
МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21

В. І. КИР'ЯН^{1*}, В. В. КНИШ^{2*}, С. А. СОЛОВЕЙ^{3*}, Г. О. ЛИННИК^{4*}

^{1*} Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ, вул. Боженка, 11, Київ, Україна, 03680, ел. пошта kiryan@paton.kiev.ua

^{2*} Відділ міцності зварних конструкцій, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ, вул. Боженка, 11, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (044) 205 23 82, ел. пошта knyshj@mail.ru

^{3*} Відділ міцності зварних конструкцій, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ, вул. Боженка, 11, Київ, Україна, 03680, тел.: +38 (044) 205 20 99, ел. пошта otchel3@mail.ru

^{4*} Департамент інженерних споруд Укрзалізниці, вул. Тверська, 5, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (044) 465 03 54, ел. пошта georgiylinnik@gmail.com

ЦИКЛІЧНА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ ШПИЛЬОК КРІПЛЕННЯ МОСТОВОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ

Мета. Для визначення умов використання приварної шпильки при будівництві та ремонті залізничних мостів провести комплекс відповідних досліджень. **Методика.** Дослідження визначення опору втомі зварних зразків зварних конструкцій здійснювалося шляхом їх втомних випробовувань при віднульовому циклічному розтягуванні. Для випробувань використані модельні зразки зварного з'єднання шпильки кріплення плит БМП з балкою таврового перерізу, а також виконано чисельний аналіз таких з'єднань. **Результати.** Приведені результати досліджень опору втомі нової конструкції кріплення залізобетонних плит безбаластного мостового полотна (БМП) залізничних мостів із застосуванням приварних шпильок. **Наукова новизна.** Показано, що дана конструкція є перспективною, але її впровадження потребує удосконалення технології зварювання та використання нових матеріалів для прокладного шару при кріпленні плит БМП. **Практична значимість.** Встановлена циклічна довговічність зварних з'єднань шпильки із сталі 09Г2С з верхнім поясом таврової балки виготовленої з маловуглецевої сталі СтЗсп та низьколегованої сталі 09Г2С, які отримані дугоконтактним зварюванням.

Ключові слова: зварне з'єднання; шпилька кріплення плит БМП; опір втомі; випробовування на втому

Вступ

Нарівні з методиками збільшення ресурсу самих зварних з'єднань, збільшення тріщиностійкості можна добитись шляхом вдосконалення конструкції мостового полотна [6]. Суттєвий вплив на довговічність прогонових будов має конструкція мостового полотна, вкладеного на прогонову будову [4]. Звісно, статичну складову тимчасового навантаження на прогонову будову конструкція мостового полотна не змінить, але певний поглинаючий динамічний ефект чи мінімальну позациентровість передачі зусилля на балки – це те, що ми можемо вимагати від тої чи іншої конструкції мостового полотна, поряд з такими параметрами, як мінімальна вартість чи зручність експлуатації. Перспективним напрямком покращення технічних характеристик споруд, що перебувають у експлуатації, є поступова заміна мостового полотна

на дерев'яному брусі мостовим полотном на залізобетонних плитах, яке має у порівнянні з останнім високу стабільність положення елементів і тривалий термін експлуатації; захищає від забруднення і корозії верхні пояси балок і в'язі між ними; є економічним за сумарною вартістю виготовлення, укладання та експлуатації протягом терміну служби мосту.

Проте, конструкція мостового полотна на залізобетонних плитах (рис. 1) не позбавлена окремих недоліків, до яких в першу чергу слід віднести недоліки вузла кріплення залізобетонної плити до сталевий балки прогонової будови.

Розташування високоміцних шпильок кріплення плити з ексцентриситетом по відношенню до вертикальної стінки поздовжньої балки обумовлює циклічні навантаження в останній від дії рухомого складу, та призводить до зародження тріщин втомі типу T_4 , T_9 .

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

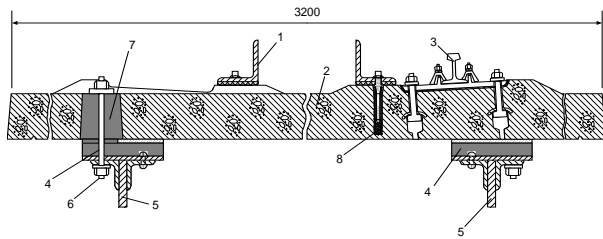


Рис. 1. Конструкція мостового полотна на залізобетонних плитах:

1 – контруктник; 2 – плита мостового полотна; 3 – колійна рейка; 4 – прокладний шар; 5 – головна або поздовжня балка; 6 – високоміцна шпилька; 7 – отвір для шпильки; 8 – полімерний дюбель із колійним шурупом

Очевидно, що розміщення шпильок для прикріплення плит безбаластного мостового полотна у площині вертикальної стінки можливе лише за умови застосування зварного з'єднання. Найбільш оптимальним для використання у зазначеній конструкції вбачається приварювання шпильок методом витягнутої дуги.

Мета

Більш доцільним з міркувань організації робіт із заміни мостового полотна у обмежене «вікно» є використання приварної шпильки, при цьому стандартні деталі кріплення залізобетонних плит не потребують переробки.

