

DOI: 10.31319/2519-2884.39.2021.5

УДК 621.7/.9

С.В. Ковалевський, д.т.н, професор, kovalevskii@i.ua

О.С. Ковалевська, к.т.н., доцент, olenakovalevskaya@gmail.com

Ю.В. Лупа, магістрантка

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВІ КОМБІНОВАНОГО ВПЛИВУ СИЛЬНИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ

В роботі наведено аналіз сучасного стану наукових досліджень в області процесів формування властивостей матеріалів. Розглядається проблема узгодження високих вимог до експлуатаційних характеристик деталей з потребами ресурсозбереження. Основна увага акцентується на використанні комбінованої дії потужних магнітних полів у якості технологічного впливу для модифікації параметрів виробів машинобудування. Виділяються та описуються характерні особливості поведінки конструкційних матеріалів у сильних магнітних полях у широкому температурному інтервалі. Значна увага приділяється технологічним методам обробки, що базуються на принципі суперпозиції впливів різної природи. Простежується складний і багатоплановий вплив магнітного поля на всі структурні рівні як магнітних, так і немагнітних матеріалів. В результаті виявлено основні переваги використання магнітного поля в якості рівномірного потоку для впливу на оброблюваний матеріал. Виділяються невирішені в цій області питання, які зумовлюють необхідність проведення відповідних досліджень та окреслюють перспективи подальших робіт у цьому напрямі. Надані результати використання магніторезонансної обробки зразків матеріалів.

Ключові слова: магнітне поле, ресурсозбереження, комбінований вплив, магнітна обробка.

The analysis of the current state of scientific research in the field of processes of formation of properties of materials is given in the work. The problem of coordination of high requirements to operational characteristics of details on needs of resource saving is considered. Based on compliance with the rules of use of machine components and process equipment for modifiers. Characteristic features of behavior of constructional materials in strong magnetic fields in a wide temperature range are allocated and described. Considerable attention is paid to technological methods of processing based on the principle of superposition of influences of different nature. The complex and multifaceted influence of the magnetic field on all structural levels of both magnetic and nonmagnetic materials can be traced. As a result, the main advantages of using a magnetic field as a uniform flux to influence the processed material are revealed. There are unresolved issues in this area, which determine the need for relevant research and outline the prospects for further work in this direction. The results of the use of magnetic resonance processing of material samples are given.

Key words: magnetic field, resource saving, combined effect, magnetic processing.

Постановка проблеми

Підвищення ефективності виробництва — першочергове завдання сучасного машинобудування, в основі рішення якого лежить управління технологією обробки деталей. Сьогодні постійно розширюються вимоги до експлуатаційних характеристик, які головним чином визначають працездатність, надійність і довговічність деталей машин. В таких умовах особливого значення набуває раціональне використання виробничих ресурсів, найважливішим показником якого є собівартість. Саме тому для сучасного виробництва зниження витрат на різного роду ресурси є одним із пріоритетних напрямів підвищення конкурентоспроможності. Знаходження оптимальних рішень на стику високих вимог до експлуатаційних властивостей виробів з потребами ресурсозбереження — незмінно актуальна проблема технології машинобудування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Традиційні технологічні методи впливу на робочі поверхні виробів, такі як обробка різанням, хімічна, термічна та хіміко-термічна обробка або поверхнево-пластичне деформування,

потребують значних витрат енергії, часу, матеріальних і трудових ресурсів. Їх обмеженість і висока вартість диктують необхідність вибору найбільш ефективних ресурсозберігаючих технологій. Перед підприємствами постає завдання зниження витрат виробництва при збереженні необхідної якості виробів. Рішення цієї проблеми пов'язане з удосконаленням технологій, зокрема пошуком нових енергоефективних процесів формування властивостей матеріалу.

Існує велика кількість методів підвищення експлуатаційних характеристик: фізичні, хімічні, електричні, комбіновані тощо. Технологічним способом зміцнення робочих поверхонь деталей машин присвячена велика кількість робіт. Все частіше використовується магнітно-імпульсна обробка металів [1], оскільки дає широкі можливості для підвищення якості продукції. Водночас імпульсний характер впливу спричиняє виникнення скін-ефекту, тобто при високій частоті розряду глибина проникнення магнітного поля невелика і обмежується поверхневим шаром. Об'ємна зміна властивостей матеріалу може бути досягнута термічною обробкою, за рахунок якої відбувається перебудова структури по всьому об'єму виробу. Разом з тим, такий вид обробки має ряд недоліків, серед яких великі внутрішні напруження та викривлення внаслідок нерівномірного охолодження по перетину деталі. Крім того, високотемпературний нагрів для проведення процесу потребує значних енерговитрат.

