

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ОПОРУ ВТОМНОМУ РУЙНУВАННЮ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ БРОНЬОВИХ СТАЛЕЙ ВИСОКОЇ ТВЕРДОСТІ

О.А. Гайворонський¹, В.Д. Позняков¹, А.В. Сафінський², А.В. Завдовєєв¹, Т.О. Алексеєнко¹, В.А. Ящук¹

¹ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: paton39@ukr.net

²ДП «Житомирський бронетанковий завод». 12441, Житомирська обл., смт. Новогуївинське, вул. Дружби народів, 1
Досліджено вплив на опір втомі з'єднань броньових сталей високої твердості механічних ударних способів обробки – у порівнянні з низьким відпуском – при зварюванні високолегованими зварювальними матеріалами. Наведено результати випробувань циклічним навантаженням вигином зварних з'єднань марки броньової сталі НВ500MOD, виконаних дротом марки ХОРДА307Ті (система легування 08Х20Н9Г7Т), які додатково піддавалися низькочастотному пошаровому проковуванню наплавленого металу при зварюванні, високочастотному проковуванню зони сплавлення та прилеглого металу ЗТВ, а також дробоструменевої обробці поверхні з'єднань після їх зварювання. Встановлено, що термічний відпуск з'єднань броньової сталі з високолегованим швом не сприяє підвищенню опору втомі. Найефективнішими способами підвищення опору втомі з'єднань є механічне високочастотне проковування або їх посиленна дробоструменева обробка після зварювання. Бібліогр. 10, рис. 4.

Ключові слова: броньова сталь високої твердості, зварні з'єднання, опір втомному руйнуванню, низький відпуск, механічне низькочастотне проковування, механічне високочастотне проковування, дробоструменева обробка

Вступ. Необхідний комплекс механічних і службових властивостей броньових сталей високої твердості досягається за рахунок спеціального рівня легування елементами, що зміцнюють ферит і підвищують прогартовуваність сталі (С, Cr, Ni, Mo, V, B), та відповідною термічною обробкою – гартуванням з наступним низьким відпуском. Високі показники міцності ($\sigma_{0,2} \geq 1200$ МПа) та твердості ($HB \geq 500$) у поєднанні з порівняно підвищеними пластичними властивостями ($d_5 \geq 8\%$), забезпечують належну кулестійкість конструкцій легкоброньованої техніки (ЛБТ). До броньових сталей високої твердості відносяться вітчизняна сталь марки 71 і її закордонні аналоги марок НВ500MOD, ARMOX500, RAMOR500 та ін.

За системою легування броньові сталі високої твердості відносяться до класу середньовуглецевих легованих сталей. Зварювання зазначених сталей пов'язано з основною проблемою – високою ймовірністю утворення холодних тріщин у металі ЗТВ зварних з'єднань, що обумовлюється формуванням гартівних структур підвищеної крихкості [1, 2]. Це потребує додаткових технологічних рішень при виготовленні ЛБТ. Так, для попередження виникнення тріщин при зварюванні високолегованими матеріалами системи Mn–Si–Mo–Ti необхідно виконувати попередній підігрів зварних з'єднань, температура якого – в залежності від рівня легування сталі – може становити біль-

ше 150 °С. Якщо застосовується високолегований дріт системи Cr–Ni–Mo–Ti, то зварювання можливе без попереднього підігріву, за рахунок утворення в пришовному металі ЗТВ гартівних структур із суттєво нижчим рівнем внутрішніх напружень. Про це свідчать результати досліджень, докладно викладених у [3]. При такому варіанті зварювання в пришовній ділянці ЗТВ утворюється гартівна мартенситно-бейнітна структура металу з підвищеною здатністю до мікропластичного деформування без утворення мікротріщин. Зварюваність броньових сталей високої твердості в цьому напрямку досліджено достатньо детально та розроблено технології зварювання бронеконструкцій ЛБТ високолегованими матеріалами, які зараз застосовуються на виробництві та забезпечують високу якість зварних з'єднань.

