

УДК 621.98.044.7

А. М. Милюкова¹, кандидат технических наук,
А. В. Алифанов^{1,2}, доктор технических наук, профессор,
А. Н. Матяс¹, **О. А. Толкачева**¹

¹Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», ул. Академика Купревича, 10, 220084 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 361 55 52, priemnaya@phti.by, annart@mail.ru

²Учреждение образования «Барановичский государственный университет», ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, alifanov_aav@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОЖЕЙ ИЗ СТАЛИ 30X13 ПОСЛЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

В статье изложены результаты исследования физических и механических свойств, а также микроструктуры поверхности коррозионно-стойкой стали 30X13. Эта марка стали широко применяется для изготовления режущих инструментов (в том числе хозяйственных ножей) и посуды. В целях повышения периода стойкости и качества режущего инструмента использована перспективная технология упрочняющей магнитно-импульсной обработки. Магнитно-импульсная обработка применяется на готовых металлических изделиях, а также для получения заготовок изделий путем формообразующих операций из листовых и трубных материалов (алюминиевые и стальные сплавы). В работе применены различные методы исследования свойств поверхности стали 30X13 до и после магнитно-импульсной обработки (металлографический анализ, экспресс-метод измерения импеданса скин-слоя, трибологические испытания).

Ключевые слова: режущий инструмент; ножи; режущая кромка; коррозионно-стойкая сталь; магнитно-импульсная обработка; свойства; упрочнение; стойкость.

Рис. 5. Табл. 1. Библиогр.: 11 назв.

A. M. Miliukova¹, PhD in Technical Sciences,
A. V. Alifanov^{1, 2}, DSc in Technical Sciences, Professor,
A. N. Matsias¹, **O. A. Tolkachova**¹

¹State Scientific Institution "Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus", 10 Academician Kuprevich Str., 220084 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (29) 361 55 52, priemnaya@phti.by, annart@mail.ru

²Educational Institution "Baranovichi State University", 21 Voykova Str., 225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, alifanov_aav@mail.ru

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF KNIVES MADE OF 30X13 STEEL AFTER MAGNETIC PULSE TREATMENT

The article presents the research results of physical and mechanical properties as well as the surface microstructure of corrosion-resistant steel 30X13. This steel grade is widely used for manufacturing cutting tools (utility knives) and houseware. In order to increase the durability period and the cutting tool quality, the perspective technology of hardening magnetic-pulse treatment has been used. The magnetic-pulse treatment is applied at finished metal products as well as for obtaining of the product billets by forming operations from sheet and piping materials (aluminum and steel alloys). The applied research methods of surface properties of 30X13 steel before and after the magnetic-pulse treatment (metallographic analysis, rapid method of measuring voltage in the skin layer, tribological tests) are given.

Key words: cutting tool; knives; cutting edge; corrosion-resistant steel; magnetic pulse treatment; properties; hardening; resistance.

Fig. 5. Table 1. Ref.: 11 titles.

Введение. Низкая износостойкость режущей кромки режущего инструмента приводит к необходимости частой заточки. При эксплуатации не следует доводить режущий инструмент до износа, превышающего установленные оптимальные значения, которые принимают за критерий износа. Необходимо следить за состоянием режущей части инструмента и своевременно его затачивать. Однако наибольший износ ножей происходит в результате очень частой заточки, что приводит к уменьшению их долговечности [1; 2]. На характер износа ре-

жущих кромок лезвия ножа влияет множество факторов. К основным факторам можно отнести следующие: физико-механические свойства материала режущего инструмента; материал, который подвергается резанию; режимы резания; параметры инструмента и исходное состояние режущих кромок.

Известно множество способов повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента — от применения дорогих высоколегированных сталей и сплавов и оригинальных конструкций до использования трудоемких и экологически грязных технологий: азотирование, цементация, нанесение различных покрытий и др.

В статье [3] изложены результаты сравнительных испытаний в производственных условиях дереворежущих ножей (сталь 6ХС) торцово-конических фрез фрезерно-брусующего станка, которые были изготовлены с использованием термической обработки, термической обработки в сочетании с магнитно-импульсной обработкой (далее — МИО), термической обработки с ионно-плазменным азотированием. Поверхностное упрочнение готовых ножей с использованием технологии МИО позволило получить технологическую стойкость, превосходящую на 20 % стойкость ножей, изготовленных по другим технологиям, и ножей импортного производства.

Упрочняющую МИО применяют на готовых металлических изделиях. Ее осуществляют воздействием импульсами электромагнитного поля определенной напряженности в специальной магнитно-импульсной установке (МИУ) с использованием индукторной системы и с возможностью управления технологическими режимами импульсной обработки. Известно, что МИО наиболее эффективна при воздействии на металлические поверхности с различными дефектами, появляющимися в результате технологических операций (термических, механических). Дефекты кристаллической решетки частично устраняются, выравниваются остаточные внутренние напряжения, в некоторых материалах меняется структурно-фазовый состав. При воздействии импульсов сильных магнитных полей может измельчаться структура поверхностного слоя металлического материала на глубину до 300 мкм; уменьшаются остаточные внутренние напряжения, соответственно, снижается трещинообразование, что обеспечивает повышение прочности изделий и увеличивает их срок эксплуатации. Упрочнение методом МИО непосредственно связано с неоднородностью материала стали, локальным выделением теплоты вблизи границ зерен при протекании индукционных токов, деформационными и магнитострикционными эффектами [4—6].

Многочисленные эксперименты и испытания в лабораторных условиях и на производстве показывают, что в результате МИО разнообразные инструменты, применяемые в деревообрабатывающей, машиностроительной, пищевой отраслях промышленности как на предприятиях Республики Беларусь, так и за рубежом, повышают свои эксплуатационные показатели до двух раз [7]. Известно, что применение МИО по сравнению с известными методами упрочнения имеет ряд преимуществ: не используется экологически небезопасное оборудование и материалы, геометрические параметры упрочненных изделий не меняются, при этом метод позволяет с высокой эффективностью повысить качество поверхности, что очень важно для режущего инструмента [8—11]. Использование метода МИО не предусматривает применение каких-либо покрытий или имплантации химических элементов, что обеспечивает соответствие необходимым гигиеническим нормам и безопасную работу режущего инструмента.

Материалы и методы исследования. В целях проведения исследований микроструктуры, физических и механических свойств поверхности использованы заготовки ножей универсальных (рисунок 1), изготовленных из коррозионно-стойкой стали.



Рисунок 1. — Заготовки ножа универсального НУС-1 (ОАО «Красный металлист»)



Рисунок 2. — Установка МИП-18 с запасаемой энергией в 15 кДж

Заготовки ножа разрезали на части в целях изготовления образцов различных размеров для проведения исследований: химического состава стали, твердости и микротвердости, микроструктуры, износостойкости и др.

Анализ химического состава на сертифицированном атомно-эмиссионном спектрометре СРЕКТРОТЕСТ показал, что заготовки ножей изготовлены из коррозионно-стойкой стали 30X13.

В целях повышения эффективности упрочнения коррозионно-стойких сталей использовалась разработанная в Физико-техническом институте НАН Беларуси полуавтоматическая МИУ МИП-18, представленная на рисунке 2, с максимально запасаемой энергией в 15 кДж. По сравнению с существующими МИУ она обладает меньшей длительностью и большей частотой импульса, что, соответственно, повышает коэффициент полезного действия. Так, МИП-18 позволяет увеличить эффективность магнитного воздействия на инструмент из коррозионно-стойких и тугоплавких марок стали.

Упрочнение режущей кромки плоского ножа толщиной 1 мм и длиной 300 мм проводили с использованием плоского индуктора диаметром 140 мм.

На металлографическом комплексе МГК-1 с оптическим микроскопом проведены исследования изменений микроструктуры поверхностного слоя подготовленных шлифов образцов. Было проведено травление реактивом Nital и фотографирование поверхности образцов в исходном состоянии и после МИО.

Проведены измерения микротвердости HV поверхности на компьютеризированном микротвердомере DuraMin 5 (с погрешностью измерений 2 %).

Сравнительное исследование износостойкости проводили на машине трения TRIBO-3.

Результаты исследования и их обсуждение. В целях исследования влияния МИО на образцы из коррозионно-стойкой стали 30X13 применили энергию воздействия 10 кДж с различным количеством импульсов (таблица 1).

С использованием вышеуказанного оборудования проведены исследования образцов стали 30X13 до и после МИО в целях изучения изменения их физических и механических свойств и определения оптимального технологического режима МИО, который существенно увеличит долговечность режущих ножей.

Металлографические исследования показали на ряде образцов изменения микроструктуры поверхностного слоя после МИО (рисунок 3).

Микроструктура поверхности поперечного сечения образцов, обработанных при 10 кДж, показывает образование модифицированного уплотненного слоя с мелкодисперсной структурой глубиной до 40 мкм (см. рисунок 3, б).

Т а б л и ц а 1. — Технологические режимы МИО образцов стали 30X13

Маркировка образца	Энергия воздействия, кДж	Длительность воздействия, количество импульсов
1	10	1
2	10	2
3	10	3
4	10	4

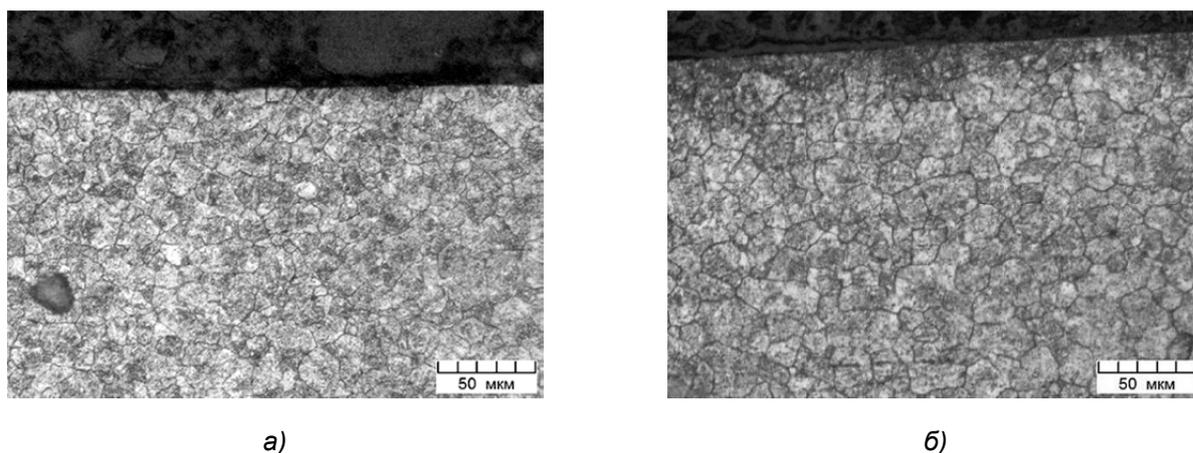


Рисунок 3. — Микроструктура поверхностного слоя образца стали 30X13 до (а) и после МИО (б) по режиму 4 импульса с энергией 10 кДж

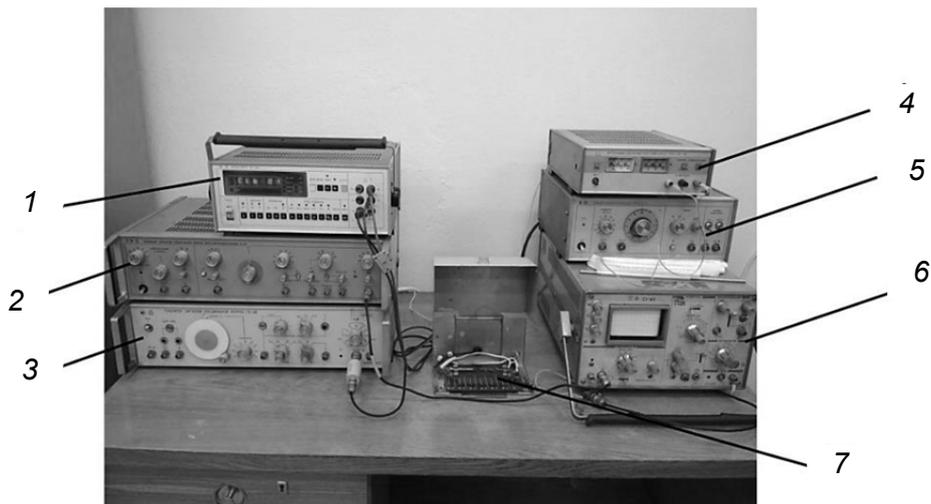
Среднее значение микротвердости HV_{50} поверхности до обработки было 4,7 ГПа, после МИО при 3 импульсах стало 6,4 ГПа (повышение на 35 %), а при 4 импульсах — 4,97 ГПа (относительно начального значения повышение на 5 %). Следовательно, оптимальным режимом МИО для повышения микротвердости является режим 3 импульса с энергией 10 кДж, а при 4 импульсах происходит перегрев образца и, соответственно, снижение микротвердости.

Сравнительное исследование износостойкости на машине трения стальным шариком диаметром 6 мм при нагрузке 20 Н со скоростью 155 мм / с необработанного образца и двух образцов после МИО (4 импульса 10 кДж) показало, что коэффициент трения увеличился на 50 %. Это свидетельствует об ухудшении трибологических свойств под воздействием примененного режима МИО, который привел к перегреву образца, как было указано выше.

В целях определения рационального технологического режима МИО применяли экспресс-метод исследования свойств поверхностного слоя, основанный на проявлении скин-эффекта при прохождении через металлический образец тока высокой частоты от 1,00 до 0,05 МГц. В результате этого эффекта переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется по сечению не равномерно, а преимущественно в поверхностном слое до 300 мкм. Поскольку при магнитно-импульсном упрочнении происходит воздействие именно на поверхность изделия, то анализ результатов скин-эффекта позволит говорить о качестве упрочнения (однородность, балл зерна и др.). На разработанном и внедренном в лаборатории магнитно-импульсных технологий электроизмерительном комплексе, представленном на рисунке 4, был реализован вышеуказанный метод.

Полученные экспресс-методом результаты представлены на рисунке 5. На графиках показано изменение импеданса (напряжения) при прохождении синусоидального тока по поверхности до и после МИО на различной глубине.

Из графиков зависимости напряжения от количества электромагнитных импульсов с энергией 10 кДж каждый (см. рисунок 5) видно, что после первого импульса происходит небольшое уменьшение напряжения, что говорит о снижении электросопротивления при прохождении синусоидального тока высоких частот в связи с уменьшением количества различных структурных дефектов и снижением остаточных внутренних напряжений. После второго импульса напряжение и, соответственно, электросопротивление возросли по причине мгновенного появления мелких зерен и увеличения количества межзеренных границ, что соответствует периоду первичной рекристаллизации. Однако уже после третьего импульса и последующих импульсов напряжение и электросопротивление уменьшились в связи с быстрым увеличением размеров зерен и уменьшением количества межзеренных границ, что свойственно периоду вторичной рекристаллизации.



1 — генератор сигналов специальной формы Г6-28; 2 — генератор сигналов специальной формы многофункциональный Г6-34; 3 — вольтметр В7-46; 4 — источник питания постоянного тока Б5-43; 5 — генератор сигналов специальной формы Г6-37; 6 — осциллограф С1-65; 7 — измерительная ячейка

Рисунок 4. — Электроизмерительный комплекс для исследования влияния режимов МИО на изменение импеданса (напряжения)

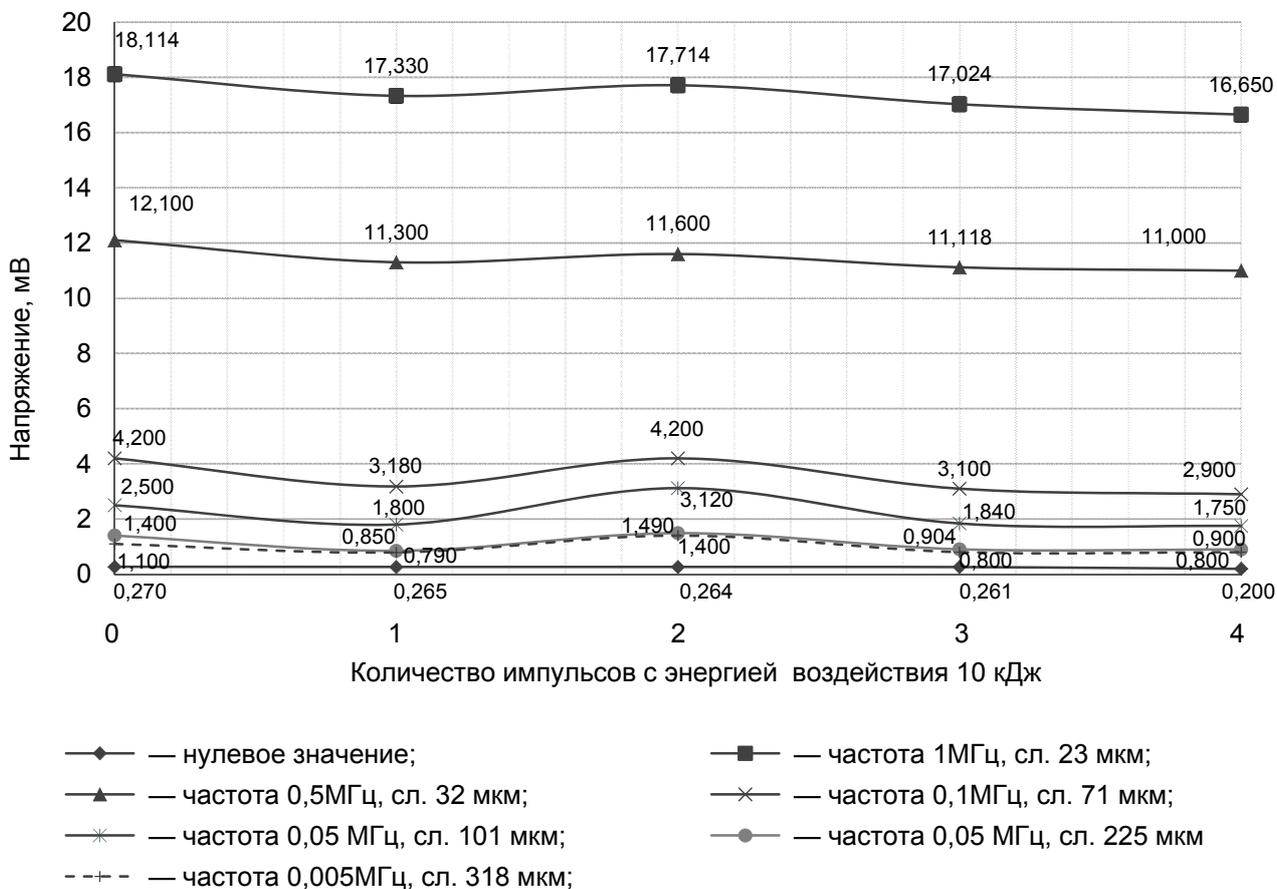


Рисунок 5. — Зависимость потенциала от длительности воздействия (при прохождении синусоидального тока по поверхности до и после МИО)

Полученные результаты показывают, что оптимальным режимом МИО является 2 импульса с энергией 10 кДж, так как именно мелкозернистая однородная структура обеспечивает поверхностные слои обрабатываемых изделий (в данном случае ножей из стали 30X13) максимальной прочностью и износостойкостью.

На основании проведенных исследований и полученных данных можно определить оптимальный технологический режим упрочнения МИО ножа НУС-1 из коррозионно-стойкой стали 30X13 с режущей кромкой, заточенной с двух сторон: с энергией воздействия 10 кДж, 2 импульса с каждой стороны с переворотом. Эти данные позволят разработать технологию упрочнения режущих инструментов, изготовленных из коррозионно-стойкой стали 30X13.

Заключение. Результаты проведенных исследований микроструктуры, физических и механических свойств поверхности коррозионно-стойкой стали 30X13 показали, что под воздействием МИО среднее значение микротвердости HV_{50} поверхности составило 6,4 ГПа (повышение на 35 %). На микроструктуре поверхностного слоя обнаружено образование модифицированного уплотненного слоя глубиной до 40 мкм с мелкодисперсной структурой. Полученные результаты показывают, что оптимальным режимом МИО является 2 импульса с энергией 10 кДж, так как именно мелкозернистая однородная структура обеспечивает поверхностные слои обрабатываемых изделий (в данном случае ножей из стали 30X13) максимальной прочностью и износостойкостью.

Список цитированных источников

1. Башков, В. М. Испытание режущего инструмента на стойкость / В. М. Башков, П. Г. Кацев. — М. : Машиностроение, 1985. — 136 с.
2. Гринь, С. А. Улучшение эксплуатационных характеристик куттеров путем создания новой конструкции ножей / С. А. Гринь, О. М. Филенко, А. А. Телюк // Вісн. НТУ «ХПІ». Сер.: «Нові рішення в сучасних технологіях». — Харків: НТУ «ХПІ». — 2012. — № 66 (972). — С. 14—19.
3. Динамика технологической стойкости ножей с модифицированной поверхностью фрезерно-брусующей машины в условиях производства / И. К. Клепацкий [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр.: в 3 кн. ; редкол.: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2020. — Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки С. 97—104.
4. Алифанов, А. В. Физика процесса магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий, расчет индукторов и параметров процесса / А. В. Алифанов, Д. А. Ционенко, А. М. Милюкова // Перспективные материалы и технологии / под общ. ред. В. В. Клубовича. — Витебск : ВГТУ, 2017. — Гл. 2. — С. 31—52.
5. Малыгин, Б. В. Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин / Б. В. Малыгин. — М. : Машиностроение, 1998. — 130 с.
6. Магнитострикционный механизм образования мелкодисперсной структуры в стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии / А. В. Алифанов [и др.] // Вес. Нац. акад. наук. Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. — 2016. — № 4. — С. 31—36.
7. Милюкова, А. М. Прогрессивные технологии упрочнения магнитно-импульсным воздействием металлических изделий для различных отраслей промышленности / А. М. Милюкова // Технологии. Оборудование. Качество : сб. докл. симп. 2 семинара в рамках Белорус. промышл. форума 2018, Минск, 29 мая — 1 июня 2018 г. / В. С. Харитончик [и др.]. — Минск : Бизнесофсет, 2018. — С. 164—168.
8. Особенности влияния электромагнитного импульсного поля на тонколистовые стальные изделия / А. М. Милюкова [и др.] // Сб. науч. тр. ФТИ НАН Беларуси : в 3 кн. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. — Кн. 1. — С. 182—189.
9. Улучшение эксплуатационных характеристик стальных режущих инструментов сложного профиля, упрочнённых комбинированной магнитно-импульсной обработкой / А. М. Милюкова [и др.] // Механ. оборудование металлург. заводов. — 2018. — № 2. — С. 17—22.
10. Матяс, А. Н. Повышение работоспособности куттерных ножей методом магнитно-импульсной обработки / А. Н. Матяс, А. М. Милюкова, Н. В. Бурносов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. / редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси. — 2022. — Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. — С. 151—158.
11. Матяс, А. Н. Исследование влияния магнитно-импульсного воздействия на шероховатость поверхности инструментальной стали / А. Н. Матяс, А. И. Горчанин, А. М. Милюкова // Сб. науч. тр. ФТИ НАН Беларуси. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2019. — С. 246—254.

Поступила в редакцию 10.10.2022.