

УДК 621.923

Д.В. ТАРГАН, В.С. МАЙБОРОДА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ТВЕРДІСТЬ ТА СТРУКТУРУ МАТЕРІАЛУ МІТЧИКІВ ІЗ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ

У роботі досліджено вплив магнітно-абразивного оброблення (МАО) на зміни твердості та структури матеріалу мітчиків, виготовлених із швидкорізальної сталі по глибині поверхневого шару. Результати дослідження показали, що при МАО відбувається зміцнення поверхневих шарів матеріалу мітчиків, що гарантовано забезпечить збільшення періоду їх зносостійкості в порівнянні з необробленими. Було встановлено, що після МАО великі карбідні зерна подрібнюються під час ударно-фрикційної взаємодії з магнітно-абразивним інструментом (МАІ), підвищується їх дисперсність і щільність, що сприяє формуванню більш однорідної структури сталі, підвищенню зносостійкості і міцності. Аналіз розміру карбідних фаз в структурі матеріалу мітчиків показав, що після МАО в поверхневому шарі карбіди мають на 25% менші розміри та більшу щільність.

Ключові слова: магнітно-абразивне оброблення, твердість по глибині матеріалу, зміцнення, наклеп, ударно-фрикційний вплив частинок порошкового інструменту, структура, подрібнення карбідів, зносостійкість.

Д.В. ТАРГАН, В.С. МАЙБОРОДА

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ТВЕРДОСТЬ И СТРУКТУРУ МАТЕРИАЛА МЕТЧИКОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

В работе исследовано влияние магнитно-абразивной обработки (МАО) на изменения твердости и структуры материала метчиков, изготовленных из быстрорежущей стали по глубине поверхностного слоя. Результаты исследования показали, что при МАО происходит укрепление поверхностных слоев материала метчиков, что гарантированно обеспечит увеличение периода их износостойкости по сравнению с необработанными. Было установлено, что после МАО большие карбидные зерна измельчаются при ударно-фрикционном взаимодействии с магнитно-абразивным инструментом (МАИ), повышается их дисперсность и плотность, что способствует формированию более однородной структуры стали, повышению износостойкости и прочности. Анализ размера карбидных фаз в структуре материала метчиков показал, что после МАО в поверхностном слое карбиды имеют на 25% меньшие размеры и большую плотность.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, твердость по глубине материала, укрепления, наклеп, ударно-фрикционное влияние частиц порошкового инструмента, структура, измельчения карбидов, износостойкость.

D.V. TARHAN, V.S. MAIBORODA

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

THE INFLUENCE OF MAGNETO-ABRASIVE MACHINING ON HARDNESS AND STRUCTURE OF MATERIAL OF CUTTING TAPS FROM HIGH-SPEED STEEL

In this paper, the effect of magneto-abrasive machining (MAM) on the hardness of the depth and structure of material of cutting taps from high-speed steel is investigated. The results of the study showed the possibility of hardening the surface layers of the cutting tap material at the expense of MAM that with guarantee will provide increase in the period of their wear resistance in comparison with the untreated ones. It was found that after MAM large carbide grains are crushed by shock interaction with a magneto-abrasive tool (MAT), increasing the dispersion, which contributes to the formation of a more homogeneous structure of the steel, increasing hardness and strength. The analysis of the size of particles of carbides of material of taps is carried out and it is established that after MAM in the surface layer carbides have 25% smaller dimensions and higher density.

Keywords: magneto-abrasive machining, hardness on material depth, hardening, shock influence of particles of the powder tool, structure, crushing of carbides, wear resistance.

Постановка проблеми

Найпоширенішими з'єднаннями деталей машин є різьбові. Широке застосування різьбових з'єднань у машинах і механізмах пояснюється їхньою простотою й надійністю, зручністю регулювання затягання, а також можливістю їх розбирання й повторного складання без заміни деталей.