Проте існує ще одна проблема при зварюванні високоміцних сталей. Пов'язана вона з обмеженою довговічністю та утворенням тріщин втомі в зварних з'єднаннях у процесі експлуатації виробів [4]. Особливо це стосується зварних з'єднань бронеконструкцій, які розташовані поблизу кріплень системи рушія виробу, що неодноразово спостерігалось при обстеженні цих ділянок. Зазначені тріщини розташовуються в зоні переходу від шва до основного металу і спочатку мають невеликий розмір (до 10 мм), але якщо їх своєчасно не відремонтувати, то вони в подальшому актив-

Гайворонський О.А. – <https://orcid.org/0000-0002-8146-7790>, Позняков В.Д. – <https://orcid.org/0000-0001-8581-3526>,

Завдовєєв А.В. – <https://orcid.org/0000-0003-2811-0765>, Алексеєнко Т.О. <https://orcid.org/0000-0001-8492-753X>

© О.А. Гайворонський, В.Д. Позняков, А.В. Сафінський, А.В. Завдовєєв, Т.О. Алексеєнко, В.А. Ящук, 2025

но розвиваються, з переходом на основний метал (рис. 1). За радянських часів, коли броньові сталі були нижчої твердості та менш легованими, а при зварюванні виробу ЛБТ застосувалися низьколеговані матеріали, для зниження рівня напружень і вірогідності утворення тріщин у зварних з'єднаннях при експлуатації обов'язковим було виконання низького відпуску виробу не пізніше 24 годин після його зварювання. Що стосується умов зварювання конструкцій ЛБТ високолегованими матеріалами, то доцільність виконання низького відпуску до цього часу ще остаточно не визначено. Слід також зазначити, що для здійснення цієї технологічної операції необхідно спеціалізоване габаритне устаткування, значні витрати енергії та часу. При цьому витрати на виконання низького відпуску можуть складати до 30 % загальної вартості бронеконструкцій.

На даний час відомі менш енергозатратні технологічні способи, що дозволяють підвищувати опір втомі зварних з'єднань при довготривалій експлуатації, вони науково обґрунтовані та перевірені при виготовленні цивільних металоконструкцій [5–7]. Серед них найпоширенішими є деформаційні технології, при яких за рахунок введення механічної енергії відбувається пластичне деформування ділянок зварного з'єднання та подрібнюється структура металу. Під впливом деформації можливо також суттєво зменшити залишкові напруження в зварному з'єднанні та рівень їх концентрації в зоні переходу від шва до основного металу. Всі ці позитивні зміни повинні сприяти підвищенню тріщиностійкості зварних з'єднань броньових сталей при циклічних навантаженнях і їх довговічності в цілому. До таких деформаційних технологій можна віднести способи механічної ударної обробки, серед яких найпоширенішими є низькочастотне (до 10 Гц) пошарове проковування металу шва при зва-



Рис. 1. Тріщина втомі в зварному з'єднанні виробу ЛБТ після довготривалої експлуатації

рюванні з'єднань і післязварювальне високочастотне (більше 5 кГц) проковування зони сплавлення та ділянки перегріву ЗТВ. До ударних способів можна також віднести дробоструменеву обробку металу, включаючи зварні з'єднання, яка є прийнятною технологічною операцією при виготовленні ЛБТ.

У зв'язку з цим, виконання досліджень із визначення можливості застосування енергозберігаючих технологій обробки без застосування низького відпуску для підвищення тріщиностійкості та довговічності з'єднань броньових сталей високої твердості є актуальними.

Метою даної роботи було проведення порівняльної оцінки впливу механічних ударних способів обробки зварних з'єднань броньових сталей високої твердості, при виготовленні яких застосовуються високолеговані зварювальні матеріали, на їх опір утворенню тріщин втомі. Це дозволить остаточно визначитися з доцільністю виконання низького відпуску і вибором ефективних технологічних операцій при сучасному виробництві ЛБТ для підвищення їх ресурсу експлуатації.

Матеріали та методи досліджень. В якості об'єкта досліджень використовували зварні з'єднання типової броньової сталі високої твердості марки НВ500MOD наступного складу, мас. %: 0,26 С; 0,21 Si; 0,78 Mn; 0,42 Cr; 0,74 Ni; 0,27 Mo; 0,06 V; 0,002 В. Для порівняльних випробувань підготовлювали стикові з'єднання розміром 400×480 мм завтовшки 10 мм з V-подібною формою розробки, які виконували з повним проваром і підварюванням кореня із зворотної сторони. З'єднання зварювали механізованим способом у суміші захисних газів (82 % Ar + 18 % CO₂) високолегованим дротом вітчизняного виробництва марки ХОРДА 30 7Ті (аналог дроту Св-08Х20Н9Г7Т) діаметром 1,2 мм на режимі: зварювальний струм 160...180 А, напруга на дузі 26...28 В, швидкість зварювання 12...15 м/год. При їх зварюванні попередній підігрів не застосовували. Для порівняння впливу низького відпуску, при зварюванні на аналогічних режимах низьколегованим дротом Св-10ГСМТ (технологія радянських часів) попередній підігрів металу становив 100 °С.

При підготовці зварних з'єднань до їх випробувань були застосовані наступні технологічні операції (способи) обробки:

№ 1 (базовий) – без низького відпуску з'єднання та будь-яких ударних способів обробки;

№ 2 – низький відпуск (230 °С, 3 години) через 15...20 годин після зварювання;

№ 3 – низькочастотне проковування (до 10 Гц) шарів наплавленого металу в процесі зварювання;

№ 4 – високочастотне проковування (більше 5 кГц) через 4 доби після зварювання;

№ 5 – дробоструменева обробка через 4 доби після зварювання з'єднання за прийнятою технологією виробника ЛБТ;

№ 6 – посилена додаткова дробоструменева обробка ділянки металу шва та ЗТВ вздовж зварного з'єднання.

Особливості застосування ударних способів обробки зварних з'єднань були наступними. Так, низькочастотне пошарове проковування наплавленого металу виконували в процесі зварювання з'єднань після їх охолодження до температури 100...50 °С. Оскільки товщина металу складала 10 мм і зварювання стикового з'єднання виконувалося у три шари, то проковували тільки 2-й шар шва (до зміни характеру малюнку поверхні наплавленого металу на 70...90 %). Кореневий та останній шари були без проковування, як це рекомендовано при використанні даного способу. Для реалізації процесу проковування застосовували звичайний електромеханічний інструмент із діаметром на вістрі бійка 3...5 мм. При цьому швидкість обробки поверхонь шарів шва становила 100 мм за 1 хв.

Високочастотне (понад 5 кГц) проковування виконували на поверхні зони сплавлення та прилеглого металу ЗТВ зварного з'єднання, ширина обробленої ділянки становила 2,0...2,5 мм. При цьому використовували спеціалізований інструмент за розробленими рекомендаціями щодо застосування цього способу [7, 8]. Швидкість переміщення інструмента при проковуванні становила 1 мм/с. При цьому на ділянці обробки утворювалась характерна канавка округлої форми завглибшки 0,3 мм.

Дробоструменева обробка є технологічною операцією при виготовленні виробів ЛБТ на спеціалізованих підприємствах, що обов'язково виконується вже на готовому виробі перед його

фарбуванням. У нашій роботі дробоструменеву обробку зварних з'єднань виконували в умовах ДП «ЖБТЗ» із використанням обладнання та технології обробки, що застосовуються в серійному виробництві. При цьому діаметр дробу становив 2...3 мм. Обробку дробом проводили з лицьової та зворотної сторін по всій поверхні зварених пластин за звичайною технологією (№ 5) та при посиленій додатковій обробці саме поверхні стику з'єднання (№ 6). При цьому швидкість обробки становила 100 мм за 1 хв.

Потім з кожного стикового з'єднання, підготовленого зазначеним способом (№№ 1–6), вирізали по 3 зразки розміром 480×120 мм, які випробували при консольному згинанні за симетричного циклічного навантаження з максимальними напруженнями циклу 60 МПа відповідно до загальноприйнятих методів випробувань на довговічність зварних з'єднань [9, 10]. Для цього використовували спеціалізовану машину для випробування на опір втомі типу УМП-1. Частота циклічного навантаження становила 14 Гц. Критерієм оцінки була кількість циклів навантаження (N), за яких у зварному з'єднанні утворювалась критична тріщина втомі завдовжки 3 мм. Якщо характерних ознак тріщини протягом 2 мільйонів циклів не було виявлено, навантаження зупинили і це було показником найліпшої опірності зварних з'єднань до утворення тріщин втомі.

Металографічні дослідження зварних з'єднань виконували з використанням світлової мікроскопії (Versamet-2, Neophot-32), мікротвердість вимірювали на мікротвердомірі Leco M-400.

Результати досліджень та їх обговорення. Узагальнені результати порівняльних випробувань зварних з'єднань на втому при циклічному навантаженні вигином представлені на рис. 2. Слід зазначити, що при всіх розглянутих варіантах зварювання та обробок тріщини втомі зароджувались в

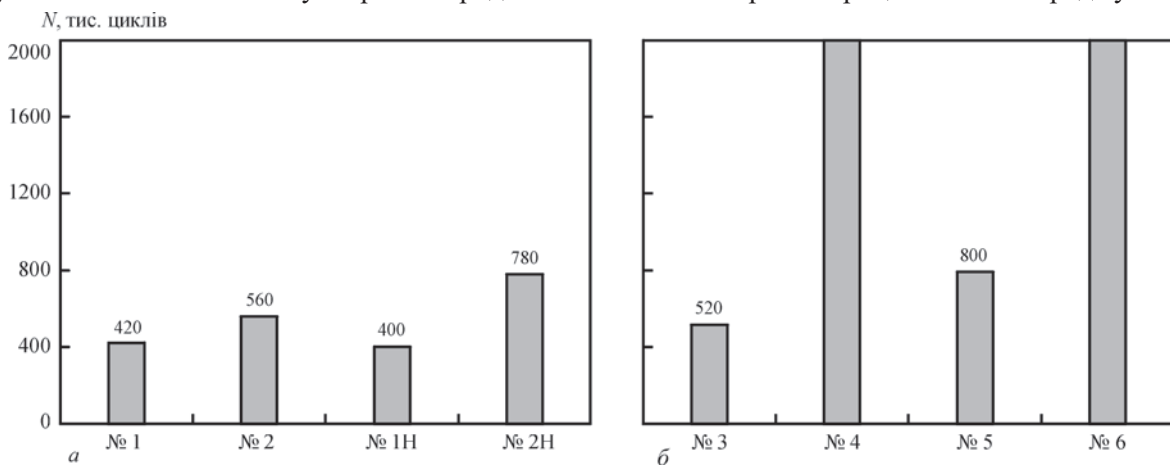


Рис. 2. Опірність зварних з'єднань броньової сталі HB 500 MOD до утворення тріщин втомі, виконаних дротом ХОРДА 307 Ті та дротом Св-10ГСМТ (позначка Н), №№ 1–6 – способи обробки: а – вплив низького відпуску; б – вплив ударних способів обробки

місці переходу від шва до основного металу та в подальшому розвивалися вглиб зварного з'єднання в металі ЗТВ (рис. 3).

Як видно з наведених даних на рис. 2, а, низький відпуск з'єднань з високолегованим швом, який виконувався після вилежування зразків протягом 15...20 год (№ 2), несуттєво впливає на підвищення їх довговічності. Кількість циклів навантажень до утворення тріщин втоми збільшилась на 30 % (з 420000 до 560000 відповідно), а при зварюванні низьколегованим матеріалом (№ 2Н) показник підвищився майже в 2 рази (з 400000 до 780000 циклів). У вихідному стані без термічної обробки довговічність з'єднань при зварюванні високо- і низьколегованими матеріалами приблизно однакова (№ 1 і № 1Н). Дещо більша опірність, приблизно на 5 %, до утворення тріщин втоми з'єднань, виконаних дротом ХОРДА 307 Ті, пов'язана з особливостями формування загартованої структури в металі ЗТВ при застосуванні високолегованого дроту.

Незначне підвищення опору до втомного руйнування зварних з'єднань сталі з високолегованим

швом пов'язано, на нашу думку, з окрихчуванням зони сплавлення при термічному відпуску внаслідок розвитку процесів дифузії вуглецю. Сформовані крихкі прошарки невеликі за розміром (до 5 мкм) (рис. 4), але їх наявність достатня для зниження опірності металу до утворення тріщин втоми під дією зовнішнього навантаження.

Пошарове проковування наплавленого металу в процесі зварювання сприяло підвищенню довговічності з'єднання всього на 25 %. Кількість циклів до утворення тріщин втоми збільшилась з 420 до 520 тис. (№ 1 та № 3). Слід, однак, врахувати, що при зварюванні високолегованими матеріалами даний спосіб обробки може застосовуватися з метою зниження деформацій у з'єднаннях і збереження геометричних розмірів бронеконструкції.

Найбільший вплив на підвищення довговічності зварних з'єднань броньової сталі НВ 500 MOD з високолегованим швом спричинило високочастотне проковування ділянки зони сплавлення та прилеглого металу ЗТВ. При цьому тріщина втоми у зварному з'єднанні не утворювалась навіть при навантаженні 2 млн циклів і більше (при 3 млн циклів випробування припиняли).

Металографічними дослідженнями встановлено, що структура зварних швів броньової сталі у вихідному стані є аустенітно-феритною, з мікротвердістю в центрі шва $HV = 2210...3660$ МПа. У металі ділянки перегріву ЗТВ формується бейнітно-мартенситна (Б-М) структура з мікротвердістю $3360...4640$ МПа та розміром пакетів $40...200$ мкм. Структура в основному металі також Б-М, але нижчої твердості ($3220...4010$ МПа) і більш дисперсна ($25...70$ мкм). Після високочастотного проковування в прилеглий ділянці шва, що була деформована, підвищується мікротвердість металу в середньому у 1,2 рази (до $3360...4210$ МПа). Спостерігається подрібнення структури до $10...30$ мкм. Аналогічні зміни відбулися й на ділянці перегріву ЗТВ. На глибині до

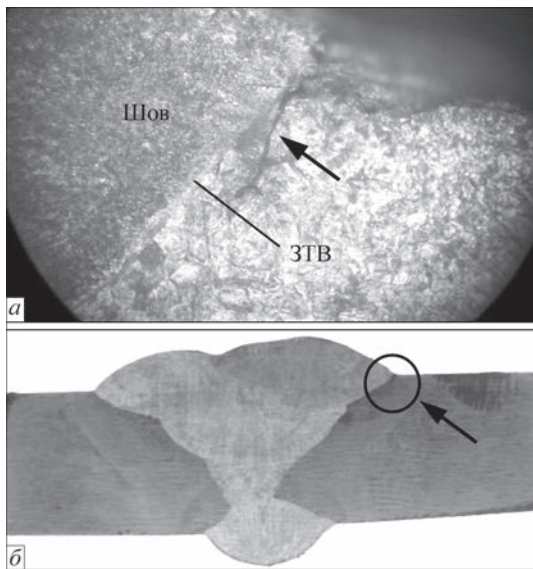


Рис. 3. Типове утворення та розвиток тріщини втоми (а, $\times 100$) у зварних з'єднаннях (б) броньової сталі НВ 500 MOD

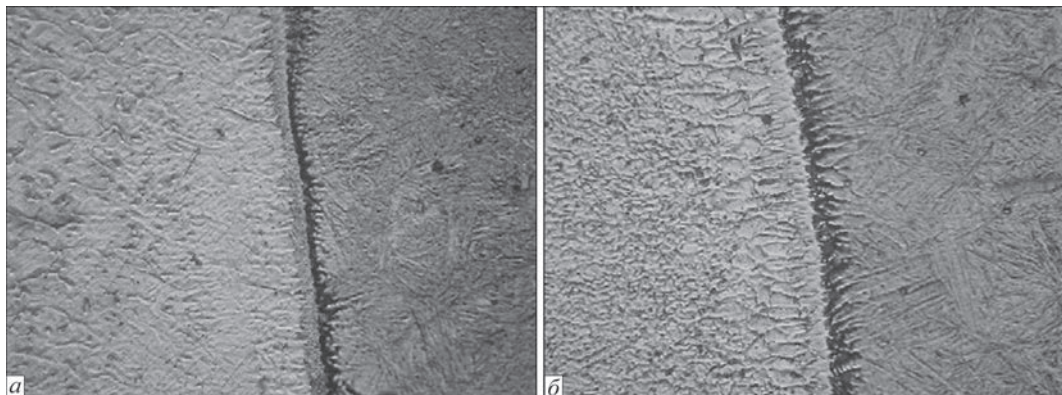


Рис. 4. Типова зона сплавлення в зварних з'єднаннях сталі НВ 500 MOD з високолегованим швом ($\times 500$): а – у середній частині з'єднання; б – у верхній частині з'єднання

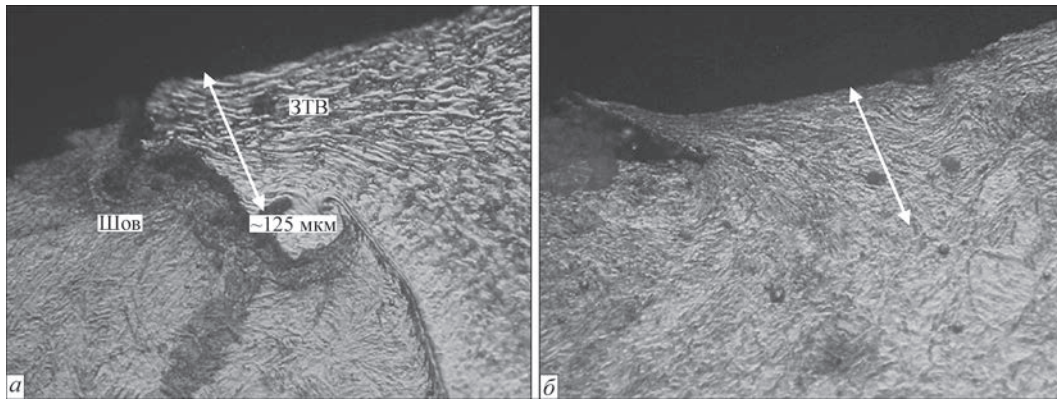


Рис. 5. Зміни в структурі металів шва і ЗТВ (а) після високочастотного проковування по лінії сплавлення зварного з'єднання та в основному металі (б) ($\times 500$)

125 мкм розмір пакетів становить вже 25...50 мкм (зменшення в 4 рази), а мікротвердість підвищується до 4640...5520 мкм. Типові зміни в структурі металу після високочастотного проковування показано по лінії сплавлення на рис. 5, а. Для порівняння на рис. 5, б наведено зміни структури при проковуванні саме основного металу. У ньому також спостерігається подрібнення структури з 25...70 до 15...25 мкм і підвищення мікротвердості з 3220...4010 до 4210...4880 МПа на глибину до 125 мкм.

Дробоструменева обробка усієї поверхні пластин після зварювання за звичайною технологією підготовки ЛБТ (№ 5) дозволяє підвищити опір втомному руйнуванню з'єднання майже в 2 рази, до 800 тис. циклів. Після посиленої додаткової обробки (№ 6) власне з'єднання, випробування на втому не спричинили утворення тріщин навіть при навантаженні 2 млн циклів і більше, як і у випадку застосування високочастотного проковування. Металографічних досліджень при цьому варіанті обробки не проводили, проте можна припустити, що в структурі металу з'єднань відбуваються аналогічні зміни структури. Фізика процесів їх впливу на формування властивостей металу при обох способах приблизно однакова. У результаті обробки відбувається наклеп металу шва і ЗТВ, а в приповерхневому шарі з'єднань формуються напруження стиску. Такі позитивні зміни сприяють суттєвому підвищенню довговічності зварних з'єднань броньової сталі НВ 500 MOD.

Висновки

1. Низький відпуск зварних з'єднань броньової сталі високої твердості марки НВ 500 MOD, виконаних низьколегованими матеріалами типу Св-10ГСМТ з попереднім підігрівом, дозволяє підвищити в 2 рази їх опір втомному руйнуванню. При зварюванні з'єднань броньової сталі без попереднього підігріву високолегованим дротом

ХОРДА 307 Ті застосування низького відпуску не є ефективне, що пов'язано з окрихчуванням зони сплавлення при термічному відпуску внаслідок розвитку процесів дифузії вуглецю.

2. Пошарове проковування наплавленого металу під час зварювання броньової сталі високої твердості із застосуванням високолегованих матеріалів сприяє підвищенню довговічності опору втомному руйнуванню з'єднань на 25 %. Це – незначне підвищення, але даний спосіб обробки ефективніше може впливати на зниження рівня деформацій у з'єднаннях і збереження геометричних розмірів бронеконструкції при їх виготовленні.

3. Суттєво підвищити довговічність зварних з'єднань броньової сталі НВ 500 MOD без утворення тріщин втомі при навантаженні 2 млн циклів і більше можливо за рахунок високочастотного проковування зони сплавлення та пришовного металу ЗТВ з'єднань або при їх посиленій дробоструменевій обробці. При цьому в приповерхневому шарі металу на глибину до 125 мкм відбувається подрібнення структури в декілька разів, утворюються напруження стиску на ділянці обробки, що позитивно впливає на опір зварних з'єднань втомному руйнуванню.

Список літератури

1. Єфіменко М.Г., Радзівілова Н.О. (2003) *Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань*. Харків, НТУ ХП.
2. Анохов А.Е., Корольков П.М. (2006) *Зварювання та термічна обробка в енергетиці*. Київ, Екотехнологія.
3. Гайворонський О.А., Позняков В.Д., Берднікова О.М. та ін. (2020) Вплив низькотемпературного відпуску на структуру та властивості зварних з'єднань високоміцної сталі 30Х2Н2МФ. *Автоматичне зварювання*, 6, 23–29. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.06.04>
4. Дронов В.С., Головін С.А. (2004) Обмежена довговічність і тріщиностійкість сталей високої і середньої міцності. *Матеріалознавство*, 12, 41–47.
5. Патон Б.С. (2000) Сучасні напрямки підвищення міцності і ресурсу зварних конструкцій. *Автоматическая сварка*, 9-10, 3–9.
6. Лашенко Г.І., Демченко Ю.В. (2008) *Енергозберігаючі технології післязварювальної обробки металоконструкцій*. Київ, Екотехнологія.

7. Кныш В.В., Кузьменко А.З. (2005) Повышение сопротивления усталости сварных соединений высокочастотной механической проковкой. *Сварщик*, **2**, 19–21.
8. Bonnen, J.J., Mandapati, R., Kang, H. et al (2009). Durability of advanced high strength steel gas metal arc welds. *SAE International J. of Materials and Manufacturing*, **2(1)**, 155–171.
9. Ковальчук В.С., Кныш В.В., Позняков В.Д., Касаткин С.Б. (2007) Способ повышения циклической долговечности и ресурса сварных стальных конструкций. *Автоматическая сварка*, **3**, 44–46.
10. Cabrilo, A., Sedmak, A., Burzic, Z., Perkovic, S. (2019) Fracture mechanics and fatigue crack propagation in armor steel welds. *Engineering Failure Analysis*, **106**, 104155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104155>
- 30Kh2N2MF. *The Paton Welding J.*, **6**, 20–26. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.06.04>
4. Dronov, V.S., Golovin, S.A. (2004) Limited durability and crack resistance of high- and medium-strength steels. *Materialoznavstvo*, **12**, 41–47 [in Ukrainian].
5. Paton, B.E. (2000) Modern trends toward increase in strength and life of welded structures. *The Paton Welding J.*, **9-10**, 3–8.
6. Lashchenko, G.I., Demchenko, Y.V. (2008) *Energy-saving technologies for post-welding processing of metal structures*. Kyiv, Ekotekhnologiya [in Ukrainian].
7. Knysh, V.V., Kuzmenko, A.Z. (2005) Increasing the fatigue resistance of welded joints by high-frequency mechanical peening. *Svarshchik*, **2**, 19–21.
8. Bonnen, J.J., Mandapati, R., Kang, H., Iyengar, R.M. et al. (2009) Durability of advanced high strength steel gas metal arc welds. *SAE Intern. J. of Materials and Manufacturing*, **2(1)**, 155–171.
9. Kovalchuk, V.S., Knysh, V.V., Poznyakov, V.D., Kasatkin, S.B. (2007) Method for increasing cyclic and service life of welded steel structures. *The Paton Welding J.*, **3**, 37–38.
10. Cabrilo, A., Sedmak, A., Burzic, Z., Perkovic, S. (2019) Fracture mechanics and fatigue crack propagation in armor steel welds. *Engineering Failure Analysis*, **106**, 104155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104155>

References

1. Efimenko, M.G., Radzivilova, N.O. (2003) *Metal science and thermal processing of welded joints*. Kharkiv, NTU KhPI [in Ukrainian].
2. Anokhov, A.E., Korolkov, P.M. (2006) *Welding and heat treatment in power engineering*. Kyiv, Ekotekhnologiya [in Ukrainian].
3. Gaivoronskyi, O.A., Poznyakov, V.D., Berdnikova, O.M. et al. (2020) Influence of low-temperature tempering on structure and properties of welded joints of high-strength steel

WAYS TO INCREASE THE FATIGUE FRACTURE RESISTANCE OF WELDED JOINTS OF HIGH-HARDNESS ARMORED STEELS

O.A. Gaivoronsky¹, V.D. Poznyakov¹, A.V. Safinsky², A.V. Zavdoveev¹, T.O. Alekseenko¹, V.A. Yashchuk¹

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: paton39@ukr.net

²DP «Zhytomyr armored tank plant». 1 Druzhby Narodiv Str., 12441, Zhytomyr region, Novogyvinske urban settlement, Ukraine

The influence of mechanical impact methods of processing on fatigue resistance of joints of high-hardness armored steels, compared to low tempering, in welding with high-alloy welding materials was studied. The paper presents the results of tests by cyclic out-of-plane bending of welded joints of armored steel of HB 500 MOD grade, made with wire of KHORDA 307Ti brand (08Kh20N9G7T alloying system), additionally subjected to layer-by-layer low-frequency peening of the deposited metal during welding, high-frequency peening of the fusion zone and adjacent metal of the HAZ and shot peening of the joint surface after their welding. It is established that thermal tempering of armored steel joints with a high-alloy weld does not contribute to increase in fatigue resistance. The most effective methods of increasing the fatigue resistance of the joints are mechanical high-frequency peening or enhanced shot peening after welding. 10 Ref., 4 Fig.

Keywords: high-hardness armored steel, welded joints, fatigue fracture resistance, low-temperature tempering, mechanical low-frequency peening, mechanical high-frequency peening, shot peening

Отримано 18.10.2024

Отримано у переглянутому вигляді 21.01.2025

Прийнято 17.02.2025

КОНФЕРЕНЦІЯ

«Зварювання та споріднені технології для відновлення України»

м. Київ, 27 листопада 2025 р.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

Тематика конференції:

- дугові процеси зварювання та наплавлення;
- променеві та плазмові технології зварювання, наплавлення і нанесення покриттів;
- гібридні процеси зварювання;
- 3D адитивні технології отримання металевих виробів;
- спеціальна електрометалургія;
- матеріалознавство в зварюванні та споріднених технологіях;
- неруйнівний контроль та технічна діагностика.

Контакти

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, 03150, Україна

тел./факс: (38044) 205-23-90, E-mail: journal@paton.kiev.ua