

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.983.044

### ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ НОЖЕЙ

*д-р техн. наук, проф. А.В. АЛИФАНОВ*  
(Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск);  
*Ж.А. ПОПОВА, А.С. ДЕМЯНЧИК*  
(Барановичский государственный университет)

*Представлен новый метод упрочнения закаленных стальных изделий магнитно-импульсным воздействием, разработанный учеными Физико-технического института Национальной академии наук и Барановичского государственного университета. Даны описания специально разработанной магнитно-импульсной установки и индуктора для упрочняющей обработки изделий плоской формы. Рассмотрена структура упрочненных поверхностных слоев, которые несут деформационно-упрочненный характер; толщина и микротвердость слоя зависят от энергии и числа импульсов. Приводятся результаты опытно-промышленных испытаний плоских дереворежущих ножей из сталей 8Х6НФТ и 8ХФ, упрочненных магнитно-импульсным воздействием, на деревообрабатывающих предприятиях: упрочненные ножи показали повышение стойкости в 3 раза на операции обработки изделий из сосны и более чем в 1,5 раза на операции обработки изделий из твердых пород древесины (дуб, ясень), что говорит о высокой эффективности и перспективности применения разработанного метода в производстве.*

Задача повышения эксплуатационной надежности инструмента приобретает все большее значение в связи с увеличением механических, тепловых и других видов воздействий на него, а также с резким их удорожанием. Для инструментов, разрушение которых начинается с поверхности, разработано большое количество методов поверхностного упрочнения, основанных на нанесении покрытий или на изменении состояния поверхностного слоя.

Используемые в настоящее время различные способы повышения ресурса инструментов (специальная термообработка, напыление, искровое легирование, лазерная обработка, ионное азотирование и т.д.) требуют применения дорогостоящего оборудования, иногда экологически небезопасного, специальной обработки упрочняемых поверхностей, дорогих высокопрочных порошков; после их применения зачастую необходимо дополнительно подвергать упрочненные поверхности шлифованию. В этой связи определенный интерес представляет метод упрочнения стальных изделий магнитно-импульсным воздействием.

Учеными Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси и Барановичского государственного университета разработана новая технология повышения прочностных свойств стальных изделий путем воздействия сильным импульсным электромагнитным полем. При таком воздействии устраняются дефекты в кристаллической решетке, выравниваются внутренние напряжения, измельчается и становится более однородной структура металла [1]. Целью проводимой работы являлась проверка эффективности способа упрочнения импульсным магнитным полем стальных изделий, изготовленных из инструментальных легированных сталей, и изучение его влияния на структуру и механические свойства образцов. Для упрочняющей обработки применялась магнитно-импульсная установка (рис. 1) и специальный плоский индуктор (рис. 2), разработанные и изготовленные в ФТИ НАН Беларуси.

Магнитно-импульсная установка представляет собой генератор импульсного тока, состоящий из емкостного накопителя электрической энергии (высоковольтной конденсаторной батареи), рабочего органа (индуктора) и коммутирующего устройства (высоковольтного управляемого разрядника).

Для экспериментальных исследований в качестве упрочняемых изделий были выбраны плоские дереворежущие ножи из инструментальной легированной стали марки 8ХФ, широко применяемые при фрезеровании различных древесных материалов, в частности на УП «Мебельная фабрика «Лагуна» для обработки изделий из твердых пород древесины (дуба, ясеня), и ножи из стали марки 8Х6НФТ, применяемые на ОАО «Барановичдрев» для обработки изделий из сосны.

На верхнюю плоскую часть индуктора помещали партию упрочняемых ножей (рис. 3), которые через изолирующую прокладку с помощью специального приспособления прижимались к индуктору, а сам индуктор прижимался к столу магнитно-импульсной установки (рис. 4). Задавали определенные режимы обработки (образцы подвергались обработке энергией различной мощности от 2,5 до 6,0 кДж и количеством импульсов от 1 до 4). С помощью разрядника производился разряд конденсаторной батареи на индуктор. В рабочей зоне индуктора импульсное магнитное поле наводит в находящейся в нем металлической

заготовке вихревые токи. В результате взаимодействия токов индуктора и заготовки возникают мощные механические усилия, оказывающие давление как на заготовку, так и на индуктор. Под действием давления происходит упругопластическое обжатие образцов, изменяющее их структуру и прочностные свойства.