Поряд з цим даний тип зварного з'єднання відсутній у вітчизняних та зарубіжних нормативних документах по розрахунку на втому, тому для з метою визначення умов його використання при будівництві та ремонті залізничних мостів проводиться комплекс відповідних досліджень.

Методика

Дослідження визначення опору втомі зварних зразків зварних конструкцій ІЕЗ ім. Є. О. Патона здійснювалося шляхом їх втомних випробовувань при віднульовому циклічному розтягуванні. Для випробовувань використані модельні зразки зварного з'єднання шпильки кріплення плит БМП з балкою таврового перерізу розмірами 260×110×110 мм були виготовлені у відповідності з захватними пристроями випробувальної машини ЦДМ-10пу за кресленком (рис. 2) по два зразки з циліндричною (а) та призматичною (б) захватними частинами.

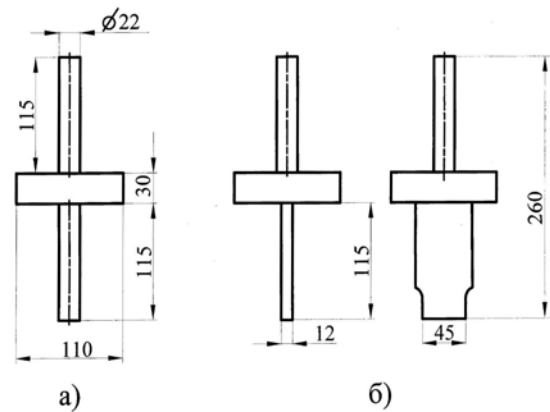


Рис. 2. Кресленок модельного зразка зварного з'єднання з циліндричною (а) та призматичною (б) захватними частинами

Шпилька для кріплення плит БМП $\phi 22$ мм з сталі 09Г2С приварювалась дугоконтактним зварюванням по центру пластини із сталі 09Г2С розмірами 110×110×30 мм, яка імітувала суцільний горизонтальний пояс зварної таврової балки. Загальний вигляд зразків представлено на рис. 3 і 4.



Рис. 3. Загальний вид зварного модельного зразка для втомних випробовувань



Рис. 4. Фото приварки шпильки кріплення плит БМП до суцільної пластини

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Встановлення опору втомі зварних з'єднань шпильки кріплення плит БМП з балкою таврового перерізу, горизонтальний пояс якої є суцільним, проводилось на модельних зразках при віднульовому циклі навантаження з максимальним зусиллям 6 тс схема навантаження модельного зразка відповідає схемі навантаження високоміцних шпильок при закріпленні плит БМП в прогонових будовах залізничних мостів, які експлуатуються, Зазначене зусилля та визначено згідно з розрахунком та підтверджено дослідженнями на натурних конструкціях для прокладного шару, який складається з дерев'яної прокладки (дубова дошка 200×40 мм) та гумової прокладки (200×8 мм). Зазначена конструкція прокладного шару, на сьогодні є основною, при будівництві та ремонті залізничних мостів залізниць України.

Втомні випробовування зварних з'єднань шпильки кріплення плит БМП з балкою таврового перерізу, горизонтальний пояс якої є суцільним при віднульовому циклічному розтягуванні виконувались на гідропульсаторній випробувальній машині ЦДМ-10пу, яка дозволяє досягати максимального зусилля в умовах змінного навантаження ± 10 тс. Фотографію зварного зразка у випробувальній машині ЦДМ-10пу під час випробовувань на втому наведено на рис. 5.



Рис. 5. Зразок зварного з'єднання у випробувальній машині ЦДМ-10пу під час випробовувань на втому

Частота випробовувань складала 5 Гц. Втомні випробовування проводили до повного руйнування зразків.

Результати

Руйнування всіх зразків відбулося по зварному з'єднанню. Результати втомних випро-

бувань приведені в табл. 1. Як видно з результатів випробувань, циклічна довговічність зразків знаходиться в межах від 759000 до 1056000 циклів змін напружень.

Таблиця 1

Результати втомних випробовувань зварних з'єднань

№ зразка	Кількість циклів до руйнування N
1	1056000
2	965800
3	835000
4	759000

Проведено фрактографічний аналіз місць руйнування зварних з'єднань шпильки кріплення плит БМП з пластиною, яка імітувала суцільний пояс балки таврового перерізу. Фотографія типових внутрішніх дефектів в зварних з'єднаннях приведено на рис.6.

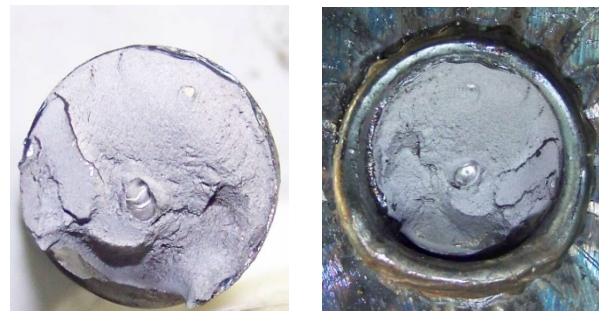


Рис. 6. Внутрішні дефекти зварювання (пори та несплавлення) в третьому зразку

Встановлені значення довговічності випробовуваних зразків (табл. 1) обумовлені наявністю в них внутрішніх дефектів, таких як пори по центру зразка та несплав по контуру. Наявність таких дефектів в зразках свідчить про можливі відхилення технологічних параметрів зварювального процесу, викликаних впливом зовнішніх чинників або недостатнім відпрацюванням технології зварювання.

