

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАГНІТНОГО СТАНУ ПРОБИВНИХ ПУАНСОНІВ З ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ НА СТІЙКІСТЬ

Робота присвячена дослідженню питань, пов'язаних з дослідженням впливу магнітного стану і полярності робочої частини пробивних пуансонів з швидкорізальної сталі Р6М5 та Р6М5К5 на стійкість після магнітно-імпульсної обробки, що є поєднанням електромагнітного і термодинамічного способів управління нерівноважною структурою речовини. Причини відмов інструментів найчастіше пов'язані не з їх поломкою, а з втратою ними своєї первинної поверхневої конфігурації унаслідок зносу, сколювання, зминання, розтріскування, тобто у зв'язку з руйнуванням або деформації тонких поверхневих шарів металу. Швидкорізальна сталь, як будь-яке тверде тіло, володіє пружним внутрішнім полем, обумовленим реальною дислокаційною структурою. З накладенням магнітного поля на матеріал, на це власне пружне поле накладається пружне поле, викликане магнітострікційною деформацією. В цілому результат магнітної обробки розглядається як прояв ефектів післядії в матеріалах, що знаходяться на кордонах стабільності їх властивостей і підданих дії зовнішнього силового поля. Відмічено, що в результаті дії імпульсного магнітного поля відбувається зміна фізико-механічних властивостей швидкорізальної сталі і інструментальний матеріал стає одноріднішим по структурі. Встановлено що зносостійкість магнітно обробленого інструменту відрізняється від зносу інструменту у вихідному положенні. Розбіжність середніх значень стійкості інструменту у вихідному стані і після магнітної обробки значимо, відповідно обробка імпульсним магнітним полем істотно впливає на стійкість інструменту. Показано, що інструмент повинен мати після магнітної обробки залишкову намагніченість близьку до нуля. Доведено що стійкість інструменту в будь-якому магнітному стані практично не відрізняється, хоча по відношенню до інструменту у вихідному стані вона багато вище.

Ключові слова: магнітна обробка, пробивний пуансон, полярність, магнітний стан, стійкість, зміцнення, швидкорізальна сталь.

Успішне впровадження ресурсозберігаючих технологій холодного об'ємного штампування залежить від надійної роботи важко навантаженого інструменту – пуансону [1]. При штампуванні пуансон надає безпосередній тиск на оброблюваний матеріал.

Причини відмов інструментів найчастіше пов'язані не з їх поломкою, а з втратою ними своєї первинної поверхневої конфігурації унаслідок зносу, сколів, зминання, розтріскування, тобто у зв'язку з руйнуванням або деформацією тонких поверхневих шарів металу [2].

В даний час в теоретичних роботах і практиці машинобудування отримують розвиток питання, пов'язані з технологічним зміцненням поверхневих шарів інструменту і зміною їх властивостей в потрібному напрямі.

Одним з основних напрямів фізичної технології є магнітна обробка матеріалів. При магнітній дії речовина змінює свої фізичні і механічні властивості [3, 4].

Поліпшення властивостей у феромагнітних деталях, які пройшли магнітно-імпульсну обробку (МІО), досягається за рахунок направленої орієнтації вільних електронів речовини зовнішнім полем. Взаємодія імпульсного магнітного поля з інструментом із струмопровідного матеріалу відбувається тим інтенсивніше, чим вище структурна і енергетична неоднорідність речовини [5, 6].

Поля локальних перенапружень в швидкорізальних сталях з'являються в результаті магнітострікції. У цих умовах частки карбідної фази стають концентраторами напруги, яка зменшується за рахунок додаткових джерел дислокацій [7, 8].

В цілому результат магнітної обробки розглядається як прояв ефектів післядії в матеріалах, що знаходяться на кордонах стабільності їх властивостей і підданих дії зовнішнього силового поля.

Аналіз літературних даних показує, що спосіб магнітної дії на інструмент вигідно відрізняється від інших методів зміцнення цілим рядом чинників.

