

Винахід відноситься до області машинобудування, а саме до технології зміцнення поверхонь деталей машин. Відомий спосіб поверхневого зміцнення сталевими кульками [А. с. №456704. СССР, МКИ В 23Р1/18. Способ поверхностного упрочнения / И.А. Стебельков. (СССР). - Опубл. 15.01.75. Бюл. №2.], який включає поверхневу обробку деталей сталевими кульками, що змочені рідиною, і під впливом ультразвукового поля здійснюють коливальний рух.

Ознаками, спільними із запропонованим рішенням є:

- наявність ультразвукового поля;
- зміцнення поверхні шляхом бомбардування її сталевими кульками, які змочені рідиною.

Основним недоліком такої обробки є:

1. Неможливість отримання оптимальних для даної деталі фізико-механічних властивостей, які визначають її довговічність, бо оптимальні умови обробки (інтенсивність ультразвукового поля, діаметр кульок і їхня кількість) являються усередненими параметрами [Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник. -М.: Машиностроение, 1987. -328с. -С.260-262].

2. Створення нерівноважної дефектної структури з низькими рівнями енергії активації, а отже створення можливих джерел локального пружно-пластичного деформування при знакозмінному навантаженні характерному процесу деформування втомленості.

Відомий спосіб поверхневого зміцнення [А. с. №933421. СССР, МКИ В24С1/10, В24В1/4. Способ поверхностного упрочнения / Я.И.Бляшко, Б.Г.Ванюшов, А.А.Гонор, Т.Г.Малышева, Л.Д.Казьмина. (СССР). - Опубл. 07.06.82. Бюл. №21] деталей сталевими кульками, які приводяться в коливальний рух в ультразвуковому полі коли використовують змочування кульок рідиною (фторорганіні сполуки, наприклад фторалкіладамантан). Основним недоліком такого способу є формування термодинамічно нерівноважного стану дефектів, що знижує межу втомлювальної міцності.

В основу пропонованого винаходу поставлено завдання підвищити втомлювальну міцність деталей.

Вирішення цієї задачі досягається тим, що після традиційної обробки змоченими сталевими кульками в ультразвуковому полі через деталь пропускається потужний імпульс електричного струму тривалістю (20-50)мкс і густиною  $(1-1,5) \cdot 10^8 \text{ А/м}^2$ . Така обробка приводить до формування покращеного плосконапруженого стану приповерхневого шару і, як наслідок, підвищення довговічності деталей і втомлювальної міцності.

Суттєвими ознаками винаходу є:

- передача енергії сталевим кулькам за рахунок енергії ультразвукового поля;
- змочування кульок рідиною;
- проведення додаткової обробки потужним імпульсом електричного струму.

Ознакою відмінною від прототипу є проведення додаткової обробки потужним імпульсом електричного струму.

Реалізація пропонованого способу перевірялась на прикладі електроімпульсної обробки зразків із титанового стопу ВТЗ-1. Для досліджень були виготовлені зразки у формі одинарної лопатки з розмірами робочої частини  $2 \times 10 \times 60 \text{ мм}^3$ . Обробка поверхні здійснювалась наклепом стальними кульками, які коливались в ультразвуковому полі. Джерелом ультразвукових коливань служив генератор марки УЗГ-2-10, працюючий на частоті 17,8кГц. Амплітуда коливань стінки резонатора складала 100ммк. В робочу камеру поміщали 50г кульок діаметром 1,3мм. В робочу камеру додавали також рідину, що забезпечувало більш однорідну обробку і рівномірне по поверхні зміцнення зразків. Зміцнення проводили протягом 120с.