При навантаженні модельного зразка з сталі 09Г2С зусиллям 6 тс максимальні напруження у робочому перерізі привареної шпильки $\varnothing 22$ мм дорівнюють 160 МПа. Таким чином, при якісній приварці шпильки $\varnothing 22$ мм напруження у робочому перерізі 160 МПа (з'єднання наванта-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

жено зусиллям 6 тс) будуть відповідати границі витривалості стикового зварного з'єднання з коефіцієнтом концентрації напружень $K_a = 1,1 \dots 1,3$ при ймовірності руйнування 50 %.

Для наочності на рис. 7 наведені результати втомних випробовувань всіх чотирьох зразків зварних з'єднань шпильки кріплення плит БМП з пластиною, яка імітувала горизонтальний пояс балки таврової перерізу. Наявність внутрішніх дефектів призводить до того, що циклічна довговічність зварних з'єднань шпильки кріплення плит БМП з пластиною при заданому максимальному прикладеному зусиллі 6 тс менше необхідної довговічності 2×10^6 циклів.

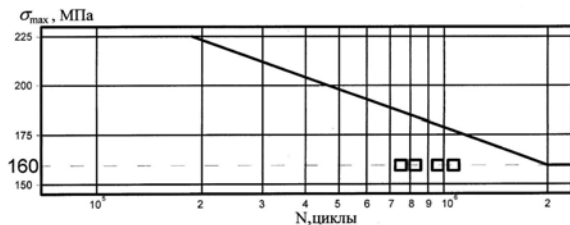


Рис. 7. Крива втомних стикових зварних з'єднань низьколегованих сталей 09Г2С і 15ХСНД при віднульовому циклічному розтягуванні [1, 2] та результати втомних випробовувань зразків зварних з'єднань шпильки кріплення плит БМП з балкою таврової перерізу, горизонтальний пояс якої є суцільним

Таким чином можна зробити висновок, що застосування приварних шпильок в прогонових будовах залізничних мостів можливе за умови зменшення напружень у робочому перерізі шпильки за рахунок збільшення діаметру шпильки та зменшення розмахів напружень за рахунок застосування інших конструкцій прокладного шару під плитою БМП.

При збільшенні діаметру шпильки з 22 мм до 24 мм, максимальні напруження у робочому перерізі знизяться з 160 МПа до 120 МПа, Розрахунковий опір втомі стикових зварних з'єднань при 95 % ймовірності їх неруйнування, згідно [1, 3], складає 114 МПа. Отже, використання приварних шпильок діаметром до 24 мм для кріплення плит БМП в прогонових будовах залізничних мостів без зменшення розмахів напружень в робочому перерізі, не забезпечить 95 % ймовірності їх неруйнування.

За даними натурних вимірів розмахи навантажень, які діють на приварну шпильку можна суттєво зменшити шляхом збільшення жорсткості прокладного шару, зокрема завдяки за-

стосуванню безусадочних скоротвердіючих сумішей.

Модельні зразки зварного з'єднання шпильки кріплення плит БМП з верхнім поясом таврової балки розмірами $260 \times 130 \times 130$ мм були виготовлені згідно з креслеником (рис. 8). У порівнянні із зразками, що досліджувались на першому етапі, діаметр шпильки збільшено до 24 мм.

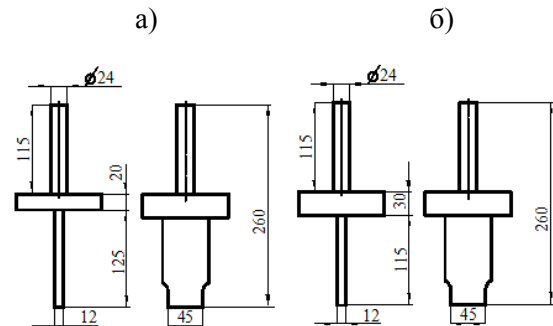


Рис. 8. Кресленки модельних зразків зварного з'єднання шпильки кріплення плит БМП з верхнім поясом таврової балки з маловуглецевої сталі Ст3сп (а) та низьколегрованої сталі 09Г2С (б)

Оскільки розмах напружень в шпильках закріплення плит БМП залежить від виду та властивостей конструкційного матеріалу прокладного шару, то випробовування на втому приварних шпильок проводили за наступною методикою.

Циклічну довговічність зварних з'єднань шпильки досліджували при різних розмахах навантажень. Максимальне прикладене навантаження для всіх розмахів навантажень складало 6 тс, що відповідало зусиллю затягування шпильок при монтажі плит БМП. Початкове мінімальне прикладене навантаження складало 0 тс, що відповідало повному розвантаженню шпильки. Втомні випробовування проводили до напрацювання 5×10^6 циклів змін напружень. Якщо при заданому розмаху навантаження відбувалось передчасне руйнування двох зразків при довговічностях менших 5×10^6 циклів, то розмах навантаження зменшували на 1 тс за рахунок збільшення мінімального навантаження. Схематичне зображення розмахів навантаження при випробовуваннях на втому приведено на рис. 9.

