

УДК 621.791.72

Кушнар'ова О.С., канд. техн. наук
Берднікова О.М., докт. техн. наук
Половецький Є.В., канд. техн. наук
Алексєєнко І.І. молод. наук. співробітник
Кушнар'ова Т.М., наук. співробітник

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, olgakus@meta.ua

МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ ІСПУЛЬСНО-ПЛАЗМОВОЮ ОБРОБКОЮ

В сучасній машинобудівній промисловості актуальним є підвищення ресурсу працездатності інструментів, які виготовлені із швидкорізальної сталі. Важлива задача - це забезпечення максимального зміцнення металу на робочій поверхні за рахунок утворення модифікованого шару [1-2]. Для цього використовують методи обробки робочої поверхні для отримання структури, яка сприяє підвищенню експлуатаційних характеристик виробу та його тріщиностійкості. До сучасних методів зміцнення поверхневих шарів відносяться імпульсно-плазмова, лазерна, лазерно-плазмова обробки, тощо [3-4].

У даній роботі представлені результати досліджень поверхневих шарів інструментальної швидкорізальної сталі Р6М5 (після попередньо термічної обробки – гартування та відпуск) з застосуванням різних режимів імпульсно-плазмової обробки (ІПО): режим I – пряма дія імпульсного електричного розряду (відстань від плазмотрону до зразка 60 мм); режим II – непряма дія електричного розряду (відстань від плазмотрону - 30 мм). Імпульсно-плазмова обробка виконувалась в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ у відділі «Нових фізико-хімічних способів зварювання».

Комплексними дослідженнями, що включають світлову мікроскопію (Versamet-2), аналітичну растрову (СЕМ-515, фірми PHILIPS, Нідерланди) і просвічувальну електронну мікроскопію (JEM-200СХ, фірма JEOL, Японія), вивчено структурно-фазові перетворення; зеренну та субзеренну структури, щільність дислокацій, та інше. В роботі використовувався підхід аналітичного розрахунку локальних внутрішніх напружень в поверхневих шарах швидкорізальної сталі при різних режимах імпульсно-плазмової обробки [4-5]. Саме локальні внутрішні напруження в елементах структури в основному є причиною руйнування поверхневих шарів в процесі експлуатації виробів.

В результаті обробки імпульсною плазмою швидкорізальної сталі Р6М5 на поверхні металу утворюється шар глибиною до 40 мкм з дисперсною аустенітно-мартенситною структурою з розміром пакетів (зерна) $D_z = 5...25$ мкм та мікротвердістю $HV = 6200$ МПа.

При обробці поверхні сталі Р6М5 на режимі I параметри субструктури поверхневого шару мають розмір 0,35...0,5 мкм (рис. 1, а). У порівнянні з основним металом спостерігається загальне зниження щільності дислокацій в аустеніті ($\rho = 108...109$ см⁻²) та в мартенситі ($\rho = 109...1010$ см⁻²). Методом ТЕМ по границях зерен залишкового аустеніту і карбідів виявлені зародки мікротріщин. У таких зонах формуються дислокаційні скупчення при підвищенні щільності дислокацій до $\rho = (2...4) \times 1010$ см⁻².

Оцінка локальних внутрішніх напружень (тл/вн) показала їх найбільші значення на границях сполучення мартенситу з карбідами (М/К) - тл/вн = 5600...7400 МПа (0,67...0,9 від теоретичної міцності (теор)). Градієнти локальних внутрішніх напружень (Δ тл/вн) по границях цих структурних елементів досягають 5200...7000 МПа. Вони є потенційними джерелами тріщиноутворення (рис. 1, в).

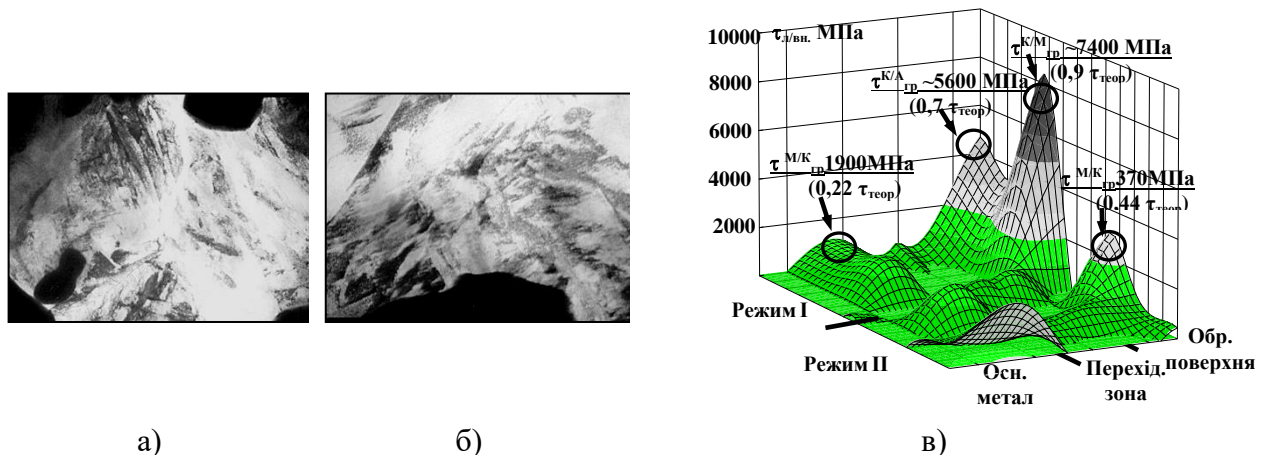


Рис. 1 – Тонка структура поверхневого шару зразків з швидкорізальної сталі Р6М5 після імпульсно-плазмової обробки: а – Режим I ($\times 20000$); б – Режим II ($\times 30000$); в – рівень локальних внутрішніх напружень $\tau_{л/вн}$ в основному металі, перехідній зоні та обробленій поверхні (К/М, К/А – границі сполучення структур карбід-мартенсит, карбід-аустеніт, відповідно)

Імпульсно-плазмова обробка поверхні сталі Р6М5 на режимі II призводить до диспергування (у 1,5...2 рази) аустенітно-мартенситної структури ($D_z=1,5...5\text{мкм}$) по глибині модифікованого шару до 40 мкм (від поверхні) та збільшення мікротвердості на 20% (HV до 9200 МПа). Субструктура, що формується подрібнюється до 0,16 мкм при щільності дислокацій в аустеніті $\rho = 4 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$ та мартенситі $\rho = 2 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ (рис. 1, б). У зміцненому шарі виявлено карбіди типу Me_6C глобулярної форми $(\text{FeCr})_3(\text{W}, \text{Mo})_3\text{C}$ переважно з вольфрамом, з розміром частинок $d_{ch}=0,21...2\text{мкм}$.

Аналітичною оцінкою локальних внутрішніх напружень не виявлено формування їх ризьких градієнтів ($\tau_{л/вн}=1480...3700\text{МПа}$, $(0,018...0,44)\tau_{теор}$). При цьому максимальні значення $\tau_{л/вн}=3700\text{МПа}$ на границях М/К не представляють небезпеки для тріщиноутворення (див. рис. 1, в).

На основі проведених експериментальних досліджень та аналітичних оцінок локальних внутрішніх напружень в структурі металу модифікованої поверхні швидкоріжучої сталі Р6М5 встановлено, що імпульсно-плазмова обробка непрямой дії імпульсної дуги (режим II) покращує структурно-фазовий стан поверхні та приводить до таких структурних змін, які забезпечують тріщиностійкість виробів.

Список посилань

1. Тюрин Ю. Н. Плазмові зміцнюючі технології / Ю. Н. Тюрин, М. Л. Жадкевич. – Київ: Наук. думка, 2008. – с. 218.
2. Grimaldis D. Wear characteristics of a diffusion bonded sintered steel with short term surface treatments / D. Grimaldis, T.S. Eyre // *Wear*. – 2007. – vol. 262 – P.93–103.
3. Коротков В.А. Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления / В.А. Коротков, О.В. Трошин, А.А. Бердников // *Физика и химия обработки материалов*. – 1995. – №2 – С. 101–106.
4. Berdnikova O. Structure Peculiarities of the Surface Layers of Structural Steel under Laser Alloying / O. Berdnikova, O. Kushnarova, A. Bernatskiy, T. Alekseenko, Y. Polovetskiy, M. Khoklov // 2020 IEEE 10th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). – 2020. – P. 02IT01-1-02IT01-4.
5. Berdnikova O. Structure features of surface layers in structural steel after laser-plasma alloying with 48(WC–W2C) + 48Cr + 4Al powder / O. Kushnarova, A. Bernatskiy, Ye. Polovetskiy, V. Kostin, M. Khokhlov // 2021 IEEE 10th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). – 2021. – P. 1–4.