Нарізування різьби мітчиками є простим, широко відомим і високоефективним методом отримання внутрішньої різьби [1]. Даний метод пропонує продуктивне і економічне нарізування різьби, особливо невеликого діаметру, завдяки невеликому часу простою обладнання, високій швидкості різання і відносно тривалого періоду стійкості інструменту. Мітчиками можна отримати більшість профілів різьби, вони підходять для всіх типів верстатів як із заготовками, що обертаються так і з нерухомими заготовками.

Але при використанні мітчиків виникає ряд проблем. Відведення стружки - це велика проблема при нарізанні різьби, особливо в м'яких матеріалах, адже при обробці такого матеріалу утворюється зливна стружка. Така стружка може утворювати затори навколо мітчика або забивати його канавки, що може привести до руйнування мітчика в отворі. Також нарізування різьби передбачає дуже тісний контакт інструменту із заготовкою, через що інструмент піддається впливу великих сил. Мітчик може зламатися і застрягти в отворі, при цьому деталь може піти в брак, тому актуальним є питання підвищення працездатності зазначеного різьбонарізного інструменту. Якість інструменту суттєво залежить від форми різальних кромок (РК), шорсткості та фізико-механічних характеристик поверхневих шарів його робочих елементів, які в більшості випадків формуються на фінішних етапах виготовлення при застосуванні нових, інтегрованих технологій в інструментальному виробництві.

Однією з перспективних фінішних технологічних операцій при виготовленні мітчиків підвищеної якості є магнітно-абразивне оброблення (МАО). Цей метод дозволяє комплексно впливати на стан поверхневого шару, контролювано змінювати його фізико-механічні властивості та мікрогеометрію як робочих поверхонь різального інструменту (PI), так і РК.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Досліджень процесу МАО мітчиків і його вплив на показники якості при застосуванні магнітно-абразивних порошків різного складу, з різноманітною формою частинок та кінематикою оброблення суттєво обмежені. Окремі результати досліджень МАО мітчиків наведено в [2-6]. Отримано позитивні результати при використанні методу МАО різьбонакатних мітчиків [7]. Але наведені результати обмежені або розрахунками, або виключно якісними показниками, що опосередковано підтверджує наявність пластичного деформування поверхневого шару матеріалу, зменшення шорсткості робочих поверхонь.

В роботах [8, 9] досліджено вплив МАО магнітно-абразивним інструментом, сформованим з магнітно-абразивних порошкових матеріалів різного складу, форми та розмірів на якість, точність та стійкість мітчиків, виготовлених із швидкорізальної сталі.

В роботі [10] в усіх мітчиках після МАО з вертикальним розташуванням деталей у робочій зоні поверхнева твердість зменшилася в середньому на 10%. Результати досліджень поверхневої твердості робочих частин мітчиків після магнітно-абразивного оброблення з вертикальним розташуванням деталі у робочій зоні потребували додаткових досліджень твердості по глибині матеріалу. Для пояснення процесу зміни твердості поверхневого шару необхідно дослідити зміну структури матеріалу після МАО.

Формулювання мети дослідження

Мета роботи - дослідження твердості та структури матеріалу по глибині поверхневого шару мітчиків із швидкорізальної сталі до та після МАО та визначити механізм впливу оброблення на структурні параметри матеріалу інструменту.

Викладення основного матеріалу дослідження

Представлені дослідження є продовженням роботи [10], для якої використовували машинно-ручні мітчики М10 з прямими канавками, виготовлені із швидкорізальної сталі Р6М5.

Дослідження твердості по глибині проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні на індентор 1 Н. Вимірювання проводили на спеціально підготовлених шліфах мітчиків. Шліфування робочої частини мітчиків виконували під кутом 5° до осі інструмента (рис. 1). Мікротвердість матеріалу вимірювали від поверхні робочої частини до основи.

Проводячи вимірювання вздовж осі мітчика, неможливо отримати значення твердості по глибині в поверхневих шарах матеріалу з малим кроком, тому що крок між зубцями мітчика 1,5 мм і різниця по глибині між ними може перевищувати зміцнений в результаті оброблення та працюючий під час нарізання різьби шар. Для можливості результативних вимірювань при такій схемі необхідно виконати шліф під кутом близько 1° , що потребує точності устаткування, базування шліфа та відповідно більшого часу виготовлення.