Сильное импульсное магнитное поле инициирует процессы аустенитно-мартенситного превращения, образование и дробление карбидов, измельчение зерен, что положительно сказывается на прочностных качествах стальных изделий [1].



Рис. 1. Магнитно-импульсная установка для упрочнения стальных изделий



Рис. 2. Специальный индуктор для упрочнения плоских стальных изделий



Рис. 3. Установка ножей на плоский индуктор



Рис. 4. Общий вид плоского индуктора с крепежным устройством

Для изучения структуры упрочненного слоя и измерения его микротвердости и толщины на боковых поверхностях дереворежущих ножей были изготовлены шлифы. Определенный участок в шлифе для проведения прицельной металлографии помечался тремя отпечатками микротвердости, по которым можно идентифицировать это место в шлифе при определении микротвердости и микроструктуры до и после магнитно-импульсной обработки.

В ходе проведения эксперимента проводились измерения микротвердости на упрочняемой поверхности ножей, обработанных при различных величине энергии и количестве импульсов. Измерения проводились твердомером ПМТ-3 по общепринятой методике в соответствии с ГОСТ 9450-60. Среднее значение микротвердости образцов из стали 8Х6НФТ до обработки составляло  $542 \text{ кгс/мм}^2$ , после магнитно-импульсной обработки –  $630 \text{ кгс/мм}^2$ ; для стали 8ХФ: до обработки –  $485 \text{ кгс/мм}^2$ , после обработки –  $580 \text{ кгс/мм}^2$ . Анализ приведенных зависимостей показывает, что микротвердость обработанных образцов увеличилась на 16...20 %.

На рисунке 5 представлены графики зависимости микротвердости упрочненных ножей из стали 8ХФ (1) и 8Х6НФТ (2) в зависимости от числа импульсов и при значении энергии импульса 2,5 кДж (рис. 5, а), 4 кДж (рис. 5, б) и 6 кДж (рис. 5, в). Числу импульсов «0» соответствует микротвердость ножей до магнитно-импульсной обработки.

Из представленных на рисунке графиков зависимостей видно, что микротвердость образцов возрастает как при увеличении энергии в импульсе, так и от числа импульсов.

Показатели микротвердости для образцов из стали 8ХФ во всех случаях ниже, чем из стали 8Х6НФТ, что можно объяснить влиянием соответствующих легирующих элементов в металле. Можно также отметить, что для данных сталей влияние на микротвердость образцов величины энергии в импульсе более эффективно, чем влияние числа импульсов. Более того, с увеличением энергии в импульсе эффективность упрочнения от изменения числа импульсов падает. Из этого можно сделать вывод, что с точки зрения экономии затрат энергии на процесс магнитно-импульсного упрочнения эффективнее оперировать увеличением энергии в импульсе, чем количеством импульсов. Это подтверждается данными, представленными на рисунках 5, б и 5, в: при энергии 6 кДж и одном импульсе твердость упрочненной поверхности ножа из стали 8Х6НФТ несколько превышает 600 кгс/мм<sup>2</sup> (затраты энергии – 6 кДж), а при энергии 4 кДж для того, чтобы получить такую же микротвердость, необходимо применить 4 импульса (4 кДж · 4 импульса = 16 кДж), т.е. в сумме затраты энергии во втором случае превышают затраты энергии в первом случае в 2,5 раза.

