УДК 621.791.927.55

Нечаєв В.П., канд. техн. наук, доцент
Рязанцев А.О., канд. техн. наук, доцент
Криворізький національний університет, anton.ryazancev87@gmail.com

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОВОГО ЗМІЦНЕННЯ НА МІЦНІСТЬ ТА ПЛАСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ

На практиці дуже часто доводиться стикатися з ситуацією, коли виріб повинен мати високу поверхневу твердість і зносостійкість, яке серцевина – зберегти необхідний запас в'язкості. Для реалізації цієї мети застосовують різні методи поверхневого зміцнення, які знижують загальний рівень конструкційної міцності внаслідок низького рівня роботи зародження та поширення тріщин у зміцненому шарі. Враховуючи особливий структурно-фазовий стан сталі після плазмово-поверхневого зміцнення (ППЗ), проводили порівняльну оцінку його впливу на міцність та пластичні властивості сталевих зразків після різних видів попередньої термічної обробки. Метою поверхневого плазмового зміцнення є підвищення експлуатаційного ресурсу деталей машин за рахунок зміцнення їх поверхневого шару (товщиною в декілька міліметрів) термічною обробкою плазмовою дугою, що сканує, при незмінному загальному хімічному складі матеріалу та збереження у внутрішніх шарах первинних властивостей вихідного металу [1, 2].

Зразки сталі 70 у вихідному відпаленому стані, піддавали стандартному загартуванню в масло та воді й півгодинному відпуску при температурі 450°С. Після проведення плазмового зміцнення їх відпускали протягом півгодини при температурах: 150; 250; 250 і 450°С в муфельної печі.

Випробування зразків проводили на статичний вигин, запропонований для дослідження впливу хіміко-термічної обробки на міцність сталей високої твердості.

Глибина зміцненого шару становила половину товщини зразка і тому при аналізі результатів випробування слід враховувати, що вони відображають міцність та пластичні властивості композиції зміцнений шар-матеріал у тому чи іншому структурному стані.

Як і слід було очікувати, у порівнянні з відпаленим станом об'ємне загартування сталі 70 у воді значно знижує опір руйнуванню при згинанні. У меншій мірі цей ефект проявляється після загартування в олії, що забезпечує м'якіші умови охолодження в мартенситному інтервалі температур. Якщо відпалені зразки пластичні і при стрілі прогину 18 мм не зазнають руйнування, то після загартування в олії вони ламаються при пружному згині 4 мм. Відпуск при 450°С після об'ємного гартування в маслі значно підвищує міцність при згинанні.

Наявність твердого (8,6-9,0 ГПа) і крихкого шару після ППЗ у разі, якщо він працює на стиск, незначно знижує $\sigma_{згин}$ (межа міцності при згині) відпаленого зразка внаслідок зменшення роботи зародження тріщини у зміцненій зоні, але на відміну від об'ємного загартування в олії руйнуванню передує велика пластична деформація.

З підвищенням температури відпуску після ППЗ вплив міцної дії зміцненого шару знижується, межа міцності при згині монотонно зростає. Істотно зростає і пластична деформація, що передує руйнуванню.

Високих значень досягає межа міцності при згинанні зразків, попередньо загартованих в маслі і відпущених при температурі 350-450°С наступним ППЗ. Таким чином, цей режим дозволяє поєднувати отримання високої поверхневої твердості у зразку після ППЗ, міцності та пластичності, що, безумовно, позитивно відрізняє його від інших (цей висновок узгоджується з результатами роботи [3]). Такому поєднанню властивостей, очевидно, сприяє зона відпуску, розташована безпосередньо за загартованою, що виникає при плазмовому нагріванні в результаті існування градієнта температур, що не перевищують точки A_1 в зоні термічного впливу. Наявність такої зони зафіксованої (рис.1) на кривих

зміни мікротвердості за глибиною зразка є ефективним бар'єром для мікротріщин, що розвиваються в зміцненому шарі при випробуванні зразка. Значну частку загальної деформації, що передує руйнуванню, становить пружна складова, присутність якої можна пояснити вкладом невідпущеної частки перерізу зразка після загартування і середнього відпуску.

