

УДК 621.326

**Віктор Ковальов, д.т.н., проф.; Яна Васильченко, д.т.н., проф.; Галина Клименко, д.т.н., проф.; Максим Шаповалов, к.т.н., доц.; Микола Шаповалов**  
Донбаська державна машинобудівна академія, Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РІЗЦІВ МАГНІТОІМПУЛЬСНОЮ ОБРОБКОЮ**

Анотація. У важкому машинобудуванні різальний інструмент з твердого сплаву грає ключову роль у забезпеченні ефективного виробництва. Для підвищення продуктивності та тривалості служби інструменту, необхідно здійснювати пошук нових технологій обробки. У цьому контексті, метод обробки імпульсним магнітним полем набуває все більшого значення через свою спроможність впливати на властивості матеріалу.

**Ключові слова:** надійність, магнітоімпульсна обробка, збірний різець, твердий сплав

**Viktor Kovalov, Ph.D., Prof.; Yana Vasylchenko, Ph.D., Prof.; Galyna Klymenko, Ph.D., Prof.; Maksym Shapovalov, Ph.D., Assoc. Prof.; Mykola Shapovalov**

## **INCREASING THE RELIABILITY OF THE CUTTERS MAGNETIC PULSE TREATMENT**

Abstract. In heavy engineering, carbide cutting tools play a key role in ensuring efficient production. To increase productivity and tool life, it is necessary to search for new processing technologies. In this context, pulsed magnetic field machining is becoming increasingly important due to its ability to influence material properties.

**Keywords:** reliability, magnetic pulse machining, prefabricated cutter, carbide

Однією з перспективних технологій підвищення міцності, ресурсу й експлуатаційних властивостей металевих виробів для різних галузей техніки є обробка імпульсним магнітним полем (ОІМП). Розробляються технології зміцнення методом магнітоімпульсної обробки різних матеріалів, досліджується вплив магнітної обробки на структуру й властивості оброблюваних виробів, визначаються режими обробки для різних умов [1].

Ефект підвищення якості від ОІМП пояснюється метастабільним станом системи структури твердого сплаву й резонансним відгуком її компонентів на динамічний електромагнітний вплив. При обробці твердих сплавів вивчався вплив ОІМП на структуру й властивості складових компонентів. Відомо, що міцність твердих сплавів багато в чому визначається сполучною фазою. Спостереження за поширенням руйнуючої тріщини показали, що в твердих сплавах марок ВК і ТТК руйнуюча тріщина поширюється, в основному, по кобальтовій фазі, а в двокарбідних титановольфрамкобальтових твердих сплавах руйнуюча тріщина поширюється, в основному, по фазі  $(Ti,W)C$ , кобальтова складова може гальмувати руйнуючу тріщину. Кобальтова фаза твердих сплавів являє собою твердий розчин вольфраму та вуглецю в кобальті. Упорядковане розташування атомів відрізняється більш низькою внутрішньою енергією в порівнянні з неупорядкованим, особливо, якщо розподіл атомів по певних вузлах кристалічних ґрат відбувається при порівняно низькій температурі, коли ентропія, пов'язана з неупорядкованістю, відіграє менш істотну роль.

Під дією магнітного поля міграція атомів у металах відбувається більш складним образом у порівнянні з дифузією тільки при термічному або імпульсному впливах і залежить як від величини й характеру магнітного поля, так і магнітних характеристик матеріалів, що дифундують. Зокрема, досить добре вивчений ефект

прискорення дифузії у твердій фазі феромагнетиків (якщо феромагнітні атоми або дифузанта, або матриці пов'язані з виникненням рушійної сили переносу магнітної природи. Значно менш зрозуміла зміна швидкості переносу у випадку слабких магнітних полів і неферомагнітних металів або сплавів, хоча такий вплив експериментально підтверджений для випадків дифузії як у твердій, так і в рідкій фазі [2].

Накладення змінного магнітного поля приводить, як було відзначено, до розширення дифузійної зони, що є прямим доказом прискорювального впливу зазначеного фактора. Відомо, що змінне магнітне поле викликає індукційні струми [3].

Зміна властивостей кобальтової фази при ОІМП зводиться до перебудови атомів під впливом магнітного поля. Енергія, необхідна для рекристалізації або виділення дисперсної фази, вище енергії магнітного поля, що створює ефект ОІМП. Отже, ОІМП не може впливати на фазовий состав або текстуру матеріалу. Однак виділення фази, кристалізація або напруги можуть розвиватися уздовж таких кристалографічних напрямків, що енергія кристалізації або виділення буде мінімальна в певному напрямку, що залежить від напрямку магнітного поля.