Втомні випробовування модельних зразків зварного з'єднання шпильки кріплення плит БМП з верхнім поясом таврової балки виконували на гідропульсаторній випробувальній ма-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

шині ЦДМ-10пу. Результати втомних випробувань приведені в табл. 2, а на рис. 10 представлена відповідна крива втоми зварних з'єднань шпильки.

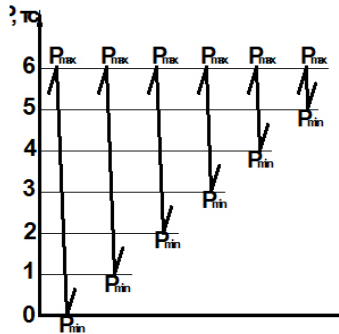


Рис. 9. Схематичне зображення розмахів навантаження при випробуваннях на втому зварних модельних зразків

Таблиця 2

Результати втомних випробувань зварних модельних зразків з маловуглецевої сталі СтЗсп

№ зразка	Характеристики циклу змінного навантаження		Кількість циклів до руйнування N
	P_{max} , тс	P_{min} , тс	
1	6	0	433500
2	6	0	371600
3	6	1	1011900
4	6	1	863000
5	6	2	1757600
6	6	2	2873300
7	6	3	>5000000
8	6	3	>5000000

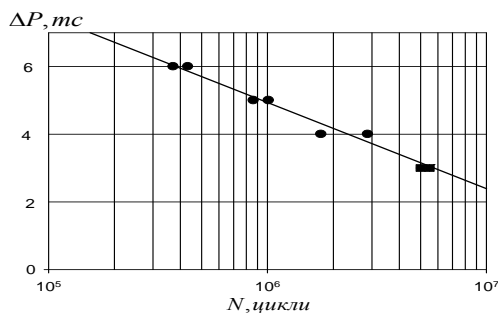


Рис. 10. Крива втоми зварних з'єднань шпильки з маловуглецевої сталі

Як видно з табл. 1 та рис. 10 циклічна довговічність випробуваних зразків перевищує значення 5×10^6 циклів змін напружень при розмахах навантажень ΔP 3 тс і нижче.

Проведено фрактографічний аналіз місць руйнування зварних з'єднань шпильки кріплення плит БМП з верхнім поясом таврової балки. Фотографії місць злому зварних з'єднань приведені на рис.11.

а)



б)



Рис. 11. Зломи зварних модельних зразків № 3 (а) та № 4 (б)

Наявність таких внутрішніх дефектів, як пори та несплавлення (див. рис. 11, б) знижує циклічну довговічність зварних з'єднань (довговічність бездефектного зразка № 3 – 1011900 циклів змін напружень, а зразка № 4 – 863000 циклів змін напружень).

За аналогічною методикою проведено втомні випробування зварних модельних зразків з низьколегованої сталі (див. рис. 1б).

Результати втомних випробувань приведені в табл. 3, а на рис. 12 представлена відповідна крива втоми зварних з'єднань шпильки.

Таблиця 3

Результати втомних випробувань зварних модельних зразків з низьколегованої сталі 09Г2С

№ зразка	Характеристики циклу змінного навантаження		Кількість циклів до руйнування N
	P_{max} , тс	P_{min} , тс	
1	6	0	782400
2	6	0	499800
3	6	1	623600
4	6	1	1326100
5	6	2	4080800
6	6	2	1062500
7	6	3	2873300
8	6	3	>5000000

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

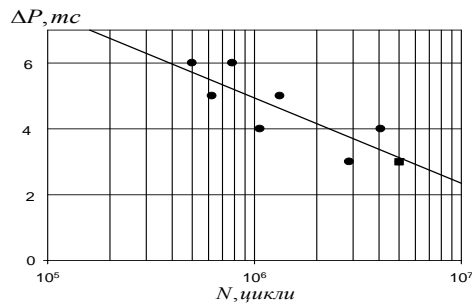


Рис. 12. Крива втоми зварних з'єднань шпильки з низьколегованої сталі

Як видно з табл. 2 та рис. 12 циклічна довговічність зразків з сталі 09Г2С має більший розкид у порівнянні з довговічністю зварних з'єднань з сталі СтЗсп і перевищує значення 5×10^6 циклів змін напружень при розмахах навантажень ΔP нижчих за 3 тс.

Проведено фрактографічний аналіз місць руйнування зварних з'єднань шпильки кріплення плит БМП з верхнім поясом таврової балки. Фотографії місць злому зварних з'єднань приведені на рис. 13.