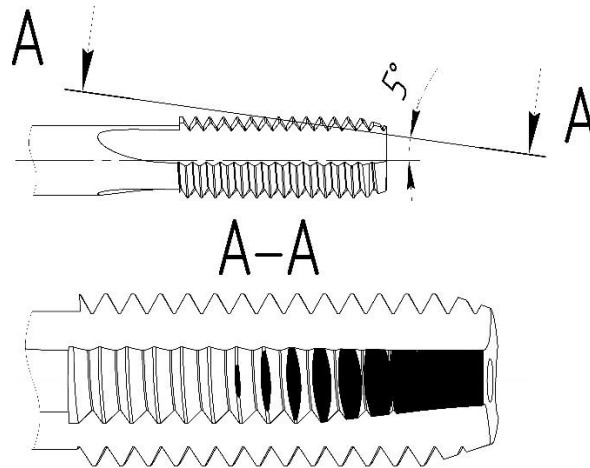
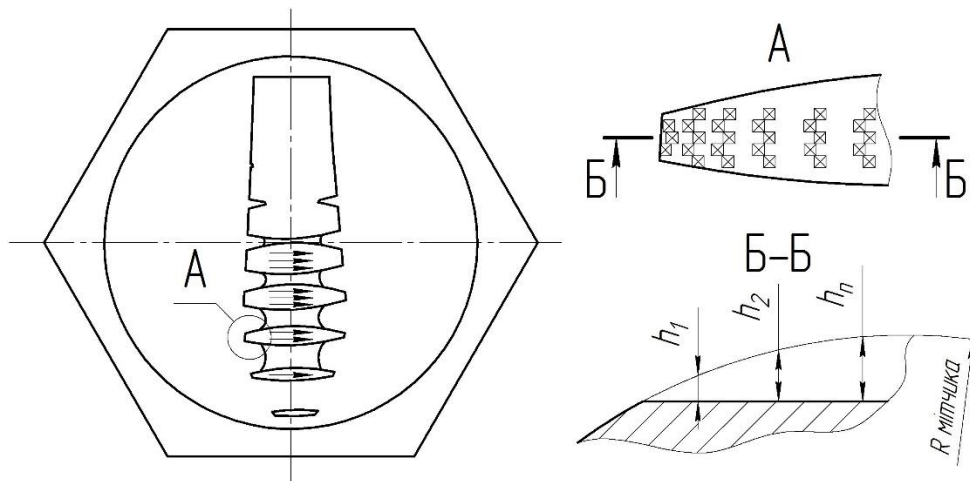


Рис. 1. Схема виготовлення шліфа мітчика

Була запропонована схема вимірювання мікротвердості матеріалу мітчика вздовж окремих зубців шліфа (рис. 2).

Рис. 2. Схема вимірювання мікротвердості: R – зовнішній радіус мітчика; h – глибина замірів

Такий метод дозволяє проводити вимірювання твердості від поверхні до основи матеріалу з малим кроком та великою кількістю замірів, що підвищує достовірність результатів. Глибину замірів на кожному окремому зубі визначали геометрично за довжиною зашліфованої ділянки зуба, яка є хордою кола зовнішнього діаметра мітчика. Зовнішній вигляд підготовленого шліфа мітчика та слідів від уколів мікротвердоміра представлено на рис. 3.