В той же час поки що немає єдиного, всесторонньо підтвердженого погляду на необхідність враховувати, який полюс буде на різучій частині інструменту під час магнітної обробки, що викликає зміну його експлуатаційних властивостей.

Метою роботи є на базі відомих теоретичних уявлень досліджувати вплив магнітного стану і полярності робочої частини пробивних пуансонів з швидкорізальної сталі Р6М5 та Р6М5К5 на стійкість.

Існує два принципово різних напрямки в розробці методів магнітної обробки інструментів.

Відповідно до першого з них підвищення стійкості різального інструменту, а також механічних і технологічних властивостей деталей досягається шляхом накладення на зону обробки магнітного поля.

Другий напрямок передбачає вплив магнітного поля самого матеріалу, з якого виготовлений інструмент.

Кожне з названих напрямків реалізується на практиці чисельними способами різними як за своїми фізичними технологічним принципам, так і за конструктивним виконанням установок.

При виготовленні реальних інструментів у матеріалі нерівномірно концентрується деяка кількість надлишкової енергії, зі збільшенням якої зростає імовірність руйнування інструменту [9, 10].

Застосовуючи магнітну обробку можна значно зменшити надмірну енергію матеріалу, пов'язану з концентрацією внутрішніх і поверхневих напружень в інструменті, і знизити до мінімуму ймовірність його поломки.

Для кожного матеріалу існує оптимальне значення зовнішнього імпульсного магнітного поля, при якому концентрація напружень у матеріалі, а, отже, і надмірна енергія гранично зменшується, внаслідок чого підвищується надійність інструменту [11, 12].

Для кожної сталі існує певна величина напруженості імпульсного магнітного поля, а, отже, і величина магнітної енергії, яка поглинається матеріалом протягом часу обробки і максимально покращує його механічні та технологічні властивості. Причому між підвищенням стійкості інструменту та магнітною проникністю існує кореляційна залежність. Імпульсне магнітне поле, взаємодіючи з матеріалом інструменту, змінює його теплові та електромагнітні властивості, покращує структуру та експлуатаційні характеристики, що покладено в основу технології магнітного зміцнення [13, 14].

З теоретичної точки зору питання про вплив магнітного стану і полярності робочої частини інструменту на його експлуатаційні властивості, тобто перевірка значущості впливу термомагнітного ефекту Рігі-Ледюка, має особливе значення.

Проте, якщо ґрунтуватися на зміні фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу як основної причини підвищення стійкості інструменту, необхідно порівняти конкретні властивості швидкорізальної сталі до обробки і після неї, причому, в першу чергу, такі властивості, які зумовлюють стійкість інструменту.

Першопричиною поліпшення експлуатаційних характеристик інструменту, підданого магнітній обробці, є зміна властивостей інструментального матеріалу. Це відбувається за рахунок магніострикційного зміцнення швидкорізальної сталі, що виражається в підвищенні її теплостійкості.

Магніострикційне зміцнення швидкорізальної сталі, що викликає поліпшення фізико-механічних властивостей матеріалу, тісно пов'язане з напруженістю накладеного на інструментальний матеріал магнітного поля.

При магнітній обробці деталі унаслідок неоднорідної кристалічної структури в ній виникають вихрові струми. Вихрові струми обумовлюють магнітне поле і локальні мікротовихори, які у свою чергу, нагрівають ділянки довкола кристалітів напружених блоків і неоднорідностей структури металу. У місцях концентрації залишкової або втомної напруги, пов'язаної з технологією виробництва, обробки або експлуатації інструмента, теплота наведена при МІО вихровими струмами, частково зменшує надлишкову енергію складових кристалітів і зерен структури зразка особливо в зоні контакту напружених ділянок.

Швидкорізальна сталь, як будь-яке тверде тіло, володіє пружним внутрішнім полем, обумовленим реальною дислокаційною структурою. З накладенням магнітного поля на матеріал на це власне пружне поле накладається пружне поле, викликане магніострикційною деформацією.

Взаємодія пружного поля, обумовленого магніострикцією сталі, з пружним полем її реальною дислокаційною структурою приводить до появи локальних перенапружень. У цих місцях різко зростає вірогідність термофлуктуаційного розриву міжатомних в'язів.