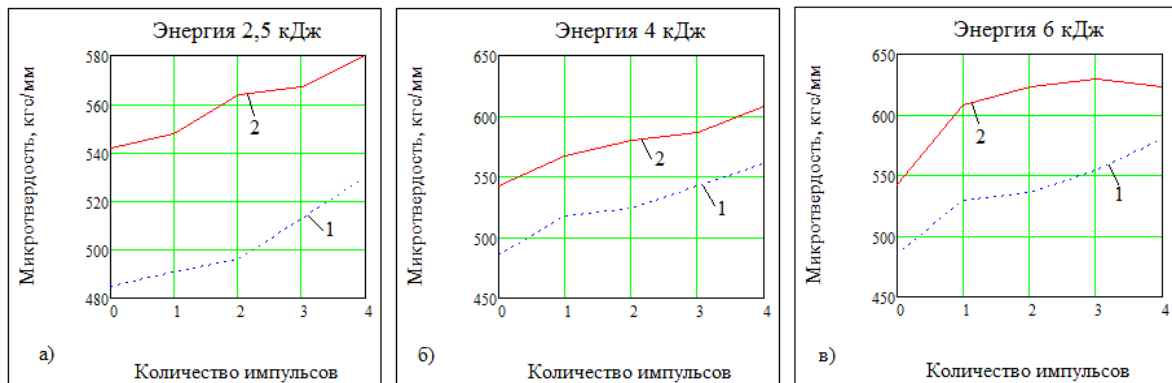


Рис. 5. Зависимость микротвердости упрочняемых поверхностей дереворежущих ножей от энергии в импульсе 2,5 кДж (а), 4 кДж (б), 6 кДж (в) и числа импульсов: 1 – нож из стали 8ХФ; 2 – нож из стали 8Х6НФТ;

Изучение и фотографирование структур были выполнены на металлографическом микроскопе Neophot 21 при увеличении 250.

На фотоснимках (рис. 6 и 7) показаны микроструктуры в области упрочненного слоя сталей 8Х6НФТ и 8ХФ соответственно. На рисунке 6, а и 7, а показаны структуры в исходном состоянии, а на рисунках 6, б и 7, б – после магнитно-импульсной обработки.

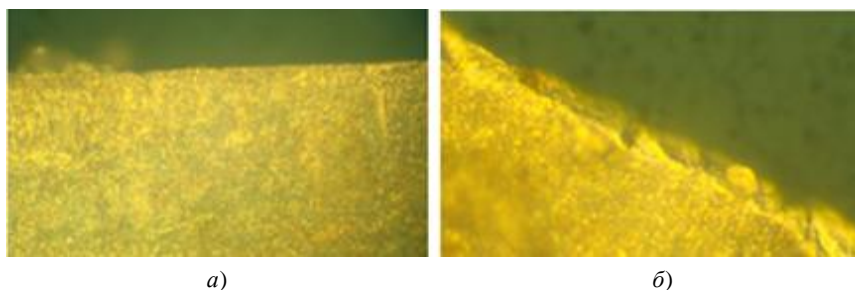


Рис. 6. Микроструктура образцов из стали 8Х6НФТ: в исходном состоянии (а); после обработки магнитным полем (б) (×250)

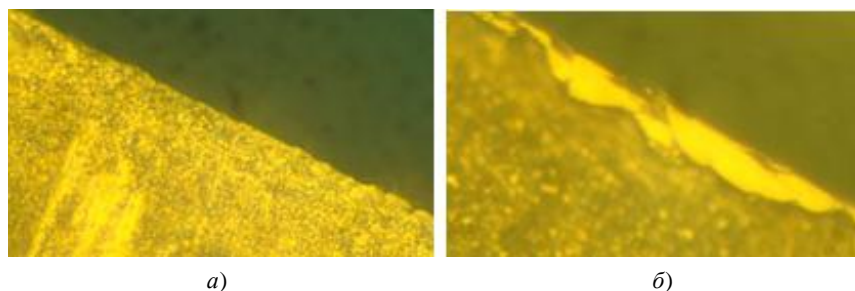


Рис. 7. Микроструктура образцов из стали 8ХФ: в исходном состоянии (а); после обработки магнитным полем (б) (×250)

На снимках (рис. 6, б и 7, б) четко виден упрочненный слой как у образцов из стали 8Х6НФТ, так и из стали 8ХФ. Он выделяется мелкозернистостью и сильно выраженной текстурой, что характерно для деформированных слоев металла. Толщина упрочненного слоя зависит от энергии и количества импульсов (от 30 до 75 мкм). С уменьшением энергии в импульсе толщина слоя уменьшается, и он имеет более ровный, однородный вид. С увеличением энергии толщина слоя увеличивается, но он приобретает неоднородный по глубине характер.

Измерения микротвердости по глубине образца показали, что в упрочненном слое микротвердость имеет максимальную величину, а при переходе через явно выраженную границу упрочненного слоя микротвердость заметно уменьшается, но при этом превышает микротвердость основы.