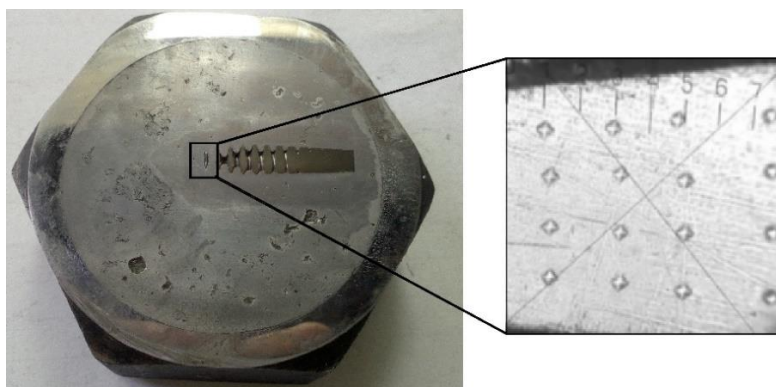


Рис. 3. Зовнішній вигляд шліфа та уколів мікротвердоміра

Результати вимірювань твердості по глибині матеріалу мітчиків представлено на рис. 4. Встановлено, що після оброблення під поверхнею знаходиться зона з відносно зниженою мікротвердістю. Товщина цієї зони складає до 10 мкм в залежності від розміру частинок порошку. Це пов'язано з виходом на поверхню в процесі пластичного деформування дефектів матеріалу тонкого поверхневого шару та невеликим відтисненням дрібнодисперсних карбідів вглиб матеріалу [11]. В результаті чого в поверхневому шарі мітчиків після MAO крупним порошком утворюється підшаровий максимум на глибині 8-12 мкм, а після оброблення дрібним - на глибині 2-5 мкм. Наявність підшарового максимуму пов'язано з ударним впливом частинок порошкового інструменту з оброблюваною поверхнею, що сприяє частковим структурним перетворенням тонкого поверхневого шару. Подібні ефекти спостерігаються під час дії мікро-кульок або частинок абразиву на оброблювану поверхню при струменевих видах оброблення та гідро-абразивному обробленні [12].

У всіх мітчиках мікротвердість основи становить $HV = 7,6-7,8$ ГПа. Більше значення твердості поверхневого шару пов'язане з наклепом в результаті мікроударів абразивних частинок і пластичної деформації поверхні мітчиків. Це призводить до спотворення ґратки структурних складових, підвищення концентрації дислокацій, подрібнення зерен матеріалу. Глибина зміцненого шару з підвищеною твердістю у мітчиках після MAO, оброблених крупним порошком становить 150 мкм, а після оброблення дрібним порошком – 100 мкм. Досягнення мікротвердості основи в необробленому мітчику спостерігається на глибині 40 мкм від поверхні. Ступінь наклепу поверхневого шару після MAO порошком з розміром частинок 400/315 мкм досягає 37%, а з розміром частинок 200/160 мкм – 26 %, в той час як після шліфування за стандартною технологією – 19%. Отримане в результаті MAO зміцнення поверхневого шару мітчиків гарантовано забезпечить збільшення періоду їх зносостійкості в порівнянні з необробленими [9].