У тих місцях, де ці локальні перенапруження перевищують межі пружності матеріалу, формуються осередки пластичної деформації. Саме тут інтенсивно протікають процеси розмноження і переміщення дислокацій. Із збільшенням щільності дислокації, коли ліс дислокацій усе більш утрудняє їх власний рух в іншій площині ковзання, сталь зазнає своєрідне наклепання, що виражається в зміні параметра решітки мартенсіту і зниженні температури зворотного мартенситного перетворення.

Збільшення кількості карбідів і зменшення їх здібності до коагуляції при зростанні температури при штампуванні повинні виразитися в підвищенні теплостійкості швидкорізальної сталі.

В той же час магнітна обробка повинна привести до збільшення холодної твердості швидкорізальної сталі, а більш рівномірна структура матеріалу повинна зменшити розкид значень твердості в об'ємі одного і того ж інструменту.

Тому для визначення впливу магнітного стану інструменту на його стійкість були виконані спеціальні дослідження, пов'язані з обробкою матеріалів з різними магнітними властивостями.

З цією метою були вибрані сталі марок 12X18H10T і 20X13. Стійкісні випробування проводилися в наступній послідовності. Спочатку випробовувалися пробивні пуансони з швидкорізальної сталі Р6М5 оброблені в магнітному полі напруженістю $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м, що мають по черзі на робочій частині північну і південну полярність, потім цей же інструмент використовувався після операції розмагнічування, тобто його залишкова намагніченість була близькою до нуля.

З рисунку 1 витікає, що стійкість інструменту в будь-якому магнітному стані практично не відрізняється, хоча по відношенню до інструменту у вихідному стані вона багато вище.

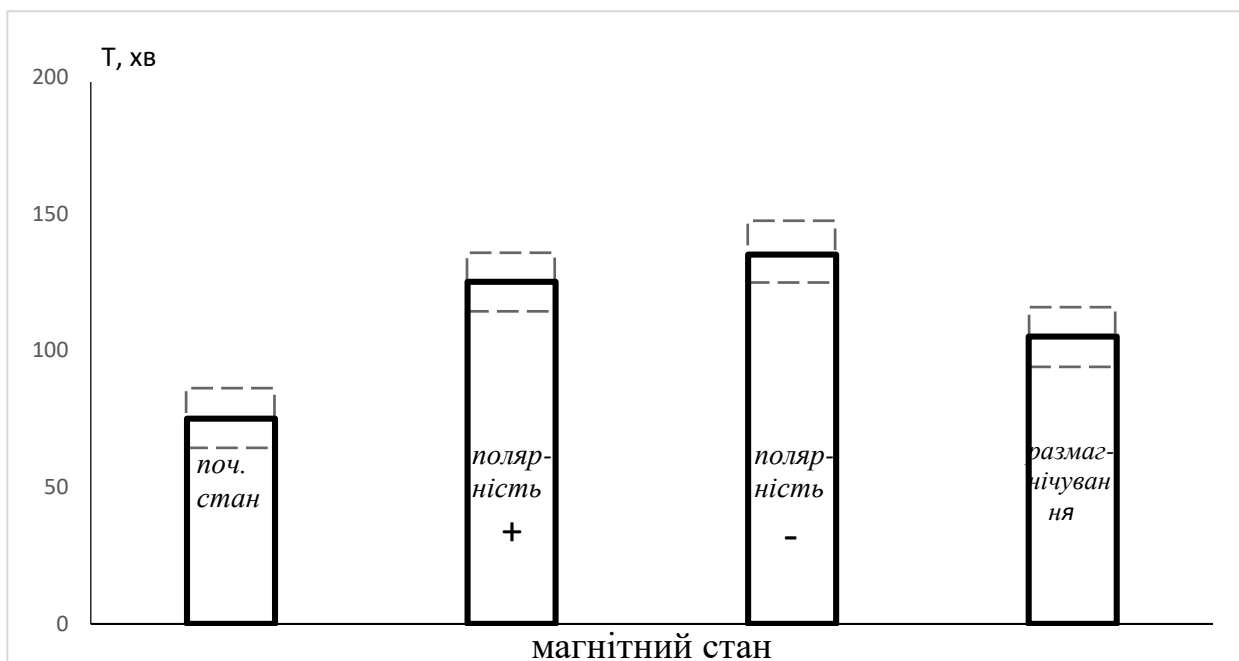


Рис. 1. Вплив магнітного стану та полярності інструменту на його стійкість при обробці сталі 10X18H9T

