахункової поперечної арматури, що встановлюється за розрахунком за похилими перерізами, і не повинно призвести до розміцнення основної робочої поздовжньої арматури. Нормована міцність на зріз такого з'єднання має бути на рівні нормованого значення тимчасового опору відповідної поперечної арматури [3], а на розміцнення при зварюванні – не менше нормованого значення тимчасового опору основного стержня [3].

Зварне з'єднання К3-Рр, є з'єднанням з ненормованою міцністю на зріз, не може застосовуватися для зварювання поперечної розрахункової арматури, але і не повинно призводити до розміцнення основного стержня, міцність якого має бути не менше нормованого значення його тимчасового опору [3].

Арматура класу А500С за [2] є термомеханічнозміцнено зміцненою з неоднорідною структурою у поперечному перерізі стержня - зовнішній шар з більшою і ядро з меншою міцністю, що, як і очікувалось, має істотний вплив на міцності характеристики хрестоподібних зварних з'єднань типів К1-Кт і К3-Рр.

В результаті проведених експериментальних досліджень на розміцнення основного стержня при зварюванні встановлено, що руйнування зварних з'єднань К1-Кт і К3-Рр відбувається по основному стержню або у зоні теплового впливу (рис.1, 3). При цьому розміцнення основного стержня для з'єднання К1-Кт складає до 4% (рис.2), а для з'єднань К3-Рр в межах 4...10%. В обох випадках, міцність основного стержня для зразків, що були випробувані, залишається

вище нормованого значення тимчасового опору арматури класу А500С за [2] – 600,0 МПа.

Руйнування зразків зварних з'єднань типу К1-Кт арматури Ø14А500С з арматурою Ø8А240С при випробуванні на зріз відбувається в зоні теплового впливу (рис.6а) і лише окремі зразки зруйнувалися по металу основного стержня (рис.6б). Середнє значенні міцності на зріз для вибірки з 24 зразків склало 356,5 МПа, або 0,89 від тимчасового опору арматури Ø8А240С у вихідному стані, при коефіцієнті варіації 0,08 і розмаху - 107,4 МПа (рис.7). Таким чином за середнім значенням міцності на зріз (нормоване значення 390,0 МПа зварні з'єднання типу К1-Кт арматури Ø14А500С з арматурою Ø8А240С, що були випробувані, не відповідають вимогам [3].

Руйнування зразків зварних з'єднань типу К1-Кт арматури Ø14А500С з арматурою Ø12А500С при випробуванні на зріз крім руйнування у зоні теплового впливу (17 зразків, рис.8б) і по основному металу основного стержня (2 зразки, рис.8а) відбувалося також і безпосередньо по місцю зварювання (5 зразків, рис.8в). Середнє значенні міцності на зріз для вибірки з 24 зразків складало 541,1 МПа, або 0,80 від тимчасового опору арматури Ø12А500С у вихідному стані, при коефіцієнті варіації – 0,152 і розмаху – 280,0 МПа (рис.9). Таким чином, ні за середнім значенням міцності на зріз (нормоване значення 600,0 МПа), ні за величиною розмаху (нормоване значення 118,0 МПа) зварні з'єднання типу К1-Кт арматури Ø14А500С з арматурою Ø12А500С, що були випробувані, не відповідають вимогам [3].

Очевидно, проблема полягає у тому, що обидва зварювальні стержні були з термомеханічнозміцнено зміцненої арматури з неоднорідною структурою у поперечному перерізі, де контакте точкове зварювання відбувається у межах зміцненого зовнішнього шару. У меншій ступені це проявляється, коли основний стержень приймається з гарячекатаної арматури А240С (рис.6, рис.7). Так, для цієї арматури відносне значення міцності було більшим, а коефіцієнт варіації і розмах меншими, ніж при хрестоподібному

зварюванні двох стержнів арматури класу А500С.

Основним фактором, що впливає на міцність на зріз хрестоподібного зварного з'єднання арматури при контактному точковому зварюванні, є величина осадки, зі збільшенням якої міцність на зріз збільшується. Але, для термомеханічнозміцнено зміцненої арматури, збільшення величини осадки може призвести до розміщення основного поздовжнього стержня.

В світлі вищенаведеного, конче необхідним завданням подальших досліджень має стати проведення цілеспрямованих експериментальних досліджень міцності на зріз і розміщення при зварюванні хрестоподібних зварних з'єднань арматури класу А500С контактним точковим зварюванням стержнів різних діаметрів і марок сталі з подальшою розробкою рекомендацій по технології виконання таких з'єднань і внесенням змін у відповідні нормативні документи [2,3].

Для забезпечення застосування на практиці хрестоподібних зварних з'єднань арматури класу А500С контактним точковим зварюванням двох стержнів типу К1-Кт з належними характеристиками міцності на зріз, і розміщення при зварюванні, при виготовленні арматурних елементів (каркасів, сіток, тощо) слід неухильно виконувати вимоги [3] щодо методів контролю і правил приймання зазначених зварних з'єднань.

ЛІТЕРАТУРА

1. **ДСТУ-Б В.2.6-169:2011** З'єднання зварні арматури та закладних виробів залізобетонних конструкцій. Типи, конструкція та розміри. К., Мінрегіонбуд України, 2012. 37с.
2. **ДСТУ-3760:2019** Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій Загальні технічні вимоги. К., Держспоживстандарт України, 2019. 18с.
3. **ДСТУ-Б В.2.6-168:2011** Арматурні та закладні вироби зварні. З'єднання зварні арматури та закладних виробів залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. К., Мінрегіонбуд України 2012. 19с.
4. **Рекомендації** по примененію арматурного прокату по ДСТУ 3760-98 при прокатывании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры. – Киев, Госстрой Украины, 2002, - С.39.
5. **Клімов Ю.А.** Міцність стикового контакт-ного зварного з'єднання арматури класу А500С. -// Зб. наук. праць Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2022.- Випуск 10.- КНУБА.- С. 79-93.
6. **Бліхарський Я.З.** Залишковий ресурс залізобетонних конструкцій з пошкодженнями термічно-зміцненої арматури. – Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Одеса, 2021. – С.44.
7. **Blikharskyu Y.Z.** Anisotropy of the mechanical properties of thermally hardened A500s reinforcement. *Materials Science.* -2019.-Vol.55.- P/175-180.
8. **Клімов Ю.А.** Теплова зварюваність арматури класу А500С. -// Зб. наук. праць Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2017.- Випуск 1.- КНУБА.- С. 22-27.
9. **Чвертко П.Н., Горонков Н.Д., Виноградов Н.А., Самотрясов С.М., Сысоев В.Ю.** Контактная стыковая сварка арматуры железобетона в условиях стройплощадки. -*Автоматическая сварка.* — 2014. — № 3 (730). — С. 50-53.
10. **Чвертко П.Н.** Контактная стыковая сварка стержневой арматуры классов А400С–А600С при строительстве конструкций из монолитного бетона. - *Автоматическая сварка.* — 2010. — № 8 (688). — С. 30-34.
11. **Демченко Ю.В.** Перспективне встаткування для зварювання й наплавлювання арматури. – *Сварщик. Технологии. Производство. Сервис.* - 2010.-6 (76).- С.10-12.
12. **Болотов Г., Болотов М., Гансєв Т., Корзаченко М.** Оцінка несучої здатності зварних з'єднань арматури залізобетону.-*Технічні науки та технології.*-2017.- №1(7). – С.58-67.
13. **Issa C.A.** An Experimental Study of Welded Splices of Reinforcing Bars - *Building and Environment,* 2006, 41(10)- P. - 1394–1405.
14. **Apostolopoulos Ch. Alk., Michalopoulos D, Dimitrov L.** Numerical Simulation of Tensile Mechanical Behavior of Lap Welded Reinforcing Steel Bar Jointsю- *Bulgarian Journal for Engineering Design.*- November 2009.- No. 3, -P. 5-11.
15. **ДСТУ-10080:2009** Сталь для армування бетону. Зварювальна арматурна сталь. Загальні технічні вимоги (EN 10080:2005, IDT). К., Держспоживстандарт України, 2012. 43с.

REFERENSES

1. **DSTU-B V.2.6-169:2011** Zeidnaniy zvarni armatury ta zakladnich vurobiv zalazobetonuch konstruksiy. Tipy, konstruksiy ta rozmiri.- *K, Minregiobud Ukrainy.- 2012. 19c*
2. **DSTU-3760:2019** Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruksii. Zahalni tekhnichni vymohy. *K., Derzhspozhyvstandart Ukrainy 2019. 18s.*
3. **DSTU-B V.2.6-168:2011** Armaturni ta zakladni virobi zvarni. Ziednaniy zvarni armaturi ta zakladnich virobiv zalizobetonich konstruksiy. Zagalni tekhnichni umovi.- *K, Minregiobud Ukrainy.- 2012 37s.*
4. **Recommendations** for the use of steel bars according to DSTU 3760-98 when designing and manufacturing reinforced concrete structures without prestressing the reinforcement – *Kiev: State Committee for Construction, 2002 – S.39.*
5. **Климоб Ю.А.** Micnist stukovogo kontaktnogo zvarnogo zednanny armaturu klasy A500C. -// *Budivelni konstrucsii. Teotiy i praktica. – 2022.- Vipusk 10.- KNUBA.- S. 79-93.*
6. **Blikharskyy Y.Z.** Zalichkoviy resurs zalizobetonuch konstruksiy z poshkodgeniyami termichno-zmiznenoy armature. Avtoreferat dusertazii na zdobutiy naukovogo stupeniy doktora tekhnichnih nauk. – *Odesa, 2021. – S.44.*
7. **Blikharskyy Y.Z.** Anisotropy of the mechanical properties of thermally hardened A500C reinforcement. *Materials Science. -2019.-Vol.55.- P/175-180.*
8. **Chetverko P.N., Goronkov N.D., Vinogradov N.A., Samotriysov S.M., Susoev V.U.** Kontaktnay stikovaiy svarka armature zelezobetona a usloviyeh stroyploshadki. -*Avtomaticheskay svarka — 2014. — № 3 (730). — S. 50-53.*
9. **Chetverko P.N.** Kontaktnay stikovaiy svarka stergnevoy armature clasov A400C–A600C pri stroitelstve konstruksiy iz monolitnogo betona. - *Avtomaticheskay svarka. — 2010. — № 8 (688). — S. 30-34.*
10. **Demchenko U.V.** Perspektivne vstatkuvaniy dly zvaruvaniy i naplavluvaniy armaturi – *Svarchik. Technologiy. Proizvodstvo. Servis. - 2010.-6 (76).- S.10-12.*
11. **Bolotov G., Bolotov M., Ganeev T., Korzachenko M.** Ozinka nesuchoy zdatnosti zvarnich ziednan armature zalizobetonu.- *Thenichni nayki ta tehnologii.-2017.- №1(7). – C.58-67.*
12. **Issa C.A.** An Experimental Study of Welded Splices of Reinforcing Bars - *Building and Environment, 2006, 41(10).- P. 1394–1405.*
13. **Apostolopoulos Ch. Alk., Michalopoulos D, Dimitrov L.** Numerical Simulation of Tensile Mechanical Behavior of Lap Welded Reinforcing Steel Bar Joints- *Bulgarian Journal for Engineering Design.- November 2009.- No. 3, -P. 5-11.*
- 14., **Klymov Y.A.** Teplova zvaruvaniist armature clasu A500C. - *Budivelni konstrucsii. Teotiy i praktica. – 2017.- Vipusk 1.- KNUBA.- S. 22-27.*
15. **DSTU-10080:2009** Stal dlia armuvannia betonu. Zvariuvalna armatura stal. Zahalni tekhnichni vymohy (EN 10080:2005, IDT). *K., Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2012. 43s*

STRENGTH OF BUTT WELDED BUTT JOINT OF REINFORCEMENT OF CLASS A500C

Yulii KLYMOV

Summary. The paper presents the results of experimental studies of the strength of cross-shaped welded joints of types K1-K τ and K3-Pp [1] of thermomechanically hardened reinforcement of class A500C [2] for hardening during welding of the main bar [3].

Experimental studies included testing three series of samples of welded joints and reinforcement samples in the initial state. The first series included testing welded joints of type K1-K τ to strengthen the main bar during welding. Reinforcement $\varnothing 14A500C$ was accepted as the main (working) bar, and reinforcement $\varnothing 12A500C$ and $\varnothing 8A240C$ were accepted as the transverse bar. For each joints, 6 samples were tested on the lower and upper limits of the carbon equivalent values of the grade steel class C $\tau 3nc$, 0.245% and 0.346%, respectively. The second series included testing of welded joints of the K3-Pp type to strengthen the main bar during welding. To directly compare the test results of different types of cross-shaped welded joints, the diameter of the main and transverse rods, the number of samples and the σ_{eq} value of equivalent were the same as in the first series. The third series included testing welded joints of type K1-K τ for cutting. Reinforcement $\varnothing 14A500C$ was taken as a longitudinal bar, and reinforcement $\varnothing 12A500C$ and $\varnothing 8A500C$ was taken as a transverse rod. For each joints, 12 samples were tested at the lower and upper limits of the carbon equivalent values.

As a result of testing samples of welded joints of types K1-K_T and K3-Pp of reinforcement A500C for strengthening during welding, it was established that the destruction occurs along the main bar and in the zone of thermal exposure, the amount of hardening was up to 4% for the K1-K_T compound, and for the K3-Pp type connection - 4... 10%.

Failure of samples of welded joints of type K1-K_T reinforcement A500C with reinforcement Ø12A500C and Ø8A240C during the cut test usually occurred in the zone of thermal exposure, or in some cases, in the presence of both rods from reinforcement of class A500C - directly at the welding site. The average value of cut strength for a sample of 24 samples of reinforcement connections of class A500C with reinforcement A240C was 356.5 MPa, or 0.89 of the temporary resistance of the reinforcement in the initial state, with a coefficient of variation - 0.08 and a span of 107.4 MPa. The average cut strength for a sample of 24 samples of reinforcement connections of class A500C with reinforcement A500C was 541.1 MPa, or 0.80 of the temporary resistance of the reinforcement in the initial state, with a coefficient of variation - 0.152 and a span of 280.0 MPa.

The first series included fittings Ø12A500C, Ø14A500C, Ø16A500C from steel of the ST3ps brand and Ø18A500C, Ø20A500C, Ø22A500C from steel of the C_T3пс brand. A total of 278

samples of welded joints were tested. The second series included samples of C1-Co welded joints from the rest of the nomenclature of diameters and grades of steel reinforcement class A500C, namely Ø16A500C from steel grade St3ps, Ø20A500C, Ø22A500C from steel grade St3Gps and Ø25A500C, Ø32A500C, Ø32A500C, Ø32A500C. For each of the diameters, 6 samples were tested in the initial state and 6 samples of C1-Co welded joints.

It was found that the destruction of the butt contact connection type C1-Co thermomechanically reinforced reinforcement class A500C of all diameters, from 12 to 32 mm, and steel grades, takes place in the zone of thermal impact and is plastic

Experimental data on the strength of the butt contact weld type C1-Ko reinforcement class A500C for the entire range of diameters and grades of steel produced in Ukraine. It is established that the greatest degree of hardening within 19-20% takes place at diameters of armature of 12... 16 mm from steel of the C_T3пс brand, at diameters of armature of 18... 22 mm from steel of the C_T3Гпс brand of marking made 15-17%, and at diameters of 25... 32 mm from steel of the 25Г2С brand - 2,5... 8%.

Keywords. Thermomechanical hardened reinforcement; class A500C; cross-shaped welded joint; strength, cut, hardening during welding. .

Стаття надійшла до редакції 25.10.2022