Застосування зовнішніх енергетичних полів (електричних, електромагнітних, ультразвукових і мікрохвильових) може на якісному рівні впливати на структуру і механічні властивості матеріалів. Багато публікацій присвячено дослідженню на атомно-молекулярному рівні механізмів впливу електричних і магнітних полів на процеси пластичного деформування. Встановлено, що під дією імпульсів електричного струму і магнітного потоку в матеріалі виникають електропластичний і магнітопластичний ефекти.

Результати численних наукових робіт дозволяють відзначити високу ефективність саме комбінованих методів обробки як результату спільної дії різнохарактерних впливів. Вирішення задачі підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин базується на комплексних дослідженнях, пов'язаних з розробкою і застосуванням у виробництві технологічних методів, що дозволяють цілеспрямовано формувати структуру із заданими фізико-хімічними властивостями. Значна частина цих методів пов'язана із застосуванням впливів полів різної природи.

Так, особливу увагу науковців протягом багатьох років привертає поведінка конструкційних матеріалів в сильних магнітних полях у широкому температурному інтервалі. Особливість такого комбінованого способу впливу на структуру полягає у використанні енергії зовнішнього магнітного поля (постійного, змінного або імпульсного) для впливу на термодинаміку, механізм і кінетику фазових переходів з метою отримання стійких змін структури і властивостей, корисних для експлуатації. Магнітне поле впливає на процеси термічної обробки сталей і сплавів. Магнітне перемішування при затвердінні сплаву Al-Si викликає перебудову мікроструктури — сприяє руйнуванню дендритів, а також впливає на розподіл Si в евтектиці меншого розміру, чим поліпшує механічні властивості матеріалу [2]. Крім того, магнітна обробка під час затвердіння і нагріву може сприяти подрібненню зерна [3]. Накладання магнітного поля при наплавці Cr-Ni-Si чавуна підвищує стійкість аустеніту до евтектоїдного перетворення, що проявляється в зменшенні об'ємної частки трооститу в металевій матриці [4]. Встановлене зменшення часу евтектоїдного перетворення під дією магнітного поля, яке може мати значний вплив на швидкість зародження фаз, що входять до евтектоїду [5].

Дія магнітного поля може бути закладена в основу модернізації: застосування постійних лінійних неодимових магнітів в конструкції підшипникового вузла ковзання дозволяє підвищити довговічність і надійність вузла [6]. Магнітне поле як додаткове джерело впливу дає важливі практичні результати для процесів пластичної деформації [7], електроерозійної обробки [8], плавлення [9], руху дислокацій кристалічної решітки [10], перерозподілу легуючих елементів по об'єму деталей [11], перебудови мікроструктури в масштабі зерна [12]. Вплив магнітного поля на величину сили зриву пресової посадки з гарантованим натягом дає можливість управляти коефіцієнтом тертя [13].

Магнітна обробка є перспективним методом зміцнення, що в останні роки викликає великий інтерес дослідників. Використання впливу такого роду має ряд переваг з точки зору збереження геометрії і шорсткості поверхні деталей, а також екологічної чистоти та ресурсозбере-

ження. Екологічно й економічно доцільно багато операцій хімічного травлення і електрохімічного полірування виробів замінити на процеси магнітно-абразивної обробки. Встановлено, що використання магнітного поля при фінішній обробці монокристалів кремнію призводить до поліпшення оброблюваності матеріалу за рахунок зменшення межі текучості, а також до більш інтенсивного виходу дислокацій на поверхню і зменшення кількості лінійних дефектів кристалічної структури. Характер зміни стану речовини під впливом магнітного поля завжди цікавив багатьох науковців. Існує теорія про те, що магнітне поле сприяє зміні спінового стану системи атомів з синглетного в триплетний стан, що сприяє відкріпленню дислокацій від точкових дефектів [14]. При дослідженні впливу зовнішнього магнітного поля на сплав титану TC4 [15] встановлено, що воно може сприяти фазовому перетворенню з β - в α -фазу, що супроводжується збільшенням щільності дислокацій.

Відомо, що в процесі магнітної обробки метал, що піддається впливу змінного магнітного поля, змінює експлуатаційні властивості поверхневого шару. Поліпшення властивостей феромагнітних деталей при імпульсній магнітній обробці пояснюється спрямованою орієнтацією вільних електронів речовини в зовнішньому магнітному полі. Ці явища виявляються при магнітно-абразивній обробці і магнітно-електричному зміцненні. Введення в ці процеси енергії ультразвуку [16], тобто поєднання магнітного і ультразвукового впливу, дає комбінований метод обробки та зміцнення поверхонь деталей машин, що дозволяє усунути основні недоліки магнітно-електричного зміцнення — нестабільність фізико-механічних властивостей наплавленого шару та слабка адгезія цього шару з деталлю.