При обробці мартенситної сталі марки 20X13 встановлено (рис. 2), що стійкість інструменту, обробленого в оптимальних полях і який має залишкову намагніченість, стає нижче вихідної. Це відбувається внаслідок інтенсивного налипання на інструмент-магніт, через що погіршується процес штампування.

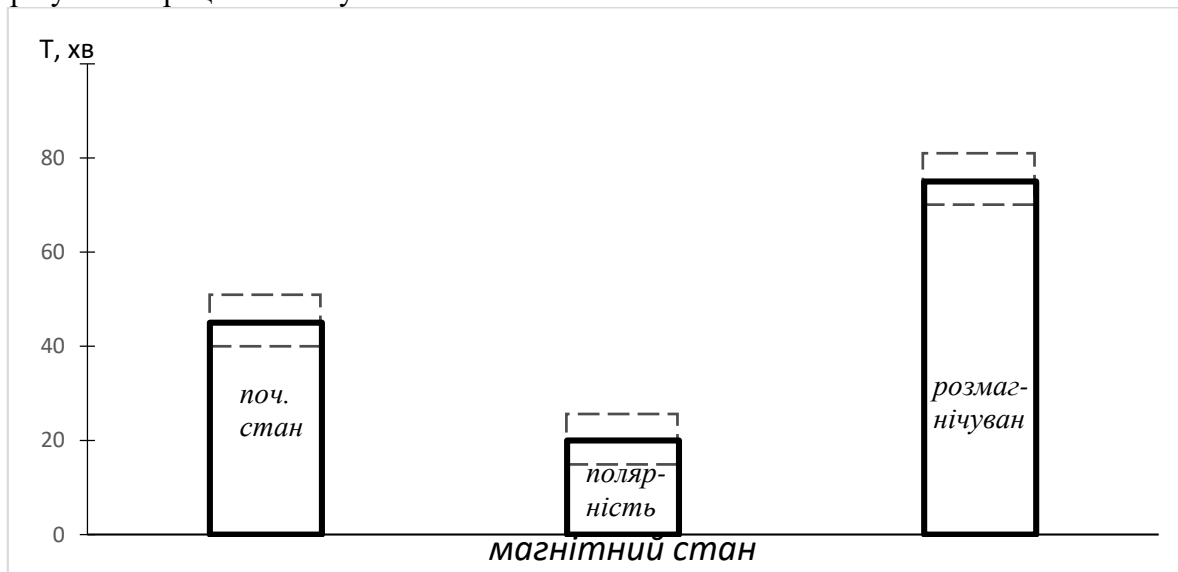


Рис. 2. Вплив магнітного стану та полярності інструменту на його стійкість обробці сталі 20X13

При обробці немагнітної сталі 12X18H10T такого впливу не спостерігається. При розмагнічуванні інструменту змінним полем ефективність магнітної обробки на сталі 20X13 відновлюється.

Звідси випливає важливий практичний висновок, що полягає в тому, що для підвищення ефективності магнітно обробленого інструменту, його доцільно розмагнічувати.

Тому в наших подальших експериментах інструмент мав залишкову намагніченість, близьку до нуля.

Залежність твердості ($HRC = f(H)$) для сталі марки Р6М5 будувалася в діапазоні напруженості полів від $1,2 \cdot 10^5$ А/м до $1,6 \cdot 10^5$ А/м. Необхідно відзначити, що значення твердості (HRC) для кожного значення поля замірялися протягом доби, аж до закінчення зміни його значень. Виявилось, що значення твердості зі зразків змінювалися протягом першої доби, після чого твердість стабілізувалася. Потім ці зразки піддавалися випробуванням на теплостійкість (HRCT).