У будь-якому матеріалі концентрація буде змінюватися приблизно періодично відносно середнього значення (одномірний випадок):

$$C(x) = C_0 + C_m \cos(\pi x/l).$$

Це відповідає зміні концентрації на відстані  $l$  уздовж осі  $x$  від максимального значення  $C_0 + C_m$  до мінімального  $C_0 - C_m$ . Ці градієнти будуть поступово зменшуватися за рахунок переміщення розчиненого елемента з областей з більш високою концентрацією в області з більш низькою концентрацією. Якщо коефіцієнт дифузії не залежить від состава, то

$$C(x, t) = C_0 + C_m \cos(\pi x/l) \exp(-\pi^2 D t/l^2).$$

Це означає, що перехід від концентрації  $C$  до кінцевої концентрації  $C_0$  у будь-якому об'ємі зразка

$$C - C_0 \approx \exp(-t/\tau),$$

де  $\tau$  – час релаксації.

Зменшенню  $\tau$  сприяє збільшення коефіцієнта дифузії і зменшення відстані  $l$  між максимумами й мінімумами концентрації.

Для кубічних кристалічних ґраток коефіцієнт дифузії:

$$D = \frac{1}{6} \Gamma \alpha^2,$$

де  $\Gamma$  – частота перескоків атомів,  $\alpha$  – період кристалічної ґратки.

Частота перескоків:

$$\Gamma = z \nu \exp\left(\frac{-\Delta G}{RT}\right),$$

де  $z$  – кількість сусідніх атомів,  $\nu$  – частіть коливань у даному напрямку, яка приведе до перескоків атомів;  $\Delta G$  – зміна вільної енергії кристалічної ґратки.

Проведені дослідження впливу ОІМП на надійність різців при лабораторних та експлуатаційних випробуваннях токарних різців. Випробування проводилися відповідно до методики тривалих випробувань на надійність різального інструменту [4] на токарному верстаті мод. КЖ16274Ф3 модульними різцями висотою державки  $H = 45$  мм при обробці валка зі сталі 90ХФ з режимами:  $t = 12$  мм,  $S = 1,6$  мм/об.,  $\nu = 52$  м/хв. Підвищення міцності твердосплавного інструмента після ОІМП пояснюється зменшенням розтягувальних напружень у кобальтовій фазі, що перешкоджає

поширенню руйнуючих тріщин у кобальтовій фазі твердого сплаву, тобто веде до підвищення його міцності (рис.1).

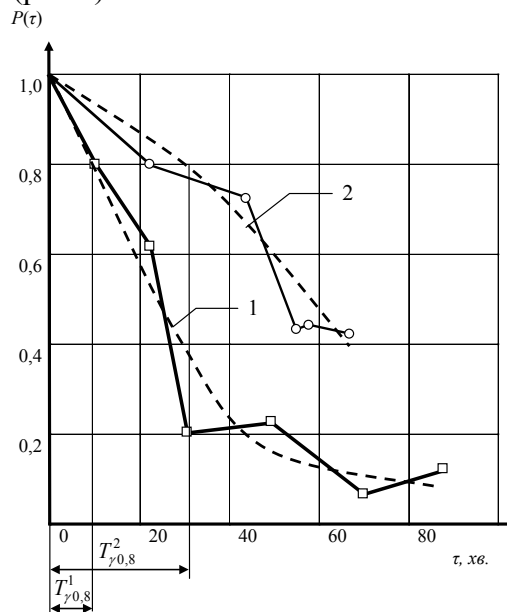


Рис. 1. Результати аналізу безвідмовної роботи токарних різців пластинами Т5К10 при порівняльних випробуваннях 1 – Т5К10, 2 – Т5К10+ОІМП  
 — статистичні — — — теоретичні

Аналіз показав збільшення середнього періоду стійкості зміцненого інструмента, а також зменшення коефіцієнта варіації стійкості інструмента й зміни закону розподілу стійкості з Вейбула до нормального, що дало змогу підвищити  $\gamma$ -відсотковий період стійкості від 7 до 35 хв. при підвищенні середнього періоду в 1,6 рази, що особливо важливо для верстатів зі ЧПК.

Аналіз результатів порівняльних експлуатаційних випробувань збірних твердосплавних різців, з пластинами зміцнених ОІМП показав зміння показників надійності: коефіцієнт варіації стійкості знизився в 2,33 рази, середній період стійкості підвищився у 1,6 рази, гама-процентний період стійкості для  $\gamma = 80\%$  підвищився у 3,5 рази, що особливо важливе для важких токарних верстатів з ЧПК.

Для оцінки впливу ОІМП на стабільність різальних властивостей пластин для чорнового точіння виготовлених із твердих сплавів на прикладі сплаву Т5К10 проаналізована зміна їх мікротвердості до і після обробки, загальна картина якої представлена на рис. 2.