Великий науковий і практичний інтерес викликає використання принципу суперпозиції стосовно різного роду фізичних полів або однородного та неоднородного магнітних полів. Встановлено, що використання схрещених електричних і магнітних полів як середовища для іонного азотування інструментальних сталей дозволяє значно збільшити енергію іонізованих частинок, призводить до підвищення мікротвердості поверхні та швидкості росту зміцненого поверхневого шару [17].

Формулювання мети дослідження

Мета роботи — дослідити можливість підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин на основі комбінованого впливу сильних магнітних полів.

Виклад основного матеріалу

Магнітне поле може впливати на механічні й мікропластичні характеристики матеріалів, зокрема твердість. Дослідження в цій області, проведені авторами в роботі [18] доводять, що комбінування процесів магнітної та вібраційної обробок є ефективним методом зміцнення матеріалів.

Патент [19] доводить можливість реалізації об'ємного зміцнення зразків з магнітних та немагнітних матеріалів шляхом впливу полічастотним коливанням у вигляді ширококутового частотного спектра рівних амплітуд («білий шум») у постійному рівномірному магнітному полі, що дозволяє виключати необхідність термообробки. Авторами також встановлено, що в результаті аналогічної обробки непереточувальних пластин різального інструменту з твердих сплавів досягається суттєве зниження розмірного зносу пластин.

Розглянуті роботи свідчать про складний і багатоплановий вплив магнітного поля на всі структурні рівні матеріалів різної магнітної природи, що дозволяє використовувати обробку в магнітному полі для модифікації як магнітних, так і немагнітних матеріалів. Результати численних експериментальних досліджень, проведених в області магнітної обробки, підтверджують ефективність використання в якості рівномірного потоку для впливу на оброблюваний матеріал магнітного поля, що дозволяє значно розширити технологічні можливості комбінованої об'ємної обробки.

Ключовим аспектом процесу, що розглядається, є досягнення саме об'ємного ефекту: це важливо, оскільки наявність градієнту механічних властивостей веде до виникнення внутрішніх напружень матеріалу, що негативним чином позначається на надійності виробу. У зв'язку з цим необхідна обробка в сильному магнітному полі шляхом слабких амплітудних вібрацій: великі амплітуди наближають процес до магнітно-імпульсної обробки, тобто втрачається об'ємний ефект. Підвищення твердості сталевих зразків в результаті впливу наноамплітудних коливань в

постійному (однорідному) сильному магнітному полі експериментально доведено [20]. При цьому ефект розповсюджувався по всьому об'єму. Крім того, встановлено, що при обробці зразків з евтектоїдної сталі в об'ємі матеріалу спостерігалось формування армуючої сітки з пластичного перліту. Залежності значення твердості і часу виходу на сталі її значення від амплітуди коливань п'єзореzonатора і, відповідно, зразків мали екстремальний характер.

Магнітні поля дозволяють реалізувати прямий безконтактний вплив на динаміку структурних дефектів різного рівня, на їх поведінку і, як наслідок, змінювати макровластивості матеріалу та експлуатаційні характеристики деталей. Вони можуть значною мірою змінювати кінетику процесу кристалізації, ініціювати фазові переходи, впливати на кінцеву структуру та інші властивості при обробці матеріалів. При певних режимах обробки імпульсні магнітні поля можна використовувати подібно інтенсивній пластичній деформації для створення необхідної мікроструктури, але при цьому зберігати початкові розміри і форму виробу.

Особливий науковий інтерес представляє дослідження впливу на атомний і субатомний рівень матеріалів зразків, частинки яких піддаються вібраціям у сильному рівномірному магнітному полі на власних резонансних частотах з амплітудами нанометричного діапазону [20,21,22].

Дослідження використання рівномірного потоку магнітного поля, утвореного потужними постійними магнітами, виконано для впливу на об'єм матеріалу непереточувальних пластин ріжучого інструменту CNMG 120508E-M. Вплив рівномірного магнітного потоку ініційований в результаті резонансних коливань зразка, викликаних широкосмуговим впливом рівній амплітуди за допомогою генератора «білого шуму» і п'єзо випромінювача (рис. 1а і 1б).

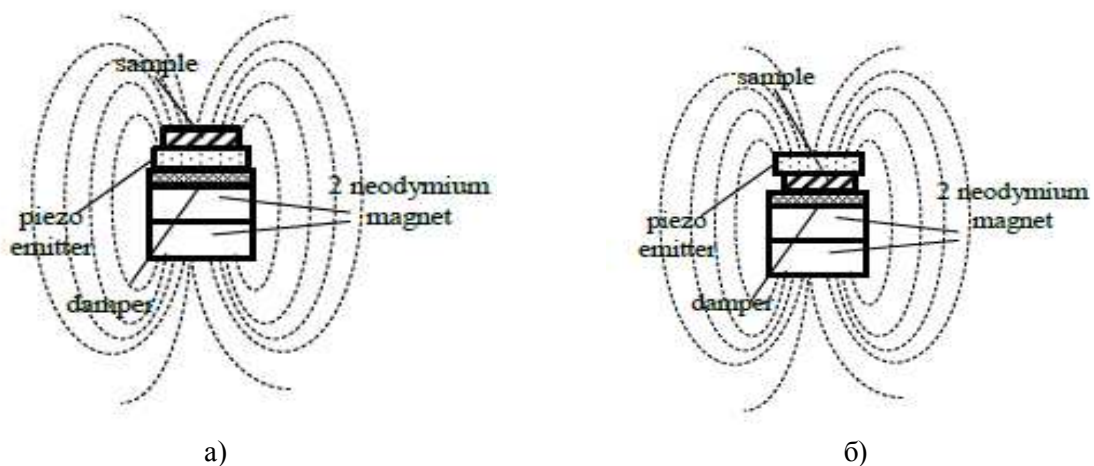


Рис. 1. Принципові схеми пристроїв для зміцнення зразків з верхнім (1а) і нижнім (1б) положенням зразка щодо п'єзовозбудівника

Додавання зразкам механічних коливань в рівномірному постійному магнітному полі дозволив досягти об'ємного зміцнення зразків від 150 НВ до 240÷250 НВ, тобто на 60÷65% за 10—12 хвилин, що складає зміцнення зразків на 5-6% за одну хвилину. Зразки твердого сплаву, поміщені в магнітне поле постійного магніту, піддані резонансним коливанням, викликаним широкосмуговим впливом постійної амплітуди — «білим шумом», змінюють твердість і досягають максимального значення вже після 10 хвилин магніторезонансної обробки.

Варіанти взаємного розташування елементів складання для експериментальних досліджень магніторезонансної обробки евтектоїдної сталі з хімічним складом: $Z = 0,8\%$; $Si = 0,15\%$; $Mn = 0,15\%$; $P = 0,012\%$; $S = 0,017\%$; $Cr = 0,10\%$; $Al = 0,009\%$; $Cu = 0,10\%$; можуть бути представлені ланцюжками: NM-PD-S-PV-NM (варіанти 1-3) і PD-S-PV-NM (варіант 4), де NM — неодимовий магніт; S — зразок; PV — п'єзоелемент як збудник вібрацій; PD — п'єзоелектричний датчик.

Порівняльна ефективність магніторезонансної обробки зразків за представленими схемами широкосмуговим п'єзоелектричним збудником потужністю до 5 Вт в магнітному полі постійного неодимового магніту показана на рис. 2.

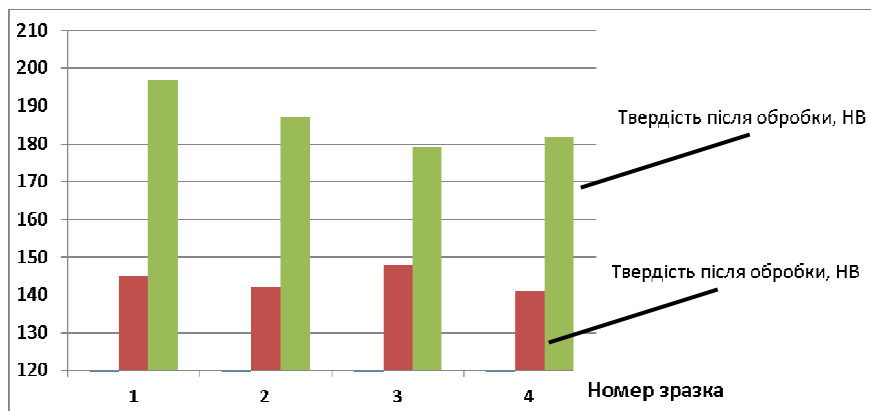


Рис. 2. Результати підвищення твердості матеріалів зразків для різних варіантів

Зразки 1—4, піддані резонансним коливанням і поміщені всередину рівномірного магнітного поля, створеного неодимовими магнітами, підвищили твердість матеріалу і після 30 хвилин стабілізують значення твердості.

Металографічні дослідження результатів розглянутого принципу зміцнення матеріалу можна ілюструвати рис. 3.

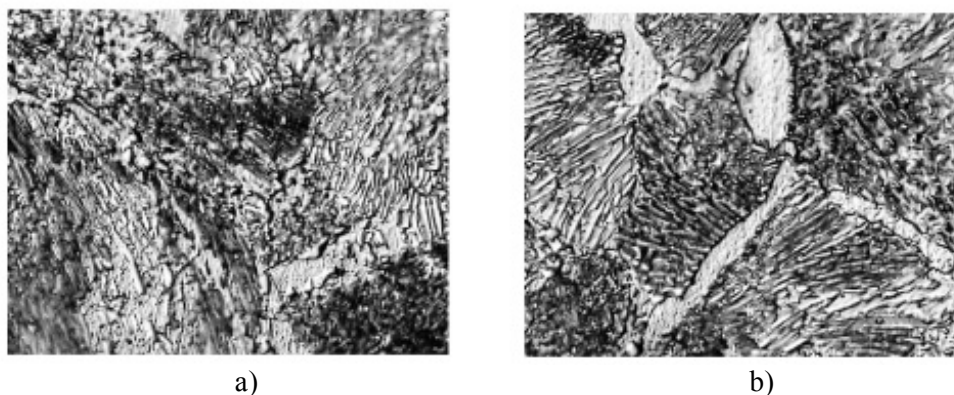


Рис. 3. Структура сталевих зразків: (а) — до магніторезонансної обробки, НВ = 145; (б) — після магніторезонансної обробки, НВ = 197

Фотографії структури отримані протравлюванням 4% спиртовим розчином HNO_3 . Межі зерен проявляються після протравлювання по розірваній ферритній сітці в поздовжньому напрямку. При цьому спостерігалася формування в обсязі матеріалу зразків сітки армуючого характеру з пластинчастого перлиту. Збільшення амплітуди коливань п'єзоелектричного резонатора і, отже, зразків призводить до зростання твердості матеріалу і тривалості досягнення встановленого значення його твердості, проте характер таких змін носить екстремальний характер. Отримані результати дозволяють зробити висновок про перспективність магніторезонансної обробки для підвищення зносостійкості неперетачуваних пластин ріжучого інструменту, для підвищення довговічності елементів механічних деталей і конструкцій. Також, з'являється можливість розширити перелік технологічних впливів на робочі поверхні деталей машин поряд з поверхнево-пластичним деформуванням і термообробкою.

Таким чином, найбільшої ефективності процес зміцнення може досягати при резонансних коливаннях зразків у рівномірному магнітному полі, що виникає в проміжку між двома сильними (неодимовими) магнітами.

Висновки

Обробка постійним або імпульсним магнітними полями — прогресивний метод модифікації матеріалів. Водночас такий вплив для різних умов має свої особливості, багато з яких досі невідомі. Сам процес виходить в область субатомарних, практично стикається з теорією квантової механіки. Магнітний вплив надає великі можливості: його здатність змінювати фізико-механічні властивості не викликає сумнівів, але разом з тим можна припустити, що в певній мірі можлива зміна й безпосередньо будови матеріалу: одні атоми зв'язуються з іншими, переходять у хімічні з'єднання. Можливі навіть зміни фазового стану. Поки не зрозуміло, один механізм або декілька різних визначають закономірності впливу магнітного поля на механічну поведінку матеріалів. Невирішеними залишаються питання, пов'язані з труднощами технологічної реалізації такого методу обробки в умовах виробництва.

З огляду на це постає необхідність розширення досліджень на ряд матеріалів з метою виявлення особливостей зміни їх фізико-механічних показників, атомно-кристалічних структур при взаємодії постійного і змінного магнітних полів у зразку. Вібрація не обов'язково має бути механічна — вона може проходити на рівні зміни струму. Виникає потреба визначення взаємозв'язку змінюваних властивостей з тривалістю обробки, частотним діапазоном, величиною амплітуди та іншими режимами для пошуку оптимальних значень параметрів обробки. Така робота має великі перспективи стосовно можливості отримання заданого комплексу експлуатаційних характеристик, керування зовнішніми і внутрішніми властивостями виробів — не лише металевих, а і будь-яких інших.

Список використаної літератури

1. Кинденко Н.И. Магнитострикционное упрочнение и магнитно-дисперсионное твердение быстрорежущих сталей в импульсных магнитных полях. *Научный вестник ДГМА*. № 2 (23Е), 2017. С. 30–35.
2. Bustos O., Allende R., Leiva R., Sanchez C. Effect of magnetic stirring, grain modification and refinement on the solidification structure of an A356 aluminum alloy. *Revista Materia*. Vol. 26, №1, 2021. P. e12927.
3. Li C., Hu S., Ren Z., Fautrelle Y., Li X. Effect of the simultaneous application of a high static magnetic field and a low alternating current on grain structure and grain boundary of pure aluminum. *Journal of Materials Science&Technology*. Vol. 34. № 12. 2018. P. 2431–2438.
4. Ефременко Б.В., Белик А.Г., Макуров С.Л. Влияние магнитного поля на структуру покрытия из Cr-Ni-Si чугуна. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*, №1, 2016. С. 28–32.
5. Пустовойт В.Н., Кузьмина В.А., Долгачев Ю.В. Структурные особенности перлитного превращения в магнитном поле. *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*, №2, 2016. С. 97–100.
6. Перекрестов А. П., Мамбетов Э. М., Саидов М. А. Модернизация подшипникового узла скольжения. *Вестник АГТУ*, № 4, 2017. С. 88–92.
7. Краев М.В., Краева В.С. Влияние постоянного магнитного поля на сопротивление деформации и упрочнение металлов. *Актуальные проблемы прочности: материалы международной научной конференции*, ВГТУ, 2018. С. 93–95.
8. Сариллов М.Ю., Ковбасюк А.А. Исследование влияния внешнего магнитного поля на процесс электроэрозионной обработки. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, Т. 14, №1–2, 2012. С. 429–431.
9. Mehryan S. A. M., Tahmasebi Ali, Mohsen Izadi, Mohammad Ghalambaz. Melting behavior of phase change materials in the presence of a non-uniform magnetic field due to two variable magnetic sources. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol. 149, 2020. P. 119–184.

10. Pamyatnykh L.A., Filippov B.N., Agafonov L.Y., Lysov M.S. Motion and interaction of magnetic dislocations in alternating magnetic field. *Scientific reports*. 2017. P. 1–11.
11. Проценко И.Г., Брусенцов Ю.А., Филатов И.С. Упрочнение алюминиевых жаропрочных сплавов. *Вестник ТГТУ*. 2013. Том 19. № 2. С. 436–441.
12. Philip E. Goins, Heather A. Murdoch, Efraín Hernández-Rivera, Mark A. Tschoopp. Effect of magnetic fields on microstructure evolution. *Computational materials science*, 2018. P. 464–474.
13. Тихомиров В.П., Горленко А.О., Волохов С.Г., Измеров М.А. Влияние магнитного поля на триботехнические показатели неподвижных соединений применительно к фрикционным гасителям колебаний. *Вестник БГТУ*, №10 (95), 2020. С. 4–11.
14. Cheng J., Gui-rong Li., Hong-ming W., Pei-si Li., Chao-qun Li. Influence of high pulsed magnetic field on the dislocations and mechanical properties of Al_2O_3/Al composites. *Journal of Materials engineering and performance*. Vol. 27. 2018. P. 1083–1092.
15. Guirong L., Yueming L., Fangfang W., Hongming W. Microstructure and performance of solid TC4 titanium alloy subjected to the high pulsed magnetic field treatment. *Journal of Alloys and compounds*. Vol. 644. 2015. P. 750–756.
16. Акулович Л.М., Ефимов А.М., Линник А.В. Магнитная обработка и упрочнение поверхностей деталей машин с использованием энергии ультразвуковых полей. *Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: материалы международной научно-практической конференции*, 2011. Киев: АТМ Украины, 2011. С. 6–8.
17. Рамазанов К.Н., Будилов В.В., Вафин Р.К. Азотирование быстрорежущей стали Р6М5 в тлеющем разряде с наложением магнитного поля. *Упрочняющие технологии и покрытия*. № 5. 2010. С. 39–42.
18. Kovalevskyy S.V., Kovalevska O.S. Magnetic resonance processing of materials. *Proceedings of Odessa Polytechnic University, Issue 3(62)*, 2020. P. 29–37.
19. Патент 143057 Україна МПК В23Н 7/38 (2006.01). Спосіб зміни фізико-механічних властивостей зразків з магнітних та немагнітних матеріалів / С.В. Ковалевський, О.С. Ковалевська; власник Донбас. держ. машинобуд. акад. № u202000120; заявл. 08.01.2020; опубл. 10.07.2020. Бюл. № 13.
20. Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Боровой І.Б. Об'ємна обробка матеріалів в рівномірному магнітному полі. *Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы международной научно-технической конференции*, 23-25 сентября 2020 г., г. Одесса ОНПУ: 2020. С. 80–85.
21. Патент 143057 Україна МПК В23Н 7/38 (2006.01). Спосіб зміни фізико-механічних властивостей зразків з магнітних та немагнітних матеріалів / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська; власник Донбас. держ. машинобуд. акад. № u202000120; заявл. 08.01.2020; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13
22. Kovalevskyy S. Vibration-pulse machining / S. Kovalevskyy, O. Kovalevska, P. Dasic // Нейромережні технології та їх застосування НМТіЗ-2020: збірник наукових праць XIX Міжнародної наукової конференції «Нейромережні технології та їх застосування НМТіЗ-2020» / за заг. ред. С. В. Ковалевського. Краматорськ: ДДМА, 2020. С. 82–84.

**IMPROVING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF MACHINE PARTS
BASED ON THE COMBINED INFLUENCE OF STRONG MAGNETIC FIELDS
Kovalevskyy S., Kovalevska O., Lupa Yu.**

Abstract

Magnetic treatment is a promising method of hardening. Metal exposed to alternating magnetic fields changes the performance properties of the surface layer of a combination of magnetic and ultrasonic effects, provides a combined method of processing and strengthening surfaces of machine parts, which eliminates the main disadvantages of magnetic and electrical hardening — instability of physical and mechanical properties of this layer with detail.

The purpose of the work is to investigate the possibility of improving the performance of machine parts based on the combined effect of strong magnetic fields.

The study of the use of a uniform flux of magnetic fields generated by powerful permanent magnets was performed to affect the material volume of non-grinding plates of the cutting tool CNMG_120508E-M. The effect of uniform magnetic flux is initiated as a result of resonant oscillations of the sample caused by broadband exposure of equal amplitude by means of a "white noise" generator and a piezo emitter.

The authors found that as a result of volumetric strengthening of non-grinding plates of carbide cutting tools, by exposure to polyfrequency oscillations in the form of a broadband frequency spectrum of equal amplitudes, a significant reduction in dimensional wear of the plates is achieved. Adding mechanical vibrations to the samples in a uniform constant magnetic field allowed to achieve volumetric hardening of the samples from 150 HB to $240 \div 250$ HB, ie $60 \div 65\%$ in 10—12 minutes, which is the hardening of the samples by 5—6% in one minute.

The work on determining the relationship of changing properties with processing time, frequency range, amplitude and other modes to find the optimal values of processing parameters, has great prospects for the ability to obtain a set of performance characteristics, control external and internal properties of products.

References

- [1] Kindenko N.I. (2017) Magnitostriksionnoe uprochnenie i magnitno-dispersionnoe tverdenie byistrorezhushchih staley v impulsnykh magnitnykh polyah. *Nauchnyy vestnik DGMA*. № 2 (23E). P. 30–35.
- [2] Bustos O., Allende R., Leiva R., Sanchez C. (2021). Effect of magnetic stirring, grain modification and refinement on the solidification structure of an A356 aluminum alloy. *Revista Materia*. Vol. 26, №1. P. e12927.
- [3] Li C., Hu S., Ren Z., Fautrelle Y., Li X. (2018). Effect of the simultaneous application of a high static magnetic field and a low alternating current on grain structure and grain boundary of pure aluminum. *Journal of Materials Science&Technology*. Vol. 34. № 12. P. 2431–2438.
- [4] Efremenko B.V., Belik A.G., Makurov S.L.(2016). Vliyanie magnitnogo polya na strukturu pokryitiya iz Cr-Ni-Si chuguna. *Novi materiali I tehnologiyi v metalurgiyi ta mashinobuduvanni*, № 1. P. 28–32.
- [5] Pustovoyt V.N., Kuzmina V.A., Dolgachev Yu.V.(2016). Strukturnyye osobennosti perlitnogo prevrascheniya v magnitnom pole. *Nauchno-tehnicheskyy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, № 2. P. 97–100.
- [6] Perekrestov A. P., Mambetov E. M., Saidov M. A. (2017). Modernizatsiya podshipnikovogo uzla skolzheniya. *Vestnik AGTU*, № 4. P. 88–92.
- [7] Kraev M.V., Kraeva V.S. (2018). Vliyanie postoyannogo magnitnogo polya na soprotivlenie deformatsii i uprochnenie metallov. *Aktualnyye problemy prochnosti: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, VGTU*. P. 93–95.
- [8] Sarilov M.Yu., Kovbasyuk A.A.(2012). Issledovanie vliyaniya vneshnego magnitnogo polya na protsess elektroerozionnoy obrabotki. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, T. 14, № 1–2. P. 429–431.
- [9] Mehryan S. A. M., Tahmasebi Ali, Mohsen Izadi, Mohammad Ghalambaz. (2020). Melting behavior of phase change materials in the presence of a non-uniform magnetic field due to two variable magnetic sources. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol. 149. P. 119–184
- [10] Pamyatnykh L.A., Filippov B.N., Agafonov L.Y., Lysov M.S. (2017). Motion and interaction of magnetic dislocations in alternating magnetic field. *Scientific reports*. P. 1–11.
- [11] Protsenko I.G., Brusentsov Yu.A., Filatov I.S. (2013). Uprochnenie alyuminievyykh zharoprochnykh splavov. *Vestnik TGTU*. Tom 19. № 2. P. 436–441.
- [12] Philip E.Goins, Heather A. Murdoch, Efraín Hernández-Rivera, Mark A. Tschopp. (2018). Effect of magnetic fields on microstructure evolution. *Computational materials science*. P. 464–474.

- [13] Tihomirov V.P., Gorlenko A.O., Volohov S.G., Izmerov M.A. (2020). Vliyanie magnitnogo polya na tribotekhnicheskie pokazateli nepodvizhnykh soedineniy primenitelno k friktsionnyim gasitelyam kolebaniy. *Vestnik BGTU*, № 10 (95). P. 4–11.
- [14] Cheng J., Gui-rong Li., Hong-ming W., Pei-si Li., Chao-qun Li. (2018). Influence of high pulsed magnetic field on the dislocations and mechanical properties of Al_2O_3/Al composites. *Journal of Materials engineering and performance*. Vol. 27. P. 1083–1092.
- [15] Guirong L., Yueming L., Fangfang W., Hongming W. (2015). Microstructure and performance of solid TC4 titanium alloy subjected to the high pulsed magnetic field treatment. *Journal of Alloys and compounds*. Vol. 644. P. 750–756.
- [16] Akulovich L.M., Efimov A.M., Linnik A.V. (2011). Magnitnaya obrabotka i uprochnenie poverhnostey detaley mashin s ispolzovaniem energii ultrazvukovykh poley. *Kachestvo, standartizatsiya, kontrol: teoriya i praktika: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 2011. Kiev: ATM Ukrainy. P. 6–8.
- [17] Ramazanov K.N., Budilov V.V., Vafin R.K. (2010). Azotirovanie byistrorezhuschey stali R6M5 v tleyuschem razryade s nalozheniem magnitnogo polya. *Uprochnyayushchie tehnologii i pokryitiya*. № 5. P. 39–42.
- [18] Kovalevskyy S.V., Kovalevska O.S. (2020). Magnetic resonance processing of materials. *Proceedings of Odessa Polytechnic University, Issue 3(62)*. P. 29–37.
- [19] Patent 143057 Ukrayina MPK B23H 7/38 (2006.01). (2020). Sposib zmini fiziko-mekhanichnykh vlastivostey zrazkiv z magnitnykh ta nemagnitnykh materialiv / S.V. Kovalevskiy, O.S. Kovalevska; vlasnik Donbas. derzh. mashinobud. akad. u202000120; zayavl. 08.01.2020; opubl. 10.07.2020. Byul. № 13.
- [20] Kovalevskiy S.V., Kovalevska O.S., Borovoy I.B. (2020). Ob'emna obrobka materialiv v rivnomirnomu magnitnomu polli. *Novyye i netraditsionnyye tehnologii v resurso- i energosberezhenii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*, 23-25 sentyabrya 2020 g., g. Odessa. ONPU. P. 80–85.
- [21] Patent 143057 Ukraina MPK B23H 7/38 (2006.01). (2020). Sposib zmini fiziko-mekhanichnykh vlastivostey zrazkiv z magnitnykh ta nemagnitnykh materialiv / S. V. Kovalevskiy, O. S. Kovalevska ; vlasnik Donbas. derzh. mashinobud. akad. u202000120; zayavl. 08.01.2020; opubl. 10.07.2020, Byul. № 13.
- [22] Kovalevskyy S. (2020). Vibration-pulse machining / S. Kovalevskyy, O. Kovalevska, P. Dasic // Neyromerezhnl tehnologiyi ta yih zastosuvannya NMTIZ-2020: zbirnik naukovih prats XIX Mizhnarodnoyi naukovoYi konferentsiyi «Neyromerezhnl tehnologiyi ta Yih zastosuvannya NMTIZ-2020» / za zag. red. S. V. Kovalevskogo. Kramatorsk : DDMA. P. 82–84.