На рис. 3 подано результати виконаних експериментів. Дослідження показали, що відносно слабкі магнітні поля не призводять до зміни значень твердості та теплостійкості. Залежності $\Delta HRC = f(H)$ і $\Delta HRCT = f(H)$ мають максимум за напруженості поля $H \approx 1,2 \cdot 10^5$ А/м. Подальше збільшення напруженості поля призводить до зниження твердості та теплостійкості і при $H = 1,6 \cdot 10^5$ А/м ці параметри практично не відрізняються від твердості та теплостійкості зразків у вихідному положенні.

Встановлено, що найбільше підвищення стійкості магнітнообробленого інструменту та найбільше підвищення значень твердості та теплостійкості отримані при тих самих значеннях робочого поля ($H_0 = 1,2 \cdot 10^5$ А/м).

Максимальне підвищення твердості та теплостійкості швидкорізальної сталі при напруженості поля $H_0 = 1,2 \cdot 10^5$ А/м відбувається за рахунок магнітострикційного субструктурного зміцнення.

Важливим елементом режиму магнітної обробки є час витримки інструменту після магнітної обробки.

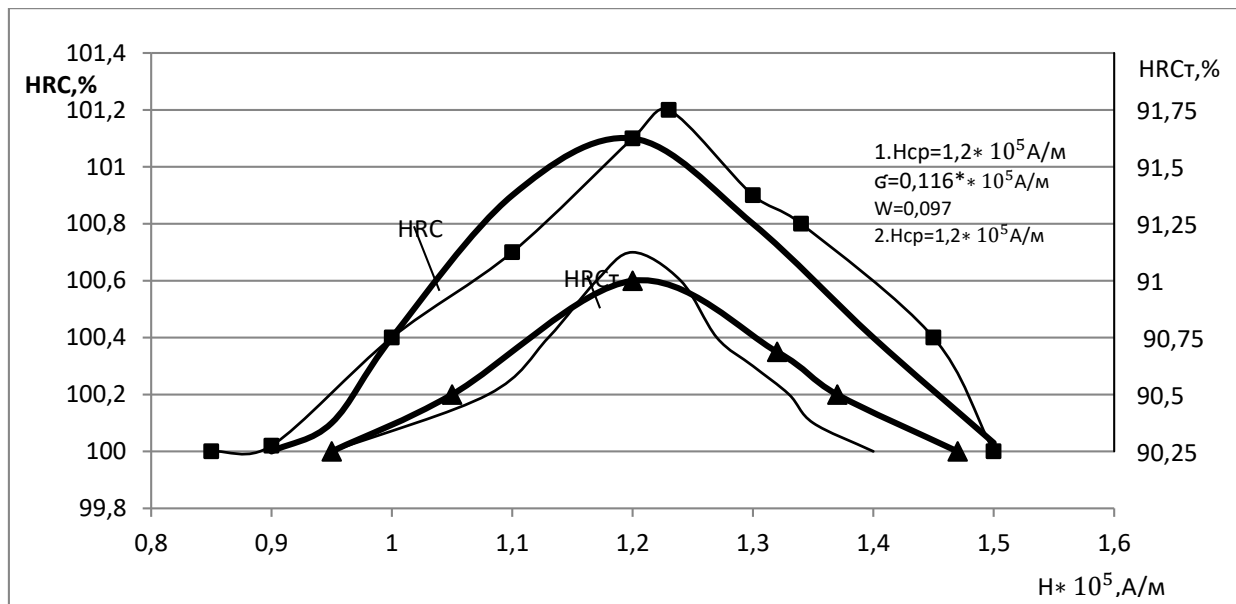


Рис. 3. Залежність зміни твердості та теплостійкості сталі Р6М5 від напруженості магнітного поля після 24 годинної витримки інструменту

На рис. 4 представлені експериментальні дані зміни твердості та теплостійкості сталі Р6М5К5 у вихідному стані після термообробки, через 6 годин і через 24 години після магнітної обробки.