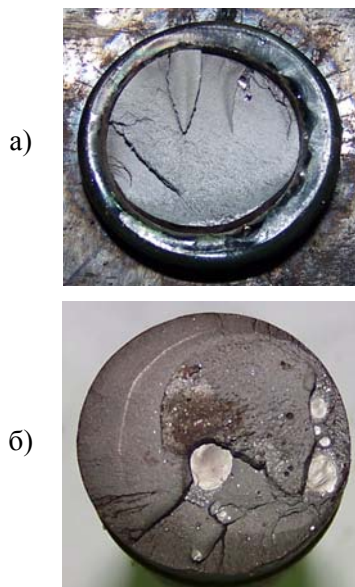


Рис. 13. Зломи зварних модельних зразків № 5 (а) та № 6 (б)

Наявність таких внутрішніх дефектів, як пори та несплавлення до 4-х разів знижує циклічну довговічність зварних з'єднань (довговічність бездефектного зразка № 5 – 4080800 циклів змін напружень, а зразка № 6 – 1062500 циклів змін напружень).

Особливості руйнування досліджених зразків як з маловуглецевої сталі СтЗсп так і з низьколегованої сталі 09Г2С вказують на необхідність подальшого відпрацювання технології зварювання шпильок кріплення плит БМП з верхнім поясом таврової балки, для отримання бездефектних зварних з'єднань.

Чисельне дослідження напружено-деформованого стану шпильки кріплення плит мостового полотна з врахуванням різних типів прокладного шару

Напружено-деформований стан елементів мостового полотна у вихідному стані та під час проходження рухомого складу залежить від прокладного шару між плитою БМП та тавровою балкою. Метою даного чисельного розрахунку було дослідження напружено-деформованого стану приварної шпильки в залежності від типу прокладного шару між плитою БМП та тавровою балкою. Тобто завдання полягало в визначенні рівнів напружень в затягнутій шпильці, які мають місце під час проходження рухомого складу. Всі чисельні розрахунки проводилися в програмному комплексі midas Civil з використанням методу скінченних елементів [2].

При проведенні чисельних досліджень були прийняті наступні положення:

- залізобетонна плита БМП мала типові геометричні розміри за [3];
- в якості прокладного шару між плитою БМП та тавровою балкою розглядалися два конструктивних рішення: транспортерна стрічка з деревиною та монолітний бетон;
- діаметр приварної шпильки 24 мм, початкове зусилля затягування 6 тс;
- осьове навантаження від залізничного транспорту 30 тс.

Досліджувалися наступні чотири прокладних шари між плитою БМП та тавровою балкою: деревина 40 мм та транспортерна стрічка 10 мм (рис. 14, а), деревина 70 мм та транспортерна стрічка 10 мм (див. рис. 14, б), монолітний бетон 40 мм (див. рис. 14, в) та монолітний бетон 70 мм (див. рис. 14, г). У всіх розрахункових схемах ширина елементів прокладного шару складала 200 мм.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

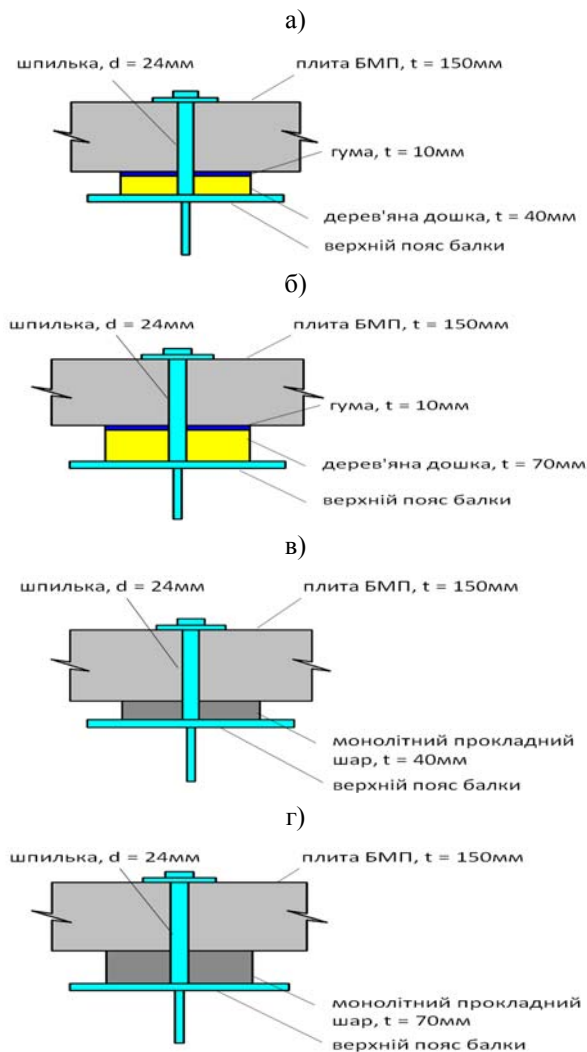


Рис. 14. Розрахункові схеми мостового полотна з різними типами прокладного шару

Для визначення розмахів напружень (навантажень) в шпильці при різних типах прокладного шару розрахункові моделі апроксимувалися скінченими елементами у вигляді чотиригранника.

Властивості матеріалу прокладного шару (складових) мостового полотна, які були прийняті в чисельному розрахунку наведено у табл. 4.

Фрагменти розрахункових моделей наведено на рис. 15. Початкове затягування шпильки із зусиллям 6 тс задавалося у вигляді переміщення на відповідну величину, що дозволило зімітувати обтискання залізобетонної плити БМП і елементів прокладного шару. При цьому зниження зусиль розтягу (розвантаження шпильки) здійснювалося за рахунок прикладання розподіленого навантаження на поверхню плити БМП від тиску колеса залізничного транспорту.