Для изучения влияния магнитно-импульсной обработки на прочностные показатели упрочненных ножей были проведены их испытания в производственных условиях. Для испытаний были выбраны ножи с максимальной микротвердостью упрочненной поверхности: для ножей из стали 8Х6НФТ она достигалась при энергии 6 кДж и 3 импульсах, а для стали 8ХФ – при энергии 6 кДж и 4 импульсах.

На ОАО «Барановичдрев» ножи, изготовленные из стали 8Х6НФТ и упрочненные магнитно-импульсным воздействием, прошли опытно-промышленные испытания на четырехстороннем фрезерном станке Yumat на операции фрезерования брусков для оконных створок из древесного материала «сосна клееная» в течение 2 месяцев и показали стойкость, в 3 раза превышающую стойкость таких же ножей, использованных на этой же операции, но не упрочненных магнитно-импульсным методом (на фрезу устанавливался комплект из 6 ножей).

Ножи, изготовленные из стали 8ХФ и упрочненные магнитно-импульсным воздействием, прошли опытно-промышленные испытания на УП «Мебельная фабрика «Лагуна» на фрезерном деревообрабатывающем станке ФШС1А на операции фрезерования плоскостей ножек стульев из твердых древесных пород «ясень» и «дуб» (на фрезу устанавливался комплект из 4 ножей). За период работы в течение 2 недель опытные ножи показали стойкость, более чем в 1,5 раза превышающую стойкость таких же ножей, не упрочненных магнитно-импульсной обработкой (определялась стойкость ножей до их переточки). Кроме того, установлено, что качество обрабатываемых поверхностей деталей улучшилось: снизилась шероховатость, отсутствуют сколы и подрывы древесины, также отмечена плавность хода ножей, и образование при обработке более мелкой (дробной) стружки, что в совокупности благоприятно сказывается на качестве изделия и снижает энергоемкость процесса резания.

После проведения производственных испытаний были исследованы геометрические параметры режущих кромок ножей как не упрочненных, так и упрочненных магнитно-импульсным воздействием. В частности, измерялись радиусы режущих кромок ножей до проведения испытаний (сразу после их заточки) и после опытно-промышленных испытаний до перезаточки. Измерения радиуса изношенных кромок ножей производились на инструментальном микроскопе ММИ-2 с радиусной головкой ОГР-23. Радиусы всех ножей (упрочненных и неупрочненных) перед началом испытаний находились в пределах 10...11 мкм. Средний радиус кромок неупрочненных ножей после окончания испытаний составил 30 мкм (увеличение радиуса затупления по сравнению с начальным – 3 раза).

На рисунке 8 представлены графики изменения износа режущей кромки ножей (среднее значение радиуса ее затупления), обработанных магнитно-импульсным воздействием – из стали 8ХФ (рис. 8, а) и 8Х6НФТ (рис. 8, б) в зависимости от числа импульсов при значениях энергии импульса 2,5 кДж (график 1), 4 кДж (график 2) и 6 кДж (график 3).

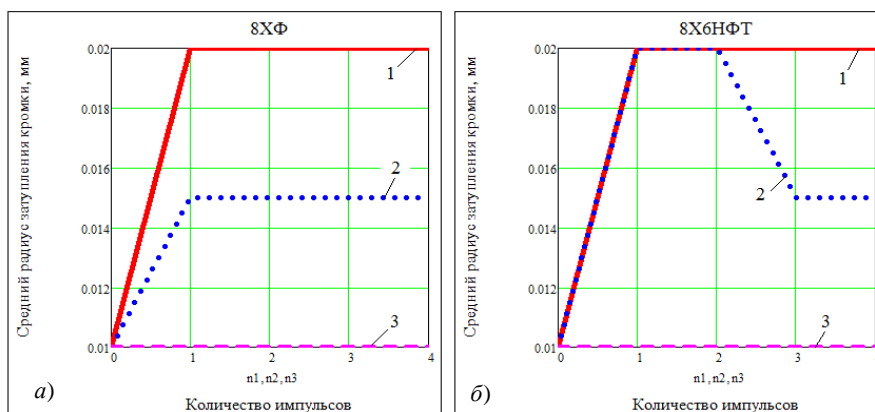


Рис. 8. Зависимость износа режущей кромки от количества импульсов для сталей марок 8ХФ (а) и 8Х6НФТ (б):