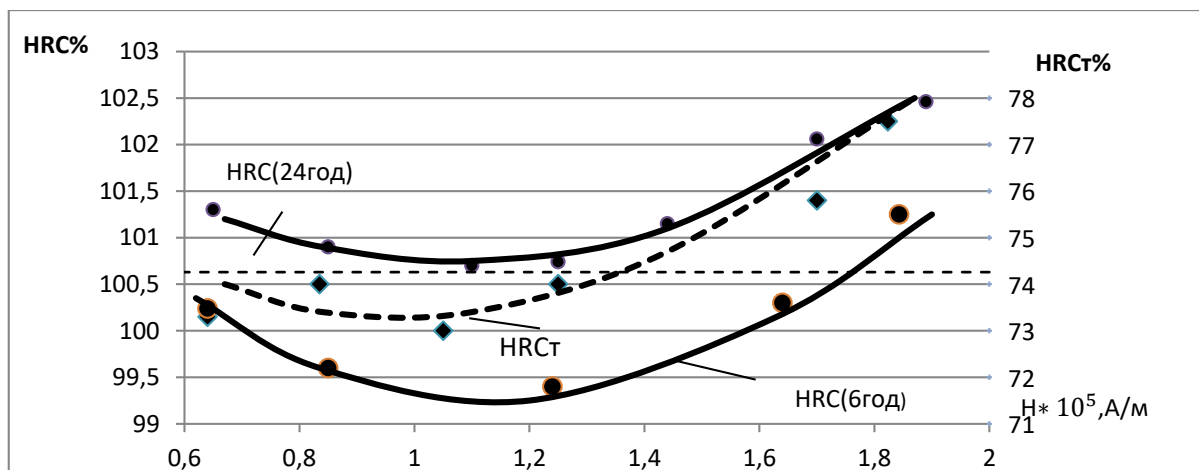


Рис. 4. Залежність зміни твердості та теплостійкості сталі Р6М5К5 від напруженості поля та часу старіння

Проведені дослідження показали, що в сталі Р6М5К5 через 6 годин після магнітної обробки значення твердості в діапазоні полів $1,5 \cdot 10^4 - 1,2 \cdot 10^5$ А/м зменшуються, досягаючи мінімуму при $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м. При подальшому збільшенні напруженості поля значення твердості зростають і, починаючи з робочих полів напруженістю більше $1,35 \cdot 10^5$ А/м, стають вищими за вихідні.

Потім протягом 24 годин продовжується зростання твердості всіх зразків і після витримки вони мають твердість на 0,75–2,25% вище вихідної з максимальною твердістю, отриманої після використання полів максимальної напруженості для експериментальної установки ОІМП-РК1.

Випробування сталі Р6М5К5 на теплостійкість (рис. 4) показали, що вона підвищується в порівнянні з вихідним станом тільки після обробки в полях напруженістю вище

$1,35 \cdot 10^5$ А/м, і досягає найбільших значень, як і твердість при найвищому значенні напруженості поля, що створюється установкою.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз магнітного стану пробивних пуансонів з швидкорізальної сталі на стійкість дозволяє зробити наступні висновки:

