

УДК 621.791.72

Кушнарьова О.С., канд. техн. наук
Берднікова О.М., доктор. техн. наук
Половецький Є.В., канд. техн. наук
Єремєєва Л.Т., пров. інженер
Кайда Т.В., пров. інженер

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

СТРУКТУРНІ ЗМІНИ У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ 40Х ПІСЛЯ ІМПУЛЬСНО-ПЛАЗМОВОЇ ОБРОБКИ

У сучасній промисловості надається особлива увага питанням підвищення надійності, економічності та ресурсу працездатності машин і агрегатів, що випускаються. Важливим є забезпечення довговічності деталей машин і механізмів, що стимулює розвиток нових високоефективних ресурсозберігаючих технологій [1,2]. Ці технології спрямовані на підвищення зносостійкості робочих поверхонь матеріалів, з яких вони виготовлені з метою підвищення експлуатаційних характеристик виробів. Однією з таких технологій є поверхнева обробка різними способами. Головним завданням такої обробки є вплив на поверхневі шари матеріалів, що призводить до зміни структури та властивостей.

Забезпечення довговічності роботи деталей машин та механізмів є актуальним. Для конструкцій з особливими властивостями їх поверхонь, працездатність та збільшення терміну служби можуть бути забезпечені за рахунок технологій зміцнення поверхневих шарів, до яких відносяться сучасні методи обробки (імпульсно-плазмова, лазерна, лазерно-плазмова та ін.) [2,3].

У даній роботі проведено дослідження зразків конструкційної легованої сталі 40Х після поверхневої обробки за допомогою імпульсно-плазмового способу. Імпульсно-плазмова обробка виконувалась в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ у відділі «Нових фізико-хімічних способів зварювання». Сталь 40Х широко використовується у машинобудуванні під час виробництва деталей підвищеної міцності. Після гарту та відпуску дана сталь має високі показники механічних властивостей: $\sigma_{0,2} = 720 \dots 1560$ МПа; $\sigma_B = 860 \dots 1760$ МПа; $\delta_5 \geq 8\%$; $\psi \geq 35\%$.

У даному випадку для експерименту сталь 40Х використовувалася після попередньої термічної обробки (ізотермічне гартування на бейніт в масло при $T=850^\circ\text{C}$). Подальша імпульсно-плазмова обробка проводилася при питомому тепловому потоці $Q=6,5 \times 10^8$ Вт/м².

Комплексні дослідження, що включають світлову мікроскопію (Versamet-2), аналітичну растрову (SEM-515, фірми PHILIPS, Нідерланди) і просвічувальну електронну мікроскопію (JEM-200CX, фірма JEOL, Японія), показали наступне.

В результаті обробки імпульсною плазмою сталі 40Х на поверхні металу утворюється шар глибиною до 70 мкм з дисперсною мартенситною структурою з розміром пакетів (зерен) 2...7 мкм. Мікротвердість (HV) цього шару 6550...5160 МПа. Параметри субструктури поверхневого шару мають розмір 0,05...0,55 мкм (рис. 1, а). Спостерігається рівномірний розподіл щільності дислокацій ($\rho = (2 \dots 3) 10^{11} \text{см}^{-2}$).

При переході від основного металу до поверхневого шару формується перехідна зона (до 30 мкм) з трооститно-мартенситною структурою. Розмір пакетів 5...12 мкм при HV 3860 МПа. Спостерігаються незначні збільшення розмірів субструктур (0,25...1 мкм) зі зменшенням щільності дислокацій ($\rho = 6 \times 10^{10} \dots 2 \times 10^{11} \text{см}^{-2}$) (рис. 1, б).

Основний метал сталі 40Х представлений структурою верхнього та нижнього бейніту з незначною кількістю мартенситу. Розмір зерна 15...25 мкм з мікротвердістю 4120...5090 МПа. Параметри структурних компонентів дещо збільшуються (рис. 1, в). Щільність дислокацій $\rho = 3 \times 10^{10} \dots 10^{11} \text{см}^{-2}$.

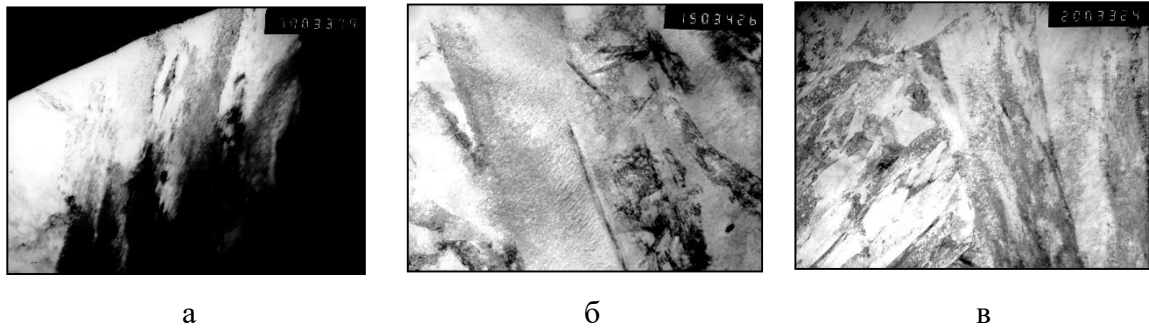


Рис.1 – Тонка структура сталі 40Х після імпульсно-плазмової обробки: а - поверхневий шар ($\times 33000$); б – перехідна зона ($\times 15000$); в – основний метал ($\times 20000$).

Щодо властивостей міцності та тріщиностійкості обробленого металу, то були проведені фрактографічні дослідження поверхонь руйнування зразків з подальшими аналітичними оцінками зміцнення та в'язкості руйнування.

Кількісні оцінки зміцнення за кожним із структурних параметрів з урахуванням залежностей Холла-Петча, Орована та ін. [4], встановлено наступне. Загальне зміцнення ($\Sigma\sigma_T$) металу оброблених поверхневих шарів становить 2086 МПа (у той час як основного металу - 1551 МПа). Найбільший внесок у загальний рівень $\Sigma\sigma_T$ вносять субструктурне та дисперсійне зміцнення. У результаті імпульсно-плазмової обробки сталі 40Х загальний рівень зміцнення поверхневих шарів порівняно з основним металом збільшується на 35%.

Проведено розрахункові оцінки схильності металу оброблених поверхонь до крихкого руйнування (K_{1C}) за залежністю Крафта [5]. У поверхневих шарах $K_{1C} = 52 \text{ МПа/м}^{1/2}$, що на 6 і 12 % менше порівняно з перехідною зоною ($K_{1C} = 55,6 \text{ МПа/м}^{1/2}$) та основним металом ($K_{1C} = 59,5 \text{ МПа/м}^{1/2}$).

Комплекс властивостей міцності та в'язкості руйнування свідчить про значний вплив на показники конструктивної міцності структурних параметрів, що визначають реалізацію мікромеханізму поширення тріщини.

Імпульсно-плазмова обробка поверхні сталі 40Х забезпечує комплекс властивостей міцності та в'язкості руйнування у поверхневих шарах металу. Промислові випробування зразків сталі 40Х, що оброблені імпульсно-плазмовим методом, підтверджують значення покращення трибологічних властивостей виробів. На основі проведених експериментальних досліджень, аналітичних оцінок та випробувань можна прогнозувати, яка структура, що формується при імпульсно-плазмовій обробці металу буде забезпечувати експлуатаційні властивості виробів.

Список посилань

1. Grimanelis D. Wear characteristics of a diffusion bonded sintered steel with short term surface treatments / D. Grimanelis, T.S. Eyre // *Wear*. - 2007. - vol. 262 - P.93–103.
2. 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.
3. Лещинский Л.К. Плазменная поверхностная закалка / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин, И.И. Пирч, В.И. Комар // *Киев*. – 1990. - 109 с.
4. Маркашова Л. И. Влияние структуры на свойства покрытий из механических смесей порошков Al_2O_3 и Al (или Ti), полученных методом многокамерного детонационного напыления / Л. И. Маркашова, Ю. Н. Тюрин, О. В. Колисниченко, Е. Н. Бердникова, О. С. Кушнарева, Е. В. Половецкий, Е. П. Титков // *Автоматическая сварка*. – 2017. – № 9. – С. 33-39.
5. Hryhorenko G. Fine structure of heat-resistant titanium alloys welded joints / G. Hryhorenko, S. Akhonin, O. Berdnikova, S. Hryhorenko, V. Bilous and O. Kushnaryova // *Proceedings of the 2019 IEEE 9th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties, NAP*. – 2019. - P. 01MIT02-1 – 01MIT02-5.