



УДК 621.98.044.7

**А.М. Милюкова, А.И. Горчанин,
Н.В. Бурносов, Г.П. Горецкий**
Государственное научное учреждение
«Физико-технический институт НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: annart@mail.ru
Дата поступления 19.03.2018

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ, УПРОЧНЁННЫХ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Аннотация

С целью повышения износостойкости и качества сложнопрофильных ножей для резки сахарной свеклы применен новый метод магнитно-импульсной обработки (МИО). Проведены их испытания в условиях производства на ОАО «Скидельский сахарный комбинат». Металлографические и дюрOMETрические исследования образцов ножей после комбинированной магнитно-импульсной обработки и испытаний показали, что этот метод позволил за счет улучшения микроструктуры поверхностного слоя повысить период стойкости в 1,8 раза. Выявлены режимы МИО, при которых снижается шероховатость упрочняемых рабочих поверхностей ножей, что повышает качественные характеристики свекольной стружки.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка, образцы ножей, микроструктура, микротвердость, шероховатость, качество поверхности, режимы упрочнения.

Введение

Условия работы режущих инструментов обрабатывающих машин весьма разнообразны и в каждом конкретном случае зависят от множества факторов, которые можно классифицировать по технологическим признакам: факторы, зависящие от характеристик и свойств обрабатываемого материала; факторы, относящиеся к режущему инструменту, и режимы обработки, обеспечивающие необходимые требования к показателям выпускаемой продукции. Основное требование к режущим инструментам — это обеспечение их высокой работоспособности.

Факторы, характеризующие физико-механические и другие свойства обрабатываемого материала, достаточно стабильны, специфичны каждому виду производства и практически изначально заданы. Режимы обработки оптимизируются, задаются и обеспечиваются техническими характеристиками оборудования и инструментов в зависимости от требуемых параметров продукции и экономических показателей производств [1–3].

Наиболее значимые и разнообразные факторы, обеспечивающие высокоэффективные экономические показатели процессов обработки, относятся к режущим инструментам. Зачастую это факторы взаимовлияющие, например, высокая твердость инструментов, как правило, повышает их хрупкость и снижает способность выдерживать динамические нагрузки [4, 5].

В целом все элементы резцов имеют определенные требования в совокупности, обеспечивающие их длительную работоспособность. Режущая кромка — наиболее важный элемент, влияющий на все основные показатели процесса обработки (качественные и экономические). Режущая кромка образуется рабочими поверхностями инструмента, формируя заданный ею профиль свойства, которые и обеспечивают стабильность характеристик процесса резания во времени.

Заданные свойства рабочих поверхностей в основном зависят от материала инструментальных сталей, разнообразие которых весьма значительно. Существующие технологии изготовления инструментов ис-

пользуют разнообразные способы, повышающие прочность и износостойкость рабочих поверхностей. Кроме этого, качество и шероховатость поверхности должны быть достаточно высокими, так как стружка при движении не должна создавать значительного трения и интенсифицировать процесс износа инструментов, а при получении стружки-продукта не должны ухудшаться ее качественные характеристики.

В лаборатории объемных гетерогенных систем Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси разработали и применили технологию упрочнения МИО с целью повышения износостойкости сложнопрофильных ножей немецкой фирмы «Putsch» для резки сахарной свеклы (рисунок 1) [6 - 8].

Эти ножи сложной конструкции с зигзагообразной режущей кромкой изготавливают путем фрезерования или штамповки заготовок из углеродистых и инструментальных сталей. Режущие свойства ножей восстанавливают до 5 раз на специальных правильных и заточных станках, что продлевает их временной ресурс эксплуатации.



Рисунок 1. Нож для резки сахарной свеклы

При определенных режимах воздействия импульсного магнитного поля на токопроводящий металл изделия устраняются дефекты в кристаллической решетке, выравниваются внутренние напряжения, измельчается и становится более однородной структура металла, что обеспечивает одновременно высокую твердость и пластичность, столь необходимые для повышения работоспособности металлических изделий [9].

Учитывая вышесказанное и специфику переработки сахарной свеклы на стружку-продукт, рассмотрим возможности усовершенствования процесса подго-

товки сложнопрофильных режущих инструментов, повышающих их работоспособность на основе упрочнения и уменьшения шероховатости методом МИО.

Цель настоящего исследования заключалась в определении влияния МИО на микроструктуру, твердость, качество поверхности и работоспособность свеклорезных ножей.

Предметом исследования являлись ножи для резки сахарной свеклы, используемые на ОАО «Скидельский сахарный комбинат» [10].

Методы исследования

Для проведения исследований разработана, изготовлена и испытана новая технологическая оснастка для магнитно-импульсных установок, изготовленных в Физико-техническом институте НАН Беларуси (рисунок 2).

Проведена МИО с целью определения оптимального режима на специальных установках МИУ-2 и МИУ-3 в цилиндрическом и на плоском индукторах (рисунок 3).

Обработка ножей проводилась по режимам, отличающимся применяемыми индукторами (рисунок 3) и энергией воздействия электромагнитного поля от 6 до 8 кДж.



Рисунок 2. Магнитно-импульсные установки МИУ-2 и МИУ-3

Комплексная МИО свеклорезных ножей последовательно в цилиндрическом и на плоском индукторах упрочняет не только края режущей кромки лезвий ножа, но и граней, на которых формируются эти лезвия, что обеспечивает сохранение после переточки модифицированной микроструктуры поверхностного слоя.