Для обробки зразків імпульсами електричного струму однієї полярності використовувався розряд конденсаторної батареї електрогідроімпульсного пресу моделі Т1220. Регулювання струму розряду через зразок здійснювалось зміною довжини і діаметра мідної дротинки, яка вибухала при протіканні струму. Найчастіше амплітуда струму становила  $1,7 \cdot 10^8 \text{ А/м}^2$  і тривалістю 300мкс. Температура нагрівання зразків контролювалась хромель-копелієвою термопарою, яка притискувалась до середньої частини зразка. Температура зразків в процесі електроімпульсної обробки змінювалась від 80°C до 200°C. Рентгенівська дифрактометрія зразків до і після електроімпульсної обробки проводилась на дифрактометрі ДРОН-3М. Застосовувалось монохроматичне випромінювання лінії  $\text{Co K}\beta$ .

Залишкові макронапруження розраховувались методом " $2\theta - \sin^2 \psi$ " [Васильєв Д.М., Трофимов В.В. Современное состояние рентгеновского способа измерения макронапряжений. Обзор //Заводская лаборатория. -1984. -50, №7. -С.20-29.], а мікродеформації і розміри блоків когерентного розсіювання визначались методом гармонічного аналізу форми рентгенівських ліній [Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. -М.: Металлургия, 1970. -366с.].

Для випробувань на багатоциклічну втомленість зразків використовувався малогабаритний п'єзоелектричний вібростенд. Фіксувалась частота коливань, динамічне навантаження і число циклів до руйнування зразків. Випробування на втомленість виконувалась на базі  $(2 \cdot 10^6)$  циклів при певному навантаженні. Після електроімпульсної обробки зразки випробовувались при такому ж навантаженні, а їх довговічність оцінювалась по відношенню до вибраної бази випробувань. Всього було випробувано 30 зразків по 10 в кожній серії. Випробування на багатоциклічну втомленість показали, що довговічність зразків після обробки одиничним імпульсом струму, коли залишкові стискуючі напруження релаксували на 100-150МПа, зросла приблизно в 1,5 рази при тих же рівнях динамічного навантаження, (див. таблицю).

Таблиця

Характеристики зразків із титанового стопу і результати випробувань на втомленість

№ партії зразків	Обробка	Залишкові макронапруження, $\sigma$ , МПа	Середнє число циклів до руйнування, N, $10^6$
01	Стальними кульками, в ультразвуковому полі, 15 хвилин.	-560	1,3
	То же після імпульсу струму ( $t=80^\circ\text{C}$ )	-500	1,8

02	Стальними кульками, в ультразвуковому полі, 10 хвилин.	-590	1,8
	То же після імпульсу струму ( $t=125^{\circ}\text{C}$ )	-360	2,6
03	Стальними кульками, в ультразвуковому полі, 5 хвилин.	-320	2,7
	То же після імпульсу струму ( $t=180^{\circ}\text{C}$ )	-285	4,1

Було встановлено, що після обробки імпульсним струмом покращується плоско-напружений стан поверхневого шару зразків (покращується лінійність графіків в рентгеноструктурному методі визначення залишкових макронапружень " $2\theta - \sin^2 \psi$ " (при кутах Вульфа-Брегга близьких до  $\pi/2$ )). Це означає, що дефектна кристалічна структура приповерхневого шару металу стає більш однорідною і в ньому реалізується плоско-напружений стан.

Джерела інформації

1. А. с. №456704. СССР, МКИ В23Р1/18. Способ поверхностного упрочнения / И.А. Стебельков. (СССР). - Оpubл. 15.01.75. Бюл. №2.
2. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник. -М.: Машиностроение, 1987. -328с. -С.260-262.
3. А. с. №933421. СССР, МКИ В24С1/10, В24В1/4. Способ поверхностного упрочнения / Я.И. Бляшко, Б.Г. Ванюшов, А.А. Гонор, Т.Г. Малышева, Л.Д. Казьмина. (СССР). -Оpubл. 07.06.82. Бюл. №21.
4. Васильев Д.М., Трофимов В.В. Современное состояние рентгеновского способа измерения макронапряжений. Обзор // Заводская лаборатория. -1984. -50, №7. -С.20-29.
5. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. -М.: Металлургия, 1970. -366с.