

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛУ БАЛОК ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ

Приведено результати металознавчих досліджень балок тривалого зберігання. Визначено, що сталь балок відповідає вимогам норм. Балки можуть використовуватись для будівництва мостів.

*Ключові слова:* балка мобілізаційного резерву, макроструктура, спектральний аналіз, сталь 15ХСНД.

Приведены результаты исследований металлических балок длительного хранения. Определено, что сталь балок отвечает требованиям норм. Балки могут использоваться для строительства мостов.

*Ключевые слова:* балка мобилизационного резерва, макроструктура, спектральный анализ, сталь 15ХСНД.

Results of metal researches of long-term storage beams are considered. It is determined that the steel of beams meets the requirements of Norms. Their acceptability for construction of bridges is established.

*Keywords:* mobilization reserve beam, macroscopic structure, spectrum analysis, steel 15HSND

### Актуальність проблеми

Швидке зростання інтенсивності та обсягів автоперевезень в Україні, збільшення ваги автотранспортних засобів зумовлює необхідність підвищення вимог до експлуатаційної надійності транспортних споруд. Стрімке подорожчання цементу, кам'яних матеріалів сприяє ширшому використанню в нашій країні сталезалізобетонних прогонових будов, переважно для перекриття середніх, а в особливих умовах та у важкодоступних гірських районах – і малих прольотів мостів. У сталезалізобетонних прогонових будовах раціонально використовуються властивості та особливості основних будівельних матеріалів – сталі та залізобетону.

Важливим резервом металу для будівництва мостів є металеві конструкції тривалого зберігання – мостові балки мобілізаційного резерву, підкранові балки, які не були у використанні, тощо. Завдяки застосування їх для будівництва сталезалізобетонних мостів забезпечується ефективне використання наявних матеріальних ресурсів, але постає завдання технічної оцінки їхньої придатності для тривалої надійної та безпечної експлуатації.

Так, до цього часу в Україні експлуатуються мости, збудовані у післявоєнний час (1945-50 рр.) із металевих конструкцій, демонтованих із будівель та споруд. Незважаючи на значний термін експлуатації (близько 60 років), ці мости за своїми експлуатаційними якостями придатні для прийняття сучасних навантажень. Тому доцільно використовувати під час будівництва автодорожніх мостів, особливо на дорогах місцевого значення, металеві конструкції, які тривалий час не використовуються і зберігаються на складах.

Це так звані балки мобілізаційного резерву, які зберігаються на випадок надзвичайних ситуацій, не використані конструкції для заводів: підкранові балки, балки перекриттів та інші.

Аналіз літературних джерел [1, 2] свідчить про те, що сталезалізобетонні мости є досить ефективними транспортними спорудами і надалі набувають усе більшого розповсюдження. Різноманіття статичних і конструктивних схем сталезалізобетонних мостів показує можливості перекриття різних прогонів. Доцільно для влаштування прогонових будов сталезалізобетонних будов мостів використати металеві конструкції, які тривалий час зберігалися. Але використання конструкцій тривалого зберігання можливе тільки при забезпеченні надійної роботи таких конструкцій. Для визначення їх надійності необхідно виконати комплекс спеціальних досліджень. В даний час в Україні відсутні нормативні документи, які б регламентували склад і обсяг таких робіт, тому доцільно провести теоретичні і експериментальні дослідження щодо оцінювання надійності та забезпечення експлуатаційних якостей конструкцій тривалого зберігання при використанні їх для будівництва сталезалізобетонних мостів.

*Мета роботи* – за допомогою металознавчих досліджень визначити відповідність металу балок мобілізаційного резерву тривалого зберігання вимогам норм з проектування мостів.

Балки мобілізаційного резерву зберігалися на складі у м. Львові. Висота балок – 1040 мм, ширина полицок – 450 мм, їх товщина – 30 мм, товщина стінки 12 мм. Довжина балок 18530 мм, вони мають монтажний стик на накладках з об'єднанням на металевих заклепках.

## Відбирання заготовок і таврування зразків для випробувань

Заготовки для виготовлення та таврування зразків були вирізані з металоконструкцій, відповідно до вимог ГОСТ 7564 полуменим спо-

собом за допомогою газово-кисневого різача (рис. 1) з подальшою обробкою поверхонь на металорізальних верстатах. Напрямок вирізування заготовок позначено арабськими цифрами в колах (від «1» до «8»).