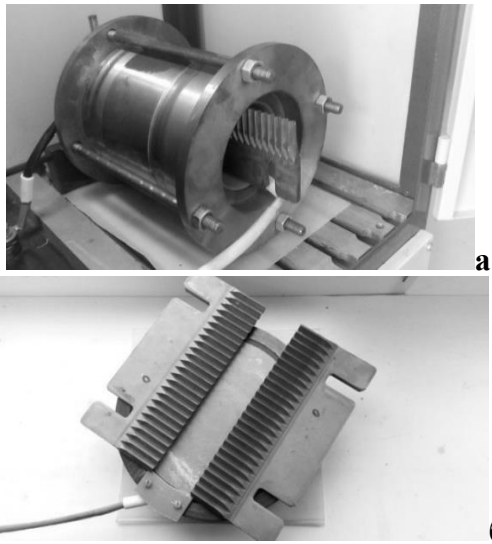


Рисунок 3. Внешний вид использованных индукционных систем:
а – цилиндрический индуктор;
б – плоский индуктор

Опытную парию упрочненных ножей установили в едином комплекте в соответствии с техническими характеристиками свеклорезной машины марки «Putsch» (Германия) в цехе резки свеклы ОАО «Скидельский сахарный комбинат» (Беларусь). В соответствии с техническим регламентом технологического процесса проводился постоянный контроль качества свекольной стружки. При достижении предельно допустимых параметров свекольной стружки ножи подлежали замене.

Ножи, прошедшие производственные испытания, подвергли лабораторным исследованиям. Были изготовлены образцы для измерения микротвердости поверхностного слоя, шероховатости, проведения металлографических исследований. Приготовление шлифов и металлографические исследования микроструктуры, а также дюрометрический анализ проводились по известным методикам [11–12].

При выполнении лабораторных исследований применяли следующие технические средства: микротвердомер ПМТ-3 для измерения микротвердости поверхностного слоя шлифов; металлографический комплекс МГК-1 на основе оптического микроскопа МКИ-2М, для измерения шероховатости использовался профилометр цеховой с цифровым отсчетом и индуктивным преобразователем, модель 296.

Основные положения

К упрочнению поверхности стальных изделий под воздействием магнитного импульса, кроме деформаций, приводящих к уплотнению структуры вблизи поверхности, относятся также явления фазовых превращений аустенит – мартенсит, миграции примесей и дефектов вблизи границ зерен, возникновение мелкодисперсной структуры на поверхности заготовки, связанное с образованием новых границ между зернами и дроблением пластинок цементита. Осуществление этих процессов непосредственно связано с неоднородностью материала стали, локальным выделением теплоты вблизи границ зерен при протекании индукционных токов и магнитострикционными эффектами (в случае изделий, выполненных из магнитных сталей) [13].

Известно, что прочностные свойства стальных изделий не зависят линейно от твердости и во многом определяются микроструктурой стали [14]. После МИО были проведены металлографические исследования образцов, результаты которых представлены на рисунке 4.

После комбинированной МИО при самом эффективном режиме поверхностный слой исследуемых ножей приобрел однородную мелкозернистую структуру троосто-сорбита с упрочненным поверхностным слоем глубиной 40–60 мкм (рисунок 5). Как видно из рисунка 5, создана градиентная структура с упрочнением лишь поверхности рабочих режущих кромок, а сердцевина ножа сохранила свои свойства с бейнитно-трооститной структурой. Такая структура обеспечивает одновременно высокую твердость и пластичность, необходимые для ножей, работающих в условиях циклических ударных нагрузок [15].

Микроструктура режущих кромок ножей для резки свеклы после производственных испытаний представлена на рисунке 6. Как видно из рисунка 6 поверхностный слой упрочненного ножа подвергся износу в процессе испытаний в малой степени, что свидетельствует о повышении износостойкости режущей кромки.

Проведено измерение твердости ножа в разрезе. Результаты измерения представлены на рисунке 7.

Твердость материала ножа (аналога стали 38ХГНМ) на державке составляет 20 HRC, а на лезвии – 37–40 HRC, что свидетельствует о том, что нож прошел индукционную закалку только в области режущей кромки лезвия. На рисунке 7 пунктирной линией показана твердость ножа до МИО, а сплошной – повышенная твердость после упрочнения комбинированной МИО. Определены технологические режимы МИО, при которых повышается качество упрочняемых рабочих поверхностей ножей, снижается их шероховатость. Была проведена серия экспериментов по установлению влияния энергетических режимов на показатели качества поверхности. Результаты приведены в таблице 1.

Установлено, что при режиме 1 шероховатость уменьшается на 19,2 %. Улучшение показателей шероховатости поверхности ножей способствует повышению качества свекольной стружки и производительности свеклорезного оборудования.

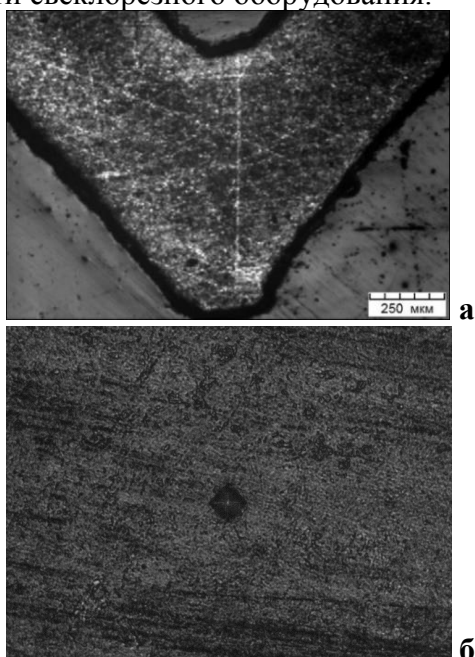


Рисунок 4. Микроструктура свеклорезного ножа после МИО:

- а* – профиль со светлым поверхностным слоем, образовавшимся после МИО,
- б* – сердцевина ножа после измерения твердости