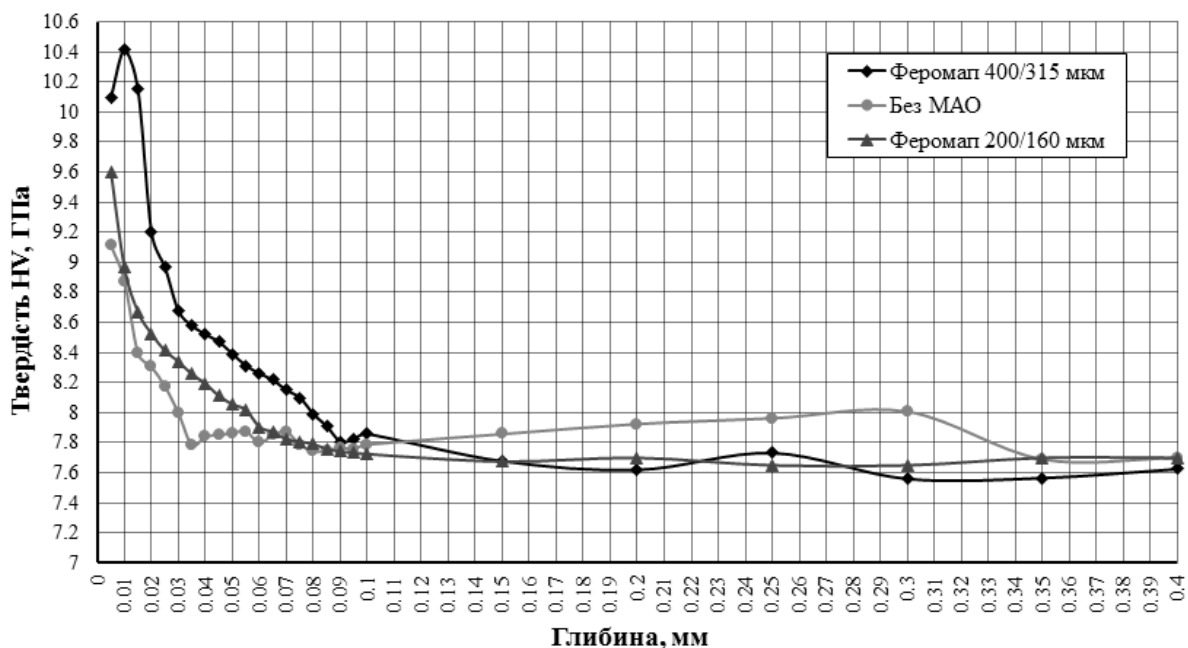


Рис. 4. Твердість по глибині матеріалу робочих частин мітчиків

Досліджено мікроструктуру поверхневого шару матеріалу мітчиків після MAO. Підготовлену поверхню шліфа за рекомендаціями [13] було протравлено 5% розчином азотної кислоти в етиловому спирті. Зовнішній вигляд мікроструктури поверхневого шару наведено на рис.5.

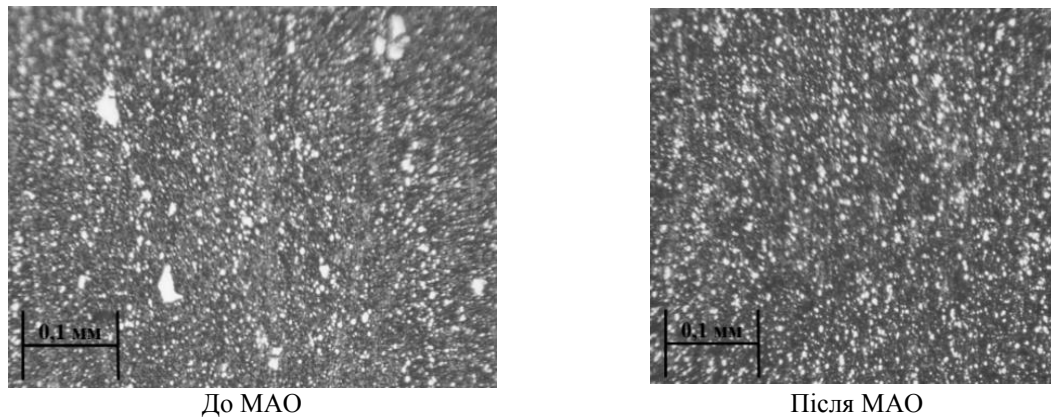


Рис. 5. Зовнішній вигляд структури матеріалу мітчиків на глибині 80-100 мкм

Показано, що після MAO великі карбідні зерна (світлі зерна) подрібнюються під час ударної взаємодії з МАІ, підвищуючи дисперсність, що сприяє формуванню більш однорідної структури сталі, підвищенню твердості, міцності. Додатково, з підвищенням дисперсності карбідів, підвищується теплостійкість сталі, що особливо важливо для металорізального інструменту.

Методом графічного аналізу було визначено розміри карбідів матеріалу робочих частин мітчиків без та після MAO на різній глибині від поверхні. Результати вимірювань представлено в табл.1. та на рис. 6.

Таблиця 1

Величина карбідів на різній глибині матеріалу мітчиків

Оброблення мітчика	Глибина вимірювань від поверхні, мкм	Середнє значення розмірів карбідів, мкм	Відхилення Std, мкм
Без MAO	15-25	3,99	0,515
	80-120	7,82	3,14
	>400	8,93	1,26
Феромап 200/160 мкм	15-25	3	0,3
	80-120	5,94	1,55
	>400	8,6	2,02
Феромап 400/315 мкм	15-25	2,67	0,4
	80-120	5,9	1,004
	>400	8,05	2,66

Встановлено, що величина карбідів в шарі до 150 мкм у мітчиків після MAO на 25-30% менша ніж в необроблених. Дрібні дисперсні карбіди розташовані більш щільно та рівномірно після оброблення крупним порошком Феромап 400/315 мкм, що можна пояснити більшою енергією, яка передається поверхневому шару матеріалу в процесі ударно-фрикційної взаємодії частинок магнітно-абразивного інструменту з оброблюваною поверхнею. Дія MAO спостерігається і в матеріалі основи. Залишкові напруження, що виникають після MAO [2, 14] та зростання щільності дислокацій в приповерхневому шарі спричиняють подрібнення карбідів матеріалу на значній глибині від поверхні (>400 мкм) та зменшення їх розмірів на 10% (табл.1).

Отримані результати не суперечать раніше отриманим даним [3,8-11,14] і розширюють уяву про процеси, які відбуваються в матеріалі при MAO інструменту з швидкорізальною сталі.

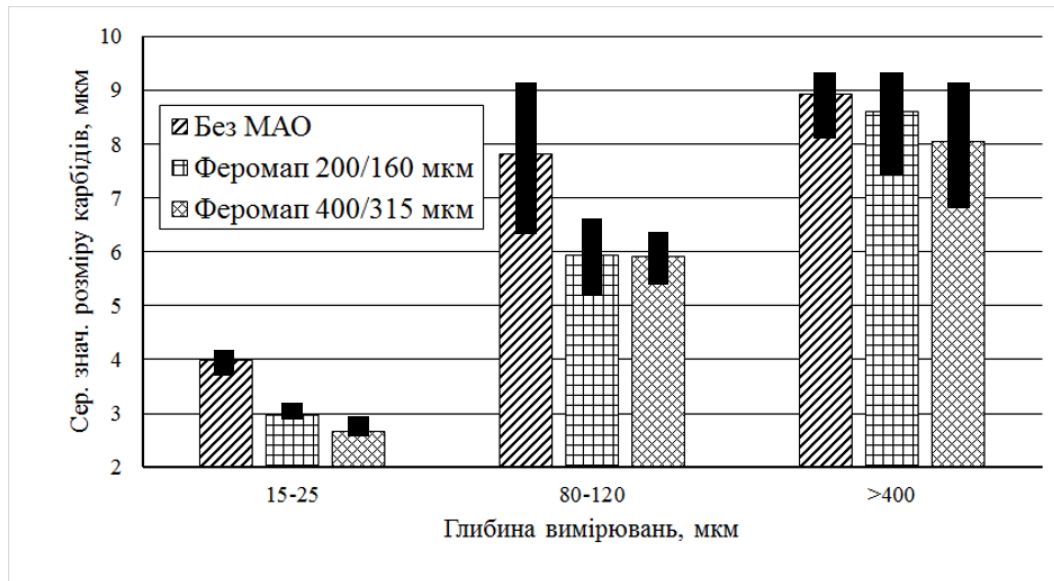


Рис. 6. Розміри карбідів по глибині матеріалу мітчиків

Висновки

Досліджено вплив MAO на твердість по глибині та структуру матеріалу мітчиків. Встановлено, що після MAO під поверхнею знаходиться зона з відносно зниженою мікротвердістю, що пов'язано з виходом на поверхню в процесі пластичного деформування дефектів матеріалу тонкого поверхневого шару та невеликим відтисненням дрібнодисперсних карбідів вглиб матеріалу. В поверхневому шарі мітчиків після MAO крупним порошком утворюється підшаровий максимум на глибині 8-12 мкм, а після оброблення дрібним - на глибині 2-5 мкм. Наявність підшарового максимуму пов'язано з ударно-фрикційним впливом частинок порошкового інструменту з оброблюваною поверхнею. Ступінь наклепу поверхневого шару після MAO порошком з розміром частинок 400/315 мкм досягає 37%, а з розміром частинок 200/160 мкм – 26 %, в той час як після шліфування за стандартною технологією – 19%.

Після MAO великі карбідні зерна подрібнюються під час ударної взаємодії з МАІ, підвищуючи дисперсність, що сприяє формуванню більш однорідної структури сталі, підвищенню твердості, міцності. Величина карбідів в шарі до 150 мкм у мітчиків після MAO на 25-30% менша ніж в необроблених. Дрібні дисперсні карбіди розташовані щільніше та рівномірніше після оброблення крупним порошком Феромап 400/315 мкм, що можна пояснити більшою енергією, яка передається поверхневому шару матеріалу в процесі ударно-фрикційної взаємодії частинок магнітно-абразивного інструменту з оброблюваною поверхнею. Залишкові напруження та зростання щільності дислокацій в приповерхневому шарі спричинюють подрібнення карбідів матеріалу на значній глибині від поверхні основи та зменшення їх розмірів на 10%.

Список використаної літератури

1. Киреев Г. И. Проектирование метчиков и круглых плашек: учебное пособие: – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 107 с.
2. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон– Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
3. Дюбнер Л.Г. Магнитно-абразивная обработка концевого режущего инструмента. / Л.Г.Дюбнер, В.С.Майборода, А.А.Ивановский. – Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Машиностроение. - вып. 44. - 2003. - С.107-108.
4. Denkena B. Influence of the cutting edge rounding on the chip formation process: Part 1. Investigation of material flow, process forces, and cutting temperature. / B.Denkena , J.Köhler, Mesfin Sisay Mengesha // Prod. Eng. Res. Devel., 2012.-№6. - P.329-338.
5. Tikal F. Schneidkantenpräparation Ziele, Verfahren und Messmethoden. Berichte aus Industrie und Forschung /F.Tikal, R.Bienemann, L.Heckmann //Kassel University Press GmbH. - Kassel, 2009. - P. 193.
6. Хоменко В.А. Магнитно-абразивная обработка метчиков /В.А.Хоменко, А.М.Иконников, А.В.Богданов// Ползуновский вестник – 2012. - №1/1-С.318-320.

7. Новиков П.А. Повышение точности формообразования внутренних резьб М3...М6 в деталях из алюминиевых сплавов: дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Новиков П.А. – Севастополь, 2012. – 210 с.
8. Майборода В.С. Вплив магнітно-абразивного оброблення на якість мітчиків із швидкорізальної сталі /В.С.Майборода, І.В.Ткачук, Д.Ю.Джулій, Д.В.Тарган // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" №772, 2013.
9. Майборода В.С. Вплив магнітно-абразивного оброблення на мікрогеометрію та експлуатаційні показники мітчиків зі швидкорізальної сталі / В.С.Майборода, Д.В.Тарган // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: збірник наукових праць . - Житомир: ЖДТУ, 2015. - Вип.15.- С.
10. Майборода В. С. Магнітно-абразивне оброблення мітчиків із швидкорізальної сталі на верстаті з кільцевим розташуванням робочої зони / В. С. Майборода, Д. В. Тарган, О. Б. Мусіюк. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ. - вип. №40, 2017. – С. 121-130.
11. Бобіна М.М. Структура та властивості поверхневого шару інструменту з сталі Р6М5 після магнітно-абразивної обробки /М.М. Бобіна, В.С.Майборода, Н.В.Ульяненко, А.Б.Бобін //Фізика і хімія твердого тіла. – 2002.- Т. 3. - № 4. - С. 577-580.
12. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий // Техника. – Киев, 1989. – 177 с.
13. Болховитинов Н.Ф., Болховитинова Е.Н. Атлас макро- и микроструктур металлов и сплавов // Машгиз. - М., 1959. – 88 с.
14. Byelyayev O. Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung: Phd-Thesis, Otto von Guericke. –Magdeburg, 2008. – P. 150.