Вимір мікротвердості поверхневого шару проводився за допомогою приладу ПМТ-3. Величина навантаження на індентор становила  $P = 0,5$  Н.

Величину мікротвердості визначали по формулі:

$$H_{\mu} = \frac{1854P}{d^2},$$

де  $P$  – навантаження на індентор, Н;  $d$  – розмір діагоналі відбитка, мкм.

На підставі аналізу розподілу мікротвердості на поверхні досліджуваного твердого сплаву було отримано, що після ОІМП чисельне значення її збільшується в середньому від  $\bar{H} = 16100$  МПа до  $\bar{H} = 16900$  МПа, а також коефіцієнт варіації значень мікротвердості знижується від 0,13 до 0,07 (значимість відмінностей середніх значень коефіцієнта варіації перевірений за критерієм Стьюденту). для твердих сплавів існує значення напруженості магнітного поля при ОІМП, при якому відбувається

максимальне переміщення дифракційних ліній кобальтової фази й збільшення інтенсивності лінії (100) Co, яке дорівнює близько  $1,8 \cdot 10^5$  А/м.

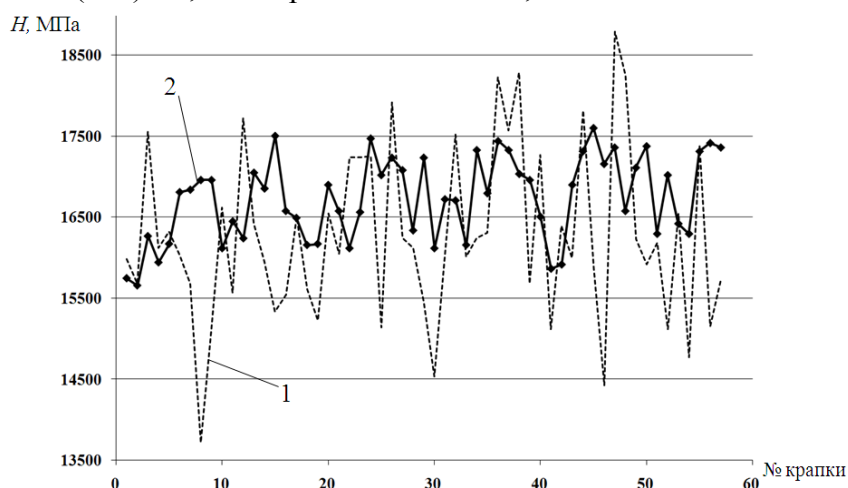


Рис. 2. Порівняльна картина виміру мікротвердості поверхні зразків з твердого сплаву Т5К10: 1 – без ОІМП, 2 – після ОІМП

Підвищення міцності твердосплавних різальних пластин для токарних різців, обробленого імпульсним магнітним полем, пояснюється стабілізацією балансу напруг у кобальтовій фазі й перешкоджає поширенню руйнуючих тріщин, що веде до підвищення його міцності. Експлуатаційні тривалі випробування різальних пластин Т5К10 збірного токарного різця довели, що ОІМП підвищує стабільність роботи різального інструменту, про що свідчить зменшення діапазону розсіювання стійкості від 6–94 до 22–66 хв. і зменшення коефіцієнту варіації від 0,7 до 0,3. Визначені раціональні режими ОІМП твердих сплавів для отримання структури, яка має максимальні значення міцності. Напруженість магнітного поля при цьому дорівнює  $1,8 \cdot 10^5$  А/м.

### Перелік посилань

1. Soroka O., Rodichev I., Shabetia O., Kovalov V., Vasilchenko Y., Shapovalov M. Strength of tool materials. Modern trends in material processing : collective monograph / Edited by Predrag Dašić. Vrnjačka Banja, 2018. Pp. 185–217. ISBN 978-86-6075-065-7.

2. Родічев Ю. М., Сорока О. Б., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Прискорені випробування різальних пластин при інтенсивному контактному навантаженні. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. пр. Краматорськ, 2018. № 1 (43). С. 181–187.

3. Shapovalov M. Kovalov V., Vasylichenko Y. Increase the productivity of hard-alloy tools for heavy machine tools by processing impulse magnetic field (Підвищення продуктивності твердосплавних інструментів для важких верстатів шляхом обробки імпульсним магнітним полем). Вісник ТНТУ. Тернопіль, 2018. № 4 (92). С. 52–59.

4. Шаповалов М. В., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В. Вплив результатів виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів, зміцнених ОІМП на підвищення ефективності технологічного процесу різання. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. Харків, 2018. Вип. 4 (6). С. 84–92