В розрахункових моделях в якості граничних умов вводилася заборона лінійних та кутових переміщень вузлів на нижній поверхні прокладного шару (рис. 16).

Проведено розрахунки напружено-деформованого стану приварної шпильки при досліджуваних (рис. 14) типах прокладного шару між плитою БМП та верхнім поясом таврової балки. На рис. 17 та рис. 18 наведені ізополі напружень в приварній шпильці у вихідному стані та під час проходження рухомого складу при прокладному шарі з транспортерної стрічки і деревини та монолітного бетону, відповідно.

Таблиця 4

Властивості матеріалів прокладного шару між плитою БМП та верхнім поясом таврової балки

Матеріал	Елемент мостового полотна	Значення модуля пружності E , МПа		Значення коефіцієнту Пуассона, ν
		Діапазон значень	Розрахункове значення	
Бетон	Плита БМП	3×10^4		0,2
Бетон	Елемент прокладного шару	3×10^4		0,2
Деревина поперек волокон	Елемент прокладного шару	500...1000*	750	0,16
Транспортерна стрічка	Елемент прокладного шару	7...14**	10	0,5
Сталь	Шпилька	$2,1 \times 10^5$		0,3

* – джерело [4]

** – джерело [4, 5]

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

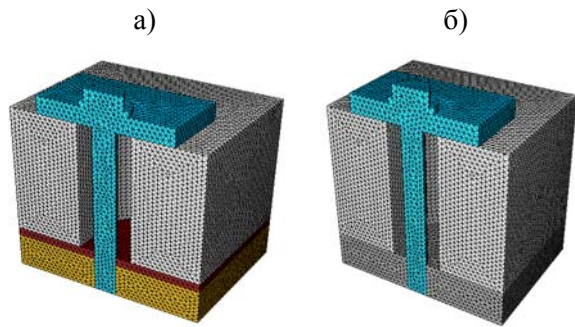


Рис. 15. Фрагменти розрахункової моделі при різних типах прокладного шару:
а – прокладний шар з деревини та транспортерної стрічки;
б – прокладний шар з монолітного бетону

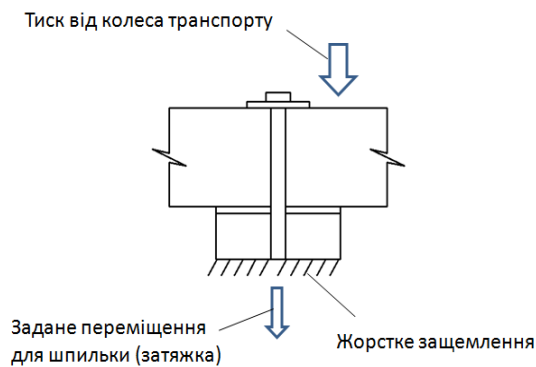


Рис. 16. Схематичне зображення граничних умов, які мали місце у розрахунковій моделі

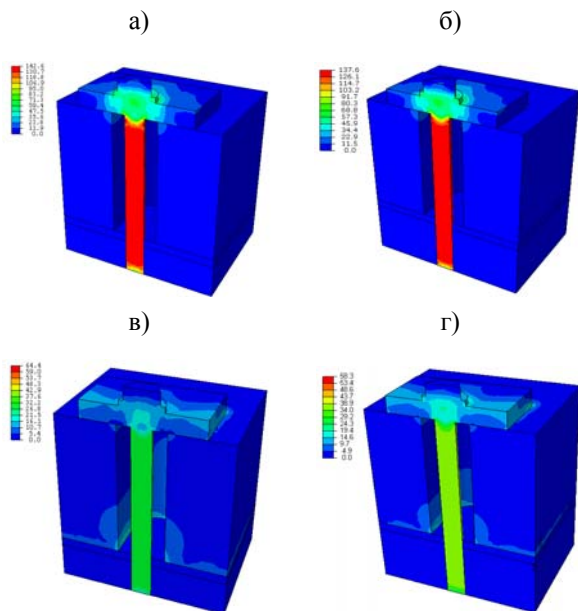


Рис. 17. Ізополя напружень в приварній шпильці у вихідному стані (а, б) та під час проходження рухомого складу (в, г):
а, в – прокладний шар з транспортерної стрічки 10 мм та деревини 40 мм; б, г – прокладний шар з транспортерної стрічки 10 мм та деревини 70 мм

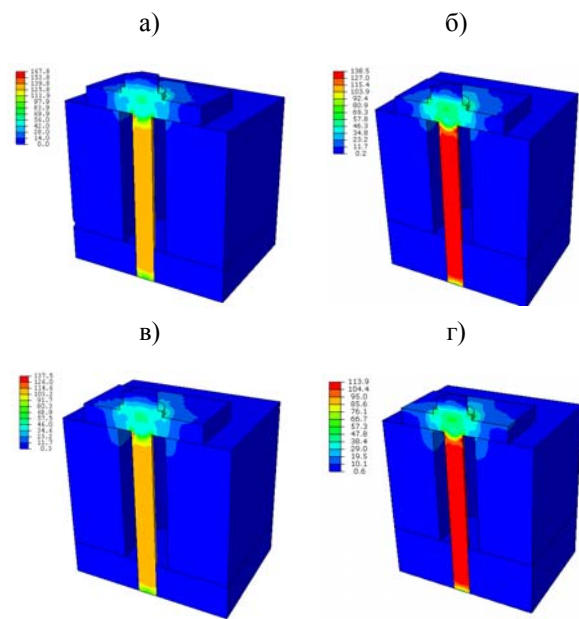


Рис. 18. Ізополя напружень в приварній шпильці у вихідному стані (а, б) та під час проходження рухомого складу (в, г):

а, в – прокладний шар з монолітного бетону 40 мм;
б, г – прокладний шар з монолітного бетону 70 мм

Як видно з рис. 17 а, б та рис. 18 а, б при затягуванні шпильки на 6 тс незалежно від прокладного шару між плитою БМП та верхнім поясом таврової балки в перерізі шпильки виникають напруження розтягу ≈ 130 МПа. Під час проходження рухомого складу напруження в шпильці зменшуються до ≈ 40 МПа при прокладному шарі з транспортерної стрічки та деревини, і до ≈ 110 МПа при прокладному шарі з монолітного бетону. При цьому із збільшенням товщини дерев'яного бруса з 40 мм до 70 мм напруження в шпильці знижуються на 7 % (див. рис. 17 в, г), а з збільшенням товщини монолітного бетону з 40 мм до 70 мм напруження в шпильці знижуються на 5 % (див. рис. 18, в, г).

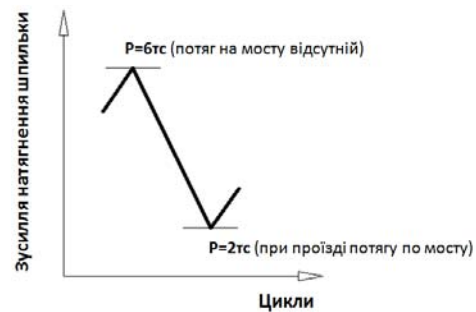


Рис. 19. Схематичне зображення розмахів навантаження в шпильці при прокладному шарі з транспортерної стрічки та деревини

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

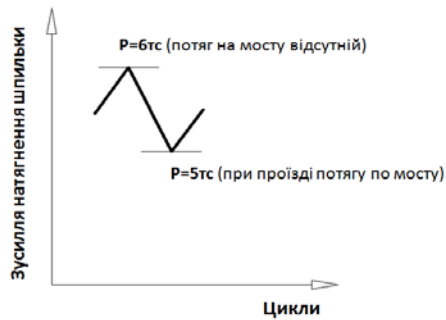


Рис. 20. Схематичне зображення розмахів навантаження в шпильці при прокладному шарі з монолітного бетону

Схематичне зображення розмахів навантаження в шпильці при двох типах прокладного шару між плитою БМП та верхнім поясом таврової балки показано на рис. 19 і 20.

Висновки

1. У результаті досліджень експериментально встановлена циклічна довговічність зварних з'єднань шпильки із сталі 09Г2С з верхнім поясом таврової балки виготовленої з маловуглецевої сталі Ст3сп та низьколегованої сталі 09Г2С, які отримані дугоконтактним зварюванням. Для забезпечення циклічної довговічності $>5 \times 10^6$ циклів змін напружень зварного з'єднання шпильки з верхнім поясом таврової балки за даною технологією необхідно, щоб розмах експлуатаційних навантажень не перевищував 3 тс (при максимальному зусиллі 6 тс).

Необхідна довговічність з'єднання забезпечується при умові його без дефектності.

2. Чисельними дослідженнями напружено-деформованого стану елементів мостового полотна у вихідному стані та під час проходження рухомого складу підтверджено, що розмах експлуатаційних навантажень в приварній шпильці суттєво залежить від прокладного шару між плитою БМП та балкою. Використання в якості прокладного шару між деревини не дозволяє забезпечити необхідну циклічну довговічність зварних з'єднань 5×10^6 циклів змін напружень (розмах навантажень в привар-

ній шпильці ≈ 4 тс). Використання в якості прокладного шару між плитою БМП та тавровою балкою монолітного бетону товщиною 40 мм або 70 мм дозволяє знизити розмах навантажень в приварній шпильці до 1 тс, що гарантовано забезпечить циклічну довговічності зварних з'єднань 5×10^6 циклів змін напружень.

3. З метою запобігання появи технологічних дефектів доцільно додатково відпрацювати технологічні параметри зварювання та їх контролю для отримання якісних зварних з'єднань приварки шпильки до верхнього поясу поздовжньої балки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Результати випробувань мостового переходу через ріку Нижня Терса на 251 км ПК6 (непарної колії) лінії Дніпропетровськ – Чаплине Придніпровської залізниці [Текст]. Мостовипробна станція ЦП. Київ, 2010.
2. Інструкція з укладання та експлуатації безбалластного мостового полотна (БМП) на залізобетонних плитах. Нормативно-технічне видання [Текст]. Київ, 2006. – 100 с.
3. Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Київ : Наук. думка, 1988. – 736 с.
4. Полимеркомпозиционный подстилающий слой под плитами безбалластного мостового полотна. Организация сотрудничества железных дорог. Памятка Р 773-11 [Текст].
5. Звіт про науково-дослідну роботу «Проведення досліджень роботи приварних шпильок кріплення безбалластного мостового полотна з урахуванням сумісності металу» [Текст].
6. Линник, Г. О. Экспериментальні дослідження несучої здатності повздовжніх балок залежно від типу мостового полотна [Текст] / Г. О. Линник, О. Л. Загора, В. В. Марочка // Зб. Теорія і практика будівництва. – Львів : НУЛП, 2010. – № 662. – с. 193-195.
7. Линник, Г. О. Дослідження місцевих деформацій бетонного прокладного шару при використанні мостового полотна на плитах БМП [Текст] / Г. О. Линник // Теорія і практика будівництва. – Львів : НУЛП, 2013. – № 662. – с. 293-296.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

В. И. КИРЬЯН^{1*}, В. В. КНЫШ^{2*}, С.А. СОЛОВЕЙ^{3*}, Г. О. ЛИННИК^{4*}

^{1*} Інститут електросварки ім. Е. О. Патона НАН України, ул. Боженко, 11, Київ, Україна, 03680, ел. пошта kiryan@paton.kiev.ua

^{2*} Отдел прочности сварных конструкций, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, ул. Боженко, 11, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (044) 205 23 82, эл. почта knyshj@mail.ru

^{3*} Отдел прочности сварных конструкций, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, ул. Боженко, 11, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (044) 205 20 99, эл. почта otde13@mail.ru

^{4*} Департамент инженерных сооружений Укрзалізничці, ул. Тверская, 5, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (044) 465 03 54, эл. почта georgiylinnik@gmail.com

ЦИКЛИЧЕСКАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ШПИЛЕК КРЕПЛЕНИЯ МОСТОВОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Цель. Для определения условий использования приварной шпильки при строительстве и ремонте железнодорожных мостов провести комплекс соответствующих исследований. **Методика.** Исследование определения сопротивления усталости сварных образцов сварных конструкций осуществлялось путем их усталостных испытаний при нулевом циклическом растяжении. Для испытаний использованы модельные образцы сварного соединения шпильки крепления плит БМП с балкой таврового сечения, а также выполнено численный анализ таких соединений. **Результаты.** Приведены результаты исследований сопротивления усталости новой конструкции крепления плит безбалластного мостового полотна (БМП) железнодорожных мостов с использованием приварных шпилек. **Научная новизна.** Показано, что данная конструкция является перспективной, но ее внедрение требует усовершенствования технологии сварки и использования новых материалов для прокладного слоя при креплении плит БМП. **Практична значимость.** Определена циклическая долговечность сварных соединений шпильки из стали 09Г2С с верхним поясом тавровой балки изготовленной из малоуглеродистой стали СтЗсп и низколегированной стали 09Г2С, которые получены дугоконтактной сваркой.

Ключевые слова: сварное соединение; шпилька крепления плит БМП; сопротивление усталости; испытание на усталость

V. I. KIRYAN^{1*}, V. V. KNYSH^{2*}, S.O. SOLOVEI^{3*}, G.O. LINNIK^{4*}

^{1*} Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, 11 Bozhenko Str., Kiev, Ukraine, 03680, e-mail: kiryan@paton.kiev.ua

^{2*} Department of toughness of welded structures, Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, 11 Bozhenko Str., Kiev, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 205 23 82, e-mail knyshj@mail.ru

^{3*} Department of toughness of welded structures, Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, 11 Bozhenko Str., Kiev, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 205 20 99, e-mail otde13@mail.ru

^{4*} Department of engineering constructions of Ukrzaliznytsia, 5 Tverska Str., Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 465 03 54, e-mail georgiylinnik@gmail.com

FATIGUE LIFE OF WELDED JOINTS STUDS BRIDGE DECK RAILWAY BRIDGE

Purpose. To determine the conditions of use of weld studs in the construction and repair of railway bridges carry out a set of relevant studies. **Methodology.** Study of determining fatigue resistance of welded specimens of welded structures carried out by their fatigue tests at zero cyclic tension. To test the model used samples of the welded joint studs BMP plates with T-section beam, and performed numerical analysis of these compounds. On the basis of the got results the graphs are built and dependences of tunnels support deformation at the substantial change of engineering and geological terms are established. **Findings.** The results of studies of fatigue resistance of the new design mounting plates ballastless bridge deck (BMP) of railway bridges with welded studs. **Originality.** It is shown that the design is promising, but its implementation needs to be improved welding techniques and the use of new materials for cushioning layer for attaching plates BMP. **Practical value.** Cal-defined cyclic durability of welded joints in steel studs 09G2S with top chord T-bar manufac-pared from low-carbon steel St3sp and low alloy steel 09G2S who received welding.

Keywords: welded joints; stud fastening plates BMP; fatigue resistance; probationer; endurance test

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна), д.т.н., проф. А. І. Лантухом-Лященко (Україна).

Надійшла до редколегії 20.09.2014.

Прийнята до друку 29.09.2014.