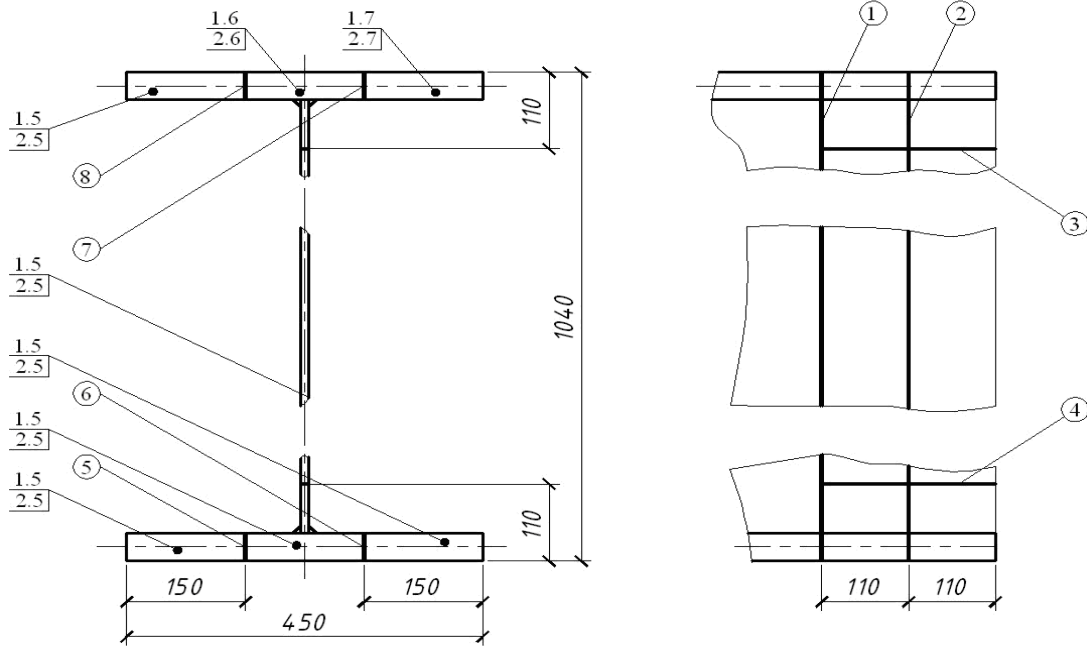


Рис. 1. Схема відбору проб та таврування заготовок для виготовлення зразків: 1.1; 2.1; 1.3; 2.3 – тавра на фрагментах із нижньої полицки; 1.5; 2.5; 1.7; 2.7 – тавра на фрагментах із верхньої полицки; 1.2; 2.2; 1.6; 2.6 – тавра на фрагментах зварних з'єднань; 1.4; 2.4 – тавра на фрагментах зі стінки

Зразки для структурних досліджень, встановлення хімічного складу і проведення механічних випробувань з метою визначення відповідності нормативним характеристикам міцності, пластичності, в'язкості та твердості таврували згідно з вимогами стандартів до місця відбирання та методиками досліджень.

### Методика макро- та мікроструктурного аналізу

Макроструктурний аналіз проводили за методикою відбитків для виявлення і встановлення характеру розташування сульфідів та фосфідів. У випадку дослідження будови зварного з'єднання застосовували також методику травлення реактивом Гейна.

Мікроструктуру зразків сталі досліджували за допомогою металографічного мікроскопа МИМ-8М за збільшення від 100 до 500 разів. Зразки для досліджень вирізали вздовж та впоперек прокатування. Неметалеві включення виявляли на полірованих зразках. Ступінь забрудненості сталі неметалевими включеннями оцінювали за еталонними шкалами (ГОСТ 1778-70). Мікроструктуру у вихідному стані та після відпалу при 950 °С 1 год. виявляли хіміч-

ним контрастуванням 4 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті. Документування мікроструктури здійснювали фотокамерою «Зенит-Е» з мікрофотонасадкою МФН-12 на фотоплівці «Микрат-200», номер зерна визначали відповідно до ГОСТ 5639.

### Методика кількісного та емісійного атомного спектрального аналізу

Кількісний емісійний атомний спектральний аналіз проводили на кварцовому спектрографі ИСП-28 з дев'ятиступінчатим послаблювачем світла та генераторі дуги ДГ-2.

Аналіз проводили за методом трьох еталонів, вимірюючи почорніння на мікрофотометрі МФ-2 для гомологічної пари ліній Mn, Si, Cr, Cu та Ni з відповідними лініями заліза (Fe):

$$\lambda_{\text{Mn}} = 2933,06 \cdot 10^{-10} \Rightarrow \lambda_{\text{Fe}} = 2933,06 \cdot 10^{-10}$$

$$\lambda_{\text{Si}} = 2506,90 \cdot 10^{-10} \Rightarrow \lambda_{\text{Fe}} = 2507,90 \cdot 10^{-10}$$

$$\lambda_{\text{Cr}} = 2677,16 \cdot 10^{-10} \Rightarrow \lambda_{\text{Fe}} = 2684,75 \cdot 10^{-10}$$

$$\lambda_{\text{Cu}} = 3273,96 \cdot 10^{-10} \Rightarrow \lambda_{\text{Fe}} = 3286,76 \cdot 10^{-10}$$

згідно з умовами, наведеними в атестаційних документах на стандартні зразки. Також аналізували наявність у складі сталей Al, Mo, Nb, V.

## Методики механічних випробувань

Випробування зразків на розтяг проводили на розривній машині УММ-5 на циліндричних пропорційних коротких зразках (тип III, № 6), виготовлених згідно з ГОСТ 1497-84

Твердість за Брінелем визначали на приладі ТШ-2. Умови проведення випробувань вибирали згідно з ГОСТ 9012-59: діаметр кульки –  $D = 5$  мм; навантаження –  $P = 7500$  Н; витримка під навантаженням  $t = 10$  с.

Твердість вимірювали на зразках для макроструктурного аналізу. Число твердості визначали, як середнє арифметичне трьох відбитків на кожному зразку.

Випробування на ударну в'язкість проводили на приладі МК-30 на зразках типу 1 згідно ГОСТ 9454.

## Результати металознавчих досліджень балок тривалого зберігання

**Макроструктурні дослідження.** Аналіз відбитків за Бауманом (рис. 2, а) показав наявність сульфідів та фосфідів в усіх зразках. Водночас у зразках полицки двотавра була виявлена ліквіація цього типу неметалевих включень – спостерігається рядкове їх розташування переважно у центральній частині полицки. У стінці двотавра розподіл сірки та фосфору рівномірний.

Зварний шов виконаний автоматичним дуговим зварюванням якісними матеріалами з

набагато меншим вмістом сірки та фосфору порівняно з основним матеріалом зварної конструкції.

Травлення реактивом Гейна (рис. 2, б) виявило непровар в корені шва, порівняно невелику зону термічного впливу та дендритну будову наплавленого металу.

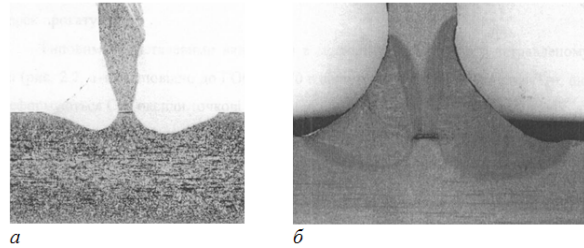


Рис. 2. Макроструктура зразків досліджуваних сталей:

а – методика Баумана (натуральна величина);  
б – травлення реактивом Гейна,  $\times 1,5$

**Мікроструктурні дослідження.** Для проведення мікроструктурних досліджень використовували зразки в стані виготовлення конструкції та після відпалу, вирізані вздовж та поперек прокатування.

Типовими неметалевими включеннями в мікроструктурі зразків у нетравленому стані (рис. 3) відповідно до ГОСТ 1778-70 є силікати пластичні СП та силікати, що не деформуються СН; оксиди точкові ОТ; сульфіди С.

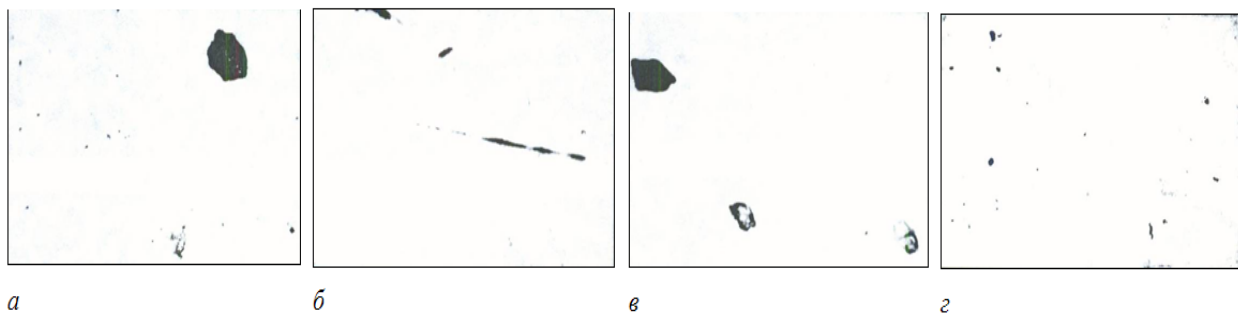


Рис. 3. Мікроструктура нетравлених зразків досліджуваних сталей:

а, в, г – силікати, що не деформуються СН та оксиди точкові ОТ,  $\times 200$ ;  
б – силікати пластичні СП,  $\times 400$ ; а, б – полицка; в, г – стінка

У стані виготовлення зварної конструкції матеріал полицки має структуру характерну для термічно поліпшеної сталі, у той час як сталь, використана для стінки – близьку до рівноважної.

Мікроструктура зразків після травлення 4 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті складається з фериту і перліту (рис. 4), відносна кількість останнього в сталях різних елементів

конструкції становить приблизно 20 % (див. рис. 4, б, г, е). За відносною кількістю перліту вміст вуглецю у сталях становить близько 0,15 %. Номер зерна у матеріалі стійки та полицки при виготовленні G7 – G8, а після відпалу G5 – G6 (полицка) і G7 – G8 (стінка) відповідно до ГОСТ 5639, мікроструктура сталі – незначно різно-зерниста (див. рис. 4, д).

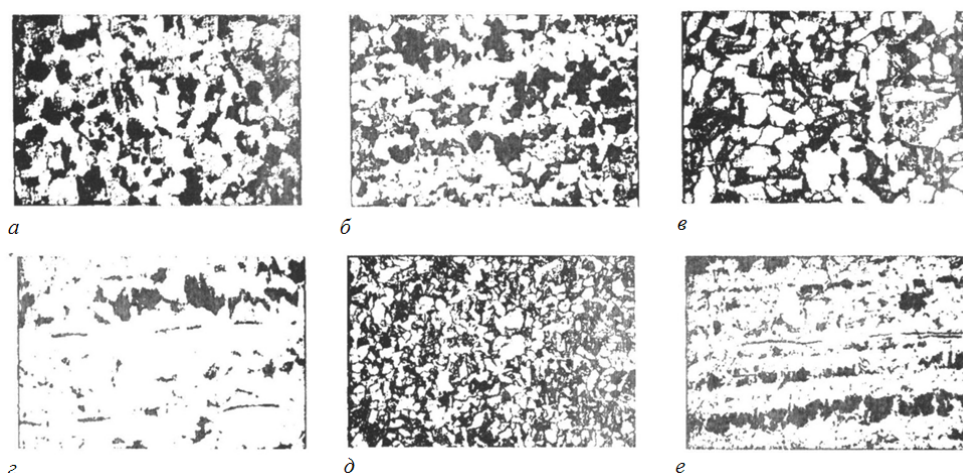


Рис. 4. Мікроструктура травлених зразків досліджуваних сталей:  
а, б – стінка; в, г, д, е – полічка; а, в, д – після виготовлення; б, г, е – після відпалу; а, б, в, г –  $\times 200$ ; д, е –  $\times 100$

**Спектральний аналіз.** Хімічний склад сталі подано у табл. 1. Вміст марганцю, кремнію та хрому встановлювали кількісним емісійним атомним спектральним аналізом.

Таблиця 1

**Хімічний склад досліджуваних сталей**

Елемент конструкції	Вміст елементів* %					
	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni
Полічка	0,15	0,80	0,75	0,85	0,20	0,40
Стінка	0,15	0,80	0,70	0,90	0,20	0,35

Примітка: «\*» – виявлені сліди алюмінію; лінії молібдену, ніобію та ванадію у спектрі досліджуваних сталей відсутні.

Хімічний склад сталі відповідає марці 15ХСНД. Проте вміст кремнію дещо перевищує передбачуваний стандартом [3].

**Механічні випробування.** Показники міцності, пластичності, в'язкості та твердості за Брінелем подано у табл. 2.

Особливістю процесу пластичного деформування усіх зразків досліджуваних сталей є незначна різниця між зусиллям текучості та тимчасового опору; особливо це характерне для матеріалу полічки.

Товстий лист, використаний для виготовлення стінки, відповідає класу міцності 390. Отримані результати механічних випробувань матеріалу полічки вказують, що для неї був використаний товстий лист після термічного поліпшення, тому показники міцності перевищують нормовані показники для різних класів міцності листового прокату [3].

При дослідженні зруйнованих ударних зразків були виявлені чіткі ознаки шаруватого типу зламу, що може бути пов'язане з рядковим розташуванням неметалевих включень (див. рис. 4, б) і обумовленою цим рядковістю структури (див. рис. 4, б, г, д, е).

Таблиця 2

**Механічні властивості досліджуваних сталей**

Елементи конструкції	Межа текучості	Межа міцності	Відносне видовження	Відносне звуження	Ударна в'язкість КСУ, Дж·см <sup>-2</sup>	Твердість НВ
	Н, мм <sup>-2</sup>		%			
Полічка	590	650	17	47	88	163
Стінка	390	530	20	55	82	143

**Технологічна зварюваність.** Технологічну зварюваність через відсутність даних про технологію їх виконання оцінювали за результатами розрахунків вуглецевого еквівалента сталей, використаних для виготовлення елементів конструкцій. Еквівалент за вуглецем розрахо-

ували на підставі результатів визначення хімічного складу сталей. У такому разі не беруться до уваги інші чинники, такі як розмір зерна фаз, спосіб варіння сталі, ступінь розкислення металу, попередня термічна обробка, технологія обробки тиском, вплив вмісту шкідливих до-

мішок, але з'являється можливість опосередкованого розрахунку показника, який враховує імовірність розтріскування у зоні термічного впливу зварного з'єднання.

Еквівалент за вуглецем розраховували за формулою [3]:

$$C_a = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{Si}{24} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}$$

Результати розрахунків вуглецевого еквівалента подані у табл. 3.

Таблиця 3

**Вуглецевий еквівалент сталей досліджуваних елементів конструкції**

Елемент конструкції	Ca
Поличка	0,503
Стінка	0,504

Наведені результати розрахунків показують, що вуглецевий еквівалент досліджуваних сталей дещо перевищує нормований параметр (0,45...0,48) для конструкційних сталей, які використовують для виготовлення металевих елементів конструкцій [4].

Збільшення величини зерна при відпалі сталей (950 °С, 1 год.) вказує, що досліджувані сталі є спадково крупнозернистими. У такому разі зростає загроза втрати в'язкості матеріалу у зоні термічного впливу.

**Висновки**

Аналізуючи результати випробувань сталей балок можна зробити такі висновки:

1. Результати хімічного аналізу та дослідження структури показують, що досліджувані сталі елементів зварних балок відповідають марці 15ХСНД, яка може використовуватись для прогонових будов автодорожніх мостів.

2. Сталь, яка використана для виготовлення поличок, має структуру та механічні власти-

вості характерні для термічно-зміцненого матеріалу. Сталь, яка застосована для стінки відповідає класу міцності 390 за ГОСТ 19281.

3. У макро- та мікроструктурі сталі поличок двотавра виявлено рядкове розташування неметалевих включень, що викликає характерний шаруватий злам при динамічних випробуваннях на згин.

4. Рядкове розташування неметалевих включень може також негативно позначитися на технологічній зварюваності і викликати шаруватий злам зварного шва. З метою підвищення якості зварного шва та забезпечення надійності зварного з'єднання слід вибрати належні матеріали та спосіб зварювання. При використанні монтажного зварного з'єднання доцільно провести його випробування.

5. Іншим можливим способом монтажного об'єднання конструкції є болтове з'єднання елементів.

6. У структурі металу балок тривалого зберігання не виявлено змін, які б мали ознаки старіння металу.

Отримані дані металознавчих досліджень дають можливість проектувати прогонові будови мостів із балок мобілізаційного резерву тривалого зберігання.

**БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Стрелецкий, Н. Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов [Текст]. – М.: Транспорт, 1981. – 360 с.
2. Гитман, Э. М. Вопросы оптимального проектирования сталежелезобетонных пролетных строений [Текст] // Исследование современных конструкций стальных мостов. – 1975. – Вып. 94. – С. 18 – 39.
3. Сталь углеродистая обыкновенного качества и легированная [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 239 с.
4. Руге, Ю. Техника сварки [Текст]: справ. изд. в 2 ч., Ч.1 Материалы / Пер. с нем. – М.: Металлургия, машиностроение, 1984. – 552 с.

Надійшла до редколегії 14.04.2011.

Прийнята до друку 28.04.2011.