1 – энергия 2,5 кДж; 2 – энергия 4 кДж; 3 – энергия 6 кДж



Из рисунка 8 видно, что средний радиус кромки ножа, обработанного магнитно-импульсным полем с энергией импульса 2,5 кДж, составляет 20 мкм для сталей 8ХФ (рис. 8, а) и 8Х6НФТ (рис. 8, б) при количестве импульсов от 1 до 4. При увеличении энергии импульса до 4 кДж износ кромки ножа из стали 8ХФ увеличился до 15 мкм при количестве импульсов от 1 до 4 (рис. 8, а), а для стали 8Х6НФТ – при количестве импульсов 1 и 2 средний радиус затупления режущей кромки увеличился до 20 мкм, а при количестве импульсов 3 и 4 – до 15 мкм (рис. 8, б). С увеличением энергии импульса до 6 кДж износа режущей кромки за период испытаний практически не наблюдалось – средний радиус затупления кромки оставался в пределах 10...11 мкм как для стали 8ХФ, так и для стали 8Х6НФТ.

Полученные данные свидетельствуют о том, что для ножей из сталей 8ХФ и 8Х6НФТ с точки зрения уменьшения износа режущей кромки наиболее оптимальной является магнитно-импульсная обработка с энергией импульса 6 кДж.

Кроме радиуса режущих кромок были проведены измерения износа передней грани ножей в виде выемки определенной глубины, которая образуется за счет интенсивного воздействия движущейся по ней стружки. На рисунке 9 схематически показан нож с образовавшейся на нем выемкой. На профилемере МЕ-10 измеряли глубину  $h$  выемки, образовавшейся после проведения испытаний как упрочненных, так и неупрочненных ножей. Средняя глубина выемки на неупрочненных ножах составила 95 мкм, а упрочненных магнитно-импульсным воздействием – от 16 до 37 мкм в зависимости от величины энергии и количества импульсов (с увеличением этих показателей возрастает твердость поверхностного слоя и, соответственно, уменьшается размер выемки).

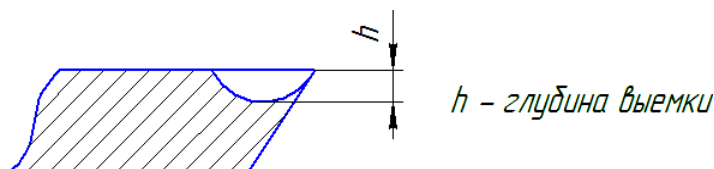


Рис. 9. Образование выемки на поверхности ножа в процессе резания древесины

**Заключение.** Результаты проведенных исследований показывают высокую эффективность и перспективность разработанного метода упрочнения плоских дереворежущих ножей, изготовленных из инструментальных легированных сталей. Установлено, что под воздействием магнитно-импульсного поля (от 2,5 до 6,0 кДж) образуется деформационно-упрочненный слой, толщина которого зависит от энергии и числа импульсов. В результате этого значительно повышаются прочностные и стойкостные характеристики упрочненных дереворежущих ножей.

Преимуществом магнитно-импульсной обработки по сравнению с другими известными методами упрочнения является то, что геометрические параметры и качество поверхности обработанных изделий не меняются, не требуются дополнительные операции термообработки, шлифования, а сам процесс отличается низким энергопотреблением, высокой производительностью, экологической чистотой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка металлических изделий / А.В. Алифанов [и др.] // Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы 9-й междунар. практ. конф., Санкт-Петербург, 10 – 13 апр. 2007 г.: в 2-х ч. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – Ч. 1. – 509 с.

Поступила 03.08.2012

#### EFFECT OF A REINFORCING MAGNETIC-PULSE TREATMENT ON STRENGTH PROPERTIES OF WOOD-CUTTING KNIVES

A. ALIFANOV, ZH. POPOVA, A. DEMYANCHIK

*Wood-cutting knives made of 8Х6НФТ and 8ХФ tool steels and hardened by their exposure to a pulsed magnetic field have undergone successful long-term production tests at different woodworking enterprises of the Republic of Belarus. As compared to analogous knives that had not been subjected to pulse magnetic processing they demonstrated increase in tool life by 1,5 times and up to 3 times when working oak and ash hard woods and pine, respectively. Thus, their implementation can be recommended for carrying out respective operations at woodworking enterprises of the Republic of Belarus.*