- інструмент повинен мати після магнітної обробки залишкову намагніченість близьку до нуля;
- зносостійкість магнітно обробленого інструменту відрізняється від зносу інструменту у вихідному положенні;
- в результаті дії імпульсного магнітного поля відбувається зміна фізико-механічних властивостей швидкорізальних сталей, зростає холодна і гаряча твердість і інструментальний матеріал стає одноріднішим по структурі;
- магнітно-імпульсна обробка являє собою комплексний вплив на матеріал магнітострикційних процесів і механічних деформацій, теплових і електромагнітних вихрових потоків, локалізованих в місцях концентрацій магнітного потоку, а також систему процесів, напружено орієнтованих «спин-характеристики» зовнішніх електронів атомів суміжної зони контакту зерен;
- стійкість інструменту в будь-якому магнітному стані практично не відрізняється, але по відношенню до інструменту у вихідному стані вона багато вище.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алієва Л.І., Таган Л.В. Ресурсозберігаючі процеси холодного видавлювання: посібник для студентів спеціальностей 131-«Прикладна механіка», 136- «Металургія». Краматорськ: ДДМА. 2020. 180 с. ISBN 978-966-379-927-8.
1. Мальгин Б. В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. Москва: Машиностроение. 1989. 112 с.
2. Володин В. Л., Зуев Л. Б., Володин Т. В., Гайдук В. В. Исследование влияния магнитно-импульсных поверхностных воздействий на эксплуатационные характеристики инструментальных сталей и инструмента. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. Москва: 2009. С. 61–65.
3. Берштейн М. Л., Пустовойт В. Н. Термическая обработка стальных изделий в магнитном поле. Москва: Машиностроение. 1987. 256 с.
4. Кинденко Н. И. Магнитострикционное упрочнение и магнитно-дисперсионное твердение быстрорежущих сталей в импульсных магнитных полях. *Научный вестник ДГМА*. Краматорск: 2017. № 2 (23Е). С. 31–35. URL: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962\(23%D0%95_2017/article/8.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962(23%D0%95_2017/article/8.pdf)
5. Кинденко Н. И. Механизм изнашивания и работоспособность инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали и упрочненного методом ОИМП. *Вісник ДДМА*. Краматорськ: 2018. № 2 (44). С. 120–124. URL: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/ddma/Herald_2\(44\)_2018/article/24.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/ddma/Herald_2(44)_2018/article/24.pdf)
6. Преображенский А. А. Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы. Москва: Высшая школа. 1972. 460 с.
7. Винтер Э. К. Магнитный резонанс в металлах. Москва: Мир. 1976. 486 с.
8. Алифанов А. В., Малеронок В. В., Богданович И. А., Лях А. А., Милокова А. М., Толкачева О. А. Исследование влияния режимов магнитно-импульсной обработки на температуру и структурные преобразования в поверхностных слоях образцов из быстрорежущей стали. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки*. Новополоцк: 2021. (3). С. 11–14.
9. Галей М. Т. Изучение влияния магнитного поля на стойкость быстрорежущего инструмента. *Станки и инструмент*. 1981. № 6. С. 31–34.
10. Македонски Б. Г. Обработка режущих инструментов импульсным магнитным полем. *Обработка импульсным магнитным полем. Матер. 4 науч. техн. междунар. сем. по нетрадиционным технологиям АМО'89*. София – Горький: 1989. С. 30–36.
11. Кичко Ю. М., Бычков Н. В. Исследование влияния физических свойств быстрорежущих сталей на оптимальную напряженность импульсного магнитного поля. *Оптимизация процессов резания жаро- и особопрочных материалов*. Межвуз. науч. сб. Уфа: 1983. С. 150–156.
12. Мальгин Б.В. Повышение стойкости инструмента и оснастки магнитной обработкой. *Металлург*. 1987. №10. С. 46–47.
13. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. Москва: Машиностроение. 1982. 320 с.

REFERENCES

1. Aliieva L.I., Tahan L.V. Resource-saving Processes of Cold Extrusion: Guide for students. Kramatorsk: DSEA. 2020. 180 p. ISBN 978-966-379-927-8. (in Ukrainian).

2. Malygin B. V. Magnetic hardening of the tool and machine parts. Moscow: Mechanical engineering. 1989. 112 p. (in Russian).
3. Volodin V. L., Zuev L. B., Volodin T. V., Gaiduk V. V. Investigation of the influence of magnetic-pulse surface impacts on the performance characteristics of tool steels and tools. *Izvestia of higher educational institutions. Ferrous metallurgy*. Moscow: 2009, pp. 61–65. (in Russian).
4. Bershtein M. L., Pustovoit V. N. Heat treatment of steel products in a magnetic field. Moscow: Mechanical engineering. 1987. 256 p. (in Russian).
5. Kindenko N. I. Magnetostrictive hardening and magnetic dispersion hardening of high-speed steels in pulsed magnetic fields. *Scientific Bulletin of DSEA* [Online]. Kramatorsk: 2017. No. 2 (23E). pp. 31–35. URL: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962\(23%D0%95_2017/article/8.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%962(23%D0%95_2017/article/8.pdf). (in Russian).
6. Kindenko N. I. Wear mechanism and performance of a tool made of high-speed steel and hardened by the HFMF method. *Bulletin of DSEA* [Online]. Kramatorsk: 2018. No. 2 (44). pp. 120–124. URL: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/ddma/Herald_2\(44\)_2018/article/24.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/ddma/Herald_2(44)_2018/article/24.pdf). (in Russian).
7. Preobrazhensky A. A. Theory of magnetism, magnetic materials and elements. Moscow: Higher school. 1972. 460 p. (in Russian).
8. Winter E. K. Magnetic resonance in metals. Moscow: Mir. 1976. 486 p. (in Russian).
9. Alifanov A.V., Maleronok V.V., Bogdanovich I.A., Lyakh A.A., Milyukova A.M., Tolkacheva O.A. transformations in the surface layers of samples from high-speed steel. *Bulletin of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science*. Novopolotsk: 2021. (3). pp. 11–14. (in Russian).
10. Galey M. T. Study of the influence of the magnetic field on the resistance of a high-speed tool. *Machine tools and tools*. 1981. No 6. pp. 31–34. (in Russian).
11. Makedonski BG Treatment of cutting tools with a pulsed magnetic field. Treatment with a pulsed magnetic field. *Mater. 4 scientific tech. intl. family on non-traditional technologies AMO'89*. Sofia-Gorky: 1989, pp. 30–36. (in Russian).
12. Kichko Yu. M., Bychkov N. V. Study of the influence of the physical properties of high-speed steels on the optimal strength of the pulsed magnetic field. *Optimization of cutting processes of heat- and extra-strong materials. Interuniversity. Scientific Sat*. Ufa: 1983, pp. 150–156. (in Russian).
13. Malygin B.V. Increasing tool life and tooling by magnetic processing. *Metallurgist*. 1987. No. 10. pp. 46–47. (in Russian).
14. Loladze T.N. Strength and wear resistance of the cutting tool. Moscow: Mechanical engineering. 1982. 320 p. (in Russian).

Kindenko M. I. Follow-up to the injection of the magnetic mill of the punching punches from the fastener steel for resistance.

The real work is devoted research of questions, related to research of influence of the magnetic state and polarity of working part of aggressive punches from high-speed steel of R6M5 on firmness after magnetic-impulsive treatment, being combination of electromagnetic and thermodynamics methods of management the non-equilibrium structure of matter. Reasons of refuses of instruments are more frequent than all related not to their breakage, but with a loss by them to the primary superficial configuration because of wear, splitting off, crumpling, rastreskivaniya, i.e. in connection with destruction or deformations of superficial skins of metal. High-speed steel, as any solid, possesses the resilient internal field, conditioned the real dislocation structure. With imposition of the magnetic field on material on this own resilient field the resilient field, caused magnetostriction deformation, is laid on. On the whole the result of magnetic treatment is examined as a display of effects of posledeystviya is in materials, being on the scopes of stability of their properties and exposed to influence of the external power field.

It is marked that as a result of influence of the impulsive magnetic field there is a change of fiziko-mechanical properties high-speed steel and instrumental material becomes more homogeneous on a structure. It is set that the wear-proofness of the magnetically treated instrument differs from the wear of instrument in initial position. Divergence of mean values of firmness of instrument in the initial state and after magnetic treatment meaningfully, and treatment the impulsive magnetic field substantially influences on.

Key words: magnetic treatment, aggressive punch, polarity, magnetic state, firmness, work-hardening, high-speed steel.

Кінденко Миколай Іванович – канд. техн. наук, доц. ДДМА

Kindenko Mykolaj – Candidate of Technical Science, Associate Professor

E-mail: mykolay.kindenko@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8532-4623>

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ
Donbas State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk