

УДК 621.052:539.43

ВПЛИВ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ПРОКОВКИ НА ЖИВУЧІСТЬ СТИКОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Дегтярев В.О.

Институт проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

Вивчено закономірності зміни живучості стикових зварних з'єднань стали ст.3сп і швидкості росту тріщини втоми після різних режимів високочастотної механічної проковки (ВМП) зразків як в початковому стані, так і після попередньо накопичених втомних пошкоджень. Встановлені залежності в широкому діапазоні зміни швидкості ВМП і при оптимальних її режимах свідчать про доцільність зміцнення виробу на стадії його виготовлення або на ранньому етапі поширення макротріщини. Вказана ефективність зміцнення зварних з'єднань в початковому стані і після попередньо накопичених пошкоджень в залежності від швидкості ВМП при різній граничній довжині тріщини втоми. Встановлено, що залишкова довговічність і коефіцієнт зміцнення зразків, зміцнених в початковому стані, при однаковій швидкості ВМП завжди вище. Експериментально встановлено, що, починаючи з довжини тріщини втоми 10 мм незалежно від швидкості ВМП різниця в ефективності зміцнення є незначною. Проаналізовано взаємозв'язок між швидкістю ВМП і глибиною канавки при відомій живучості стикових зварних з'єднань або швидкості росту в них тріщини втоми при різній граничній її довжині. Показано, що оптимальна швидкість ВМП не залежить від граничної довжини тріщини втоми, а стадія зародження тріщини зі збільшенням її довжини мени тривала.

Ключові слова: "зварне з'єднання, високочастотна механічна проковка, глибина канавки, живучість, швидкість росту тріщини втоми".

Наявні літературні дані свідчать не тільки про значне подовження ресурсу зварних металоконструкцій після високочастотної механічної проковки (ВМП), але і високою її ефективності для гальмування накопичених втомних пошкоджень. Однак до теперішнього часу залишається не дослідженим вплив різних режимів ВМП на живучість (залишкову довговічність) і циклічну тріщиностійкість зварних з'єднань. У зв'язку, з цим мета цієї роботи полягає в оцінці ефективності впливу різних режимів ВМП на живучість зварних з'єднань, в тому числі тих, експлуатація яких відбувається зі значним рівнем накопичених втомних пошкоджень в зонах концентраторів напружень. Як матеріал для досліджень використовувалося стикове зварне з'єднання з листової сталі ст.3сп. Спочатку попередньо зварена встик пластина розрізалася на зразки розміром 40x400x14 мм, потім вони розбивалися на дві партії. Перша складалася з декількох серій зразків, які піддавалися ВМП по лінії сплавлення шва з основним металом за допомогою ультразвукового інструменту USP-300 при амплітуді коливаний робочого інструменту a , рівній 26 мкм, і різної наведеної швидкості його переміщення V (швидкість ВМП), що дорівнює 0,232, 0,116 і 0,06 м/хв відповідно. Після ВМП утворювалась канавка, що залежить від швидкості обробки, шириною 2,6-3,4 мм і глибиною h , що дорівнює 0,06, 0,105 і 0,18 мм відповідно. У другій партії зварних з'єднань попередньо вирощувалася тріщина втоми в умовах віднульового циклу гармонійного навантаження. Потім зварні з'єднання розбивалися також на кілька серій, кожна з яких зміцнювалась з тими ж параметрами. Дослідження впливу режимів ВМП зварних з'єднань на їх живучість ($N_{ж}$) і швидкість росту тріщини втоми (РТВ), засновані на використанні кінетичних діаграм залежності зростання тріщини втоми lmp від числа циклів

навантаження N . Живучість зварних з'єднань визначалася як $N_{ж} = N_i - N_0$, де N_0 і N_i - число циклів навантаження, відповідне початкової мак-ротріщини l_0 , і її граничної довжини l_i , а швидкість росту тріщини як $dl/dN = \Delta l/N_{ж}$.

Експериментальні дослідження, які були проведені при максимальній напрузі $\sigma_{\max} = 385$ МПа, дозволили визначити усереднені для кожної серії зразків залежно РТВ від числа циклів навантаження в першій і другій партіях. Аналіз даних показав, що обробка збільшує число циклів до руйнування зразків. Причому $N_{ж}$ зразків першої партії більше, ніж у другій. Мабуть відмінність отриманих результатів полягає у тому, на якому етапі досліджень створюються залишкові напруження (ОН) стиску після ВМП, що призводить до різного характеру їх перерозподілу при випробуваннях, і, мабуть, до різного розміру зони пластичності і різним за величиною силам, прикладеним до берегів тріщини.

Залежності між $N_{ж}$ зварних з'єднань і швидкістю ВМП при граничній довжині тріщини, що дорівнює 2, 5 і 10 мм (рис.1), показують, що в міру зменшення швидкості проковки $N_{ж}$ збільшується, залишаючись більшою в зразках, зміцнених в початковому стані. Слід також зазначити, що живучість зразків в обох партіях помітно збільшується при зниженні V , починаючи з 0,11 м/хв. Причому, в зразках першої партії різниця між залишковою довговічністю при зміні l_i від 2 до 10 мм, незалежно від швидкості ВМП, більше ніж у другій.

Отримані дані дозволили встановити вплив швидкості проковки зварних з'єднань на коефіцієнт їх зміцнення (рис.2) при різній поточної довжині тріщини, який визначається як:

$$K_y = \frac{N_{ж}^y}{N_{ж}^u}, \quad (1)$$

де $N_{ж}^y$ і $N_{ж}^u$ - залишкова довговічність зварного з'єднання в зміцненому і вихідному стані відповідно. Аналіз представлених результатів показав, що зі зменшенням швидкості ВМП K_y збільшується у всіх серіях зразків, залишаючись завжди більшим в зразках першої партії. Його зниження зі збільшенням l_i незалежно від V , по - перше, мабуть пов'язано з більш інтенсивною релаксацією ОН стиску, а по - друге, чим більше глибина тріщини перевищує глибину пластично деформованої зони, яка залежить від швидкості ВМП, тим в меншій мірі збільшується K_y . Висловлене припущення підтверджує той факт, що коефіцієнт зміцнення помітно збільшується при зниженні V , починаючи з 0,11 м/ хв. При зміні l_i від 2 до 10 мм різниця між K_y зразків, зміцнених в початковому стані, незалежно від швидкості ВМП, завжди більше. Крім цього, зниження швидкості ВМП з 0,232 м/хв до 0,06 м/хв також призводить до зниження відносини коефіцієнтів зміцнення в першій і другій партіях, яке залежить від довжини тріщини в томи. Наприклад, при $l_i = 2$ мм це відношення змінюється від 4 до 1,45, а при 10 мм від 3,1 до 1,25 разів відповідно. Це свідчить про те, що при малих швидкостях ВМП, але великій довжині тріщини в томи, різниця в ефективності зміцнення вже незначна. Узагальнені залежності між V , h і $N_{ж}$ зразків, а також середньою швидкістю РТВ для першої і другої партій при досягненні $l_i = 5$ мм, що вважається небезпечною з точки зору крихкого руйнування високонавантажених елементів металоконструкцій, особливо при їх експлуатації в умовах низьких кліматичних температур свідчать, що з підвищенням швидкості проковки $N_{ж}$ зварних з'єднань зменшується, а швидкість РТВ підвищується. Подібна тенденція спостерігається з зменшенням h . Крім того, знаючи залишкову довговічність або швидкість РТВ можна встановити взаємозв'язок між V і h при будь який l_i . Узагальнені залежності також можна використовувати при визначенні оптимальної швидкості ВМП (V_{opt}), яка при оптимальній глибині канавки ($h_{opt} = 0,14$ мм) не залежить від l_i . і в зразках першої та другої партій склала, в середньому, 0,085 м/хв. У зв'язку з цим, розрахунок значення оптимальної швидкості ВМП можна визначити у вигляді:

$$V = K \cdot e^{\frac{d}{b} \cdot \ln\left(\frac{h-m}{a}\right)} + f, \quad (2)$$

де m, b, a, k, d, f - експериментальні коефіцієнти.

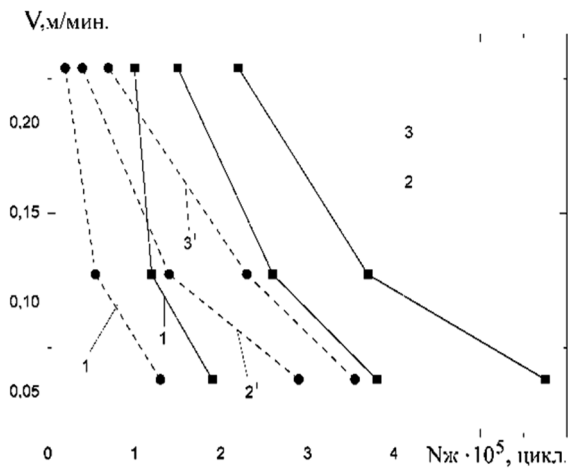


Рис.1-Залежність між швидкістю ВМП та залишковою довговічністю зразків першої (1-3) і другої (1'-3') партій

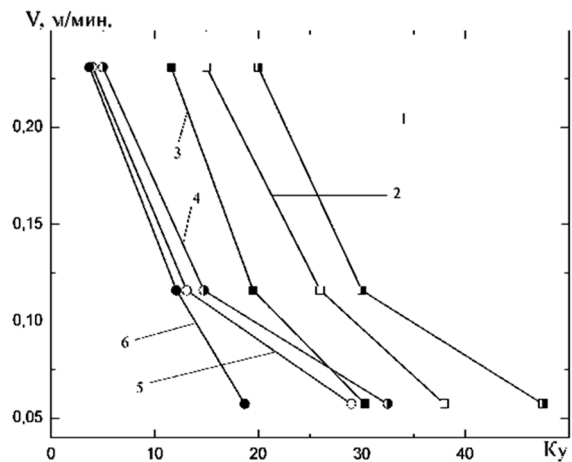


Рис.2- Залежність між коефіцієнтом зміцнення та швидкістю ВМП зразків першої (1-3) і другої (4-6) партій.

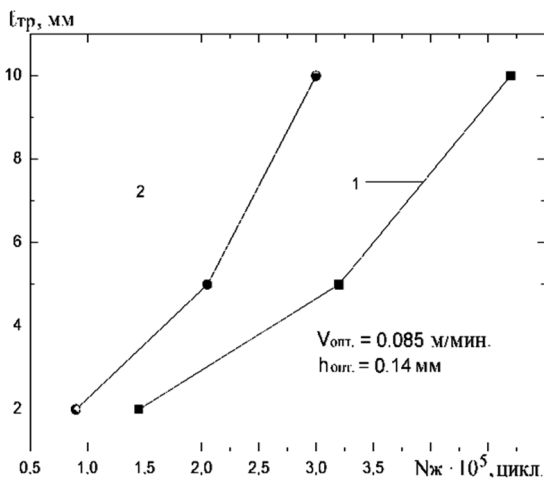


Рис.3- Залежність між довжиною тріщини та залишковою довговічністю зварних з'єднань першої (1) і другої (2) партій при оптимальних режимах ВМП.

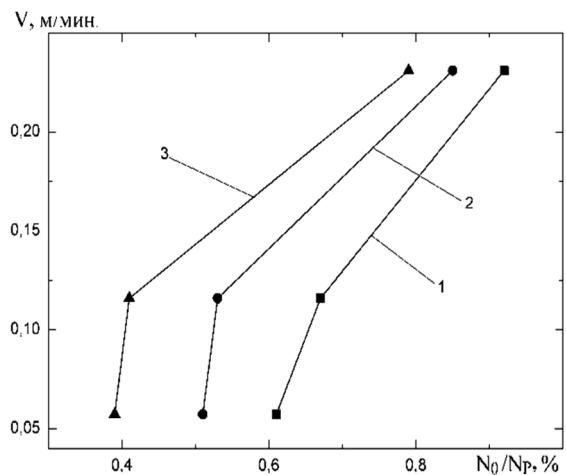


Рис.4- Залежність між швидкістю ВМП та відношенням числа циклів до зародження тріщини довжиною 1 мм к числу циклів до досягнення довжини l: 1-2мм, 2 – 5мм, 3 – 10мм.

Той факт, що V_{opt} , не змінюється дозволив встановити залежності між l_i і $N_{ж}$ зразків (рис. 3) для першої (крива 1) і другої (крива 2) партій при $h_{opt} = 0,14$ мм. Аналіз даних показує, що у всьому діапазоні зміни $l_{тр}$ залишкова довговічність першої партії зразків більше. Причому, зі збільшенням довжини тріщини різниця між $N_{ж}$ кілька збільшується. Представлені на малюнку дані цікаві з практичної точки зору. Обмежуючись різною l_i при оптимальних режимах ВМП,

знаючи швидкість РТВ, можна визначити залишкову довговічність зварного з'єднання, а при відомому періоді до зародженні тріщини - нормативний термін експлуатації зварних металоконструкцій. На рис.4 результати досліджень представлені у вигляді залежності між швидкістю ВМП і ставленням числа циклів до зародження макротріщини довжиною 1 мм до числа циклів при досягненні тріщиною довжини 2 мм (1), 5 мм (2) і 10 мм (3). Видно, що при зниженні V з 0,232 м/хв до 0,06 м/хв стадія зародження знижується при довжині тріщини втомі 2 мм з 92% до 60% (крива 1). Однак, зі збільшенням довжини тріщини до 10 мм вона є менш тривалою і при зміні V в таких же межах змінюється з 78% до 38% (крива 3).

Таким чином, отримані експериментальні дані дозволили, по-перше, визначити залишкову довговічність зварного з'єднання або швидкість росту тріщини втомі як в початковому стані, так і з наявними втомними пошкодженнями в залежності від обраної граничної їх довжини не тільки при різних режимах високочастотної механічної проковки, але і при оптимальній її швидкості, а по - друге, встановити взаємозв'язок між глибиною канавки і швидкістю ВМП і по одному з них при дослідженій граничній довжині тріщини визначити живучість або швидкість РТВ, якщо такі дані відсутні. Як показали дослідження, зміцнення металоконструкцій переважно виконувати на стадії їх виготовлення, а при ремонтно-відновлювальних роботах на ранній стадії розвитку тріщини незалежно від швидкості ВМП.