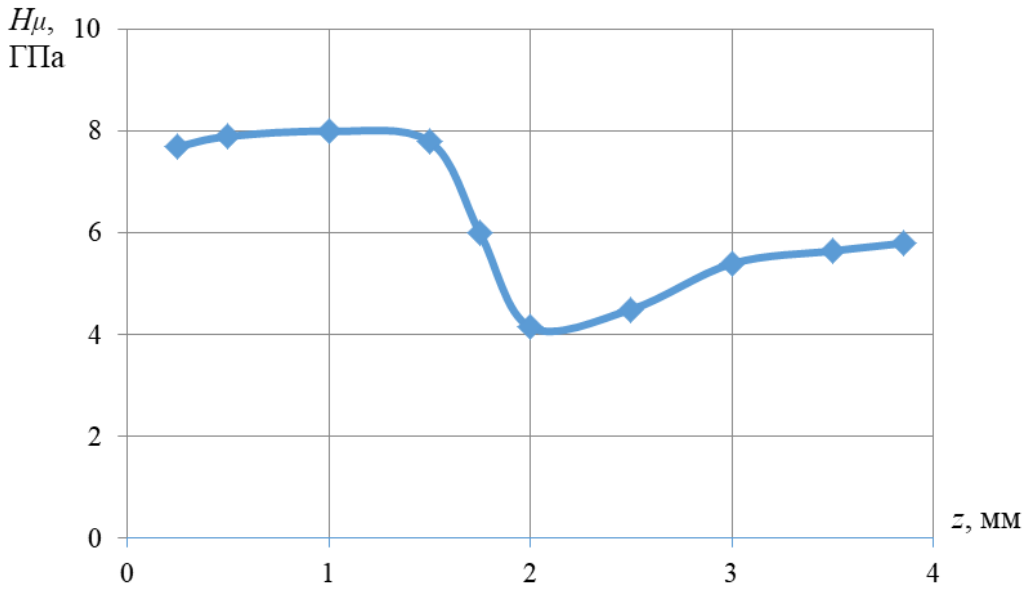

Рис. 1 – Зміна мікротвердості по глибині зразка сталі 70 після плазмового зміцнення, що попередньо підданий об’ємному загартуванню та відпуску 450°С

Очевидними є причини значного зниження межі міцності при роботі зміцненого шару на розтяг. Хоча відпуск після ППЗ помітно підвищує міцність і пластичність, ці показники виявляються у кілька разів меншими за розглянуті раніше.

Не дає істотного ефекту в цих умовах випробування і режим загартування в олії + відпуск 450°С + ППЗ, який добре показав себе при роботі на стиск. Низький рівень роботи зародження та розповсюдження тріщин у крихкому шарі після ППЗ під дією розтягувальних напруг, по суті, призводить до зменшення робочого перерізу зразка, оскільки вже при незначних зусиллях, що навантажують, у зміцненому шарі виникають тріщини на всю його глибину і, надалі, руйнуванню опору решта перерізу зразка.

Таким чином, наявність на поверхні зразка загартованого шару незначно знижує межу міцності при згинанні у випадку, якщо шар працює на стиск. Максимальну конструкційну міцністю при згині мають зразки сталі, що пройшли поверхневе зміцнення з нагріванням плазмовою дугою після попереднього об'ємного загартування і відпуску при температурі 350-450°С. Це пояснюється існуванням відпущеної зони між загартованим шаром та вихідною структурою перед ППЗ, яка виконує роль бар’єру при поширенні мікротріщин на початкових стадіях руйнування.

Список посилань

1. Ryazantsev A. Surface Hardening Technology with a Concentrated Energy Source [Електронний ресурс] / A. Ryazantsev, V. Nechaev, O. Bondar // International journal of integrated engineering. – 2019. – Vol. 11, no. 8. – P. 135–142. – Режим доступу: https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/5014.

2. Нечаєв В. Технологія поверхневого плазмового зміцнення навантажених поверхонь деталей / В. Нечаєв, А. Рязанцев // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2019. – Т. 30 (69) № 2. – С. 18–23.

3. Плазменное поверхностное упрочнение /Л. Лещинский [та ін.]. – Київ: Техніка, 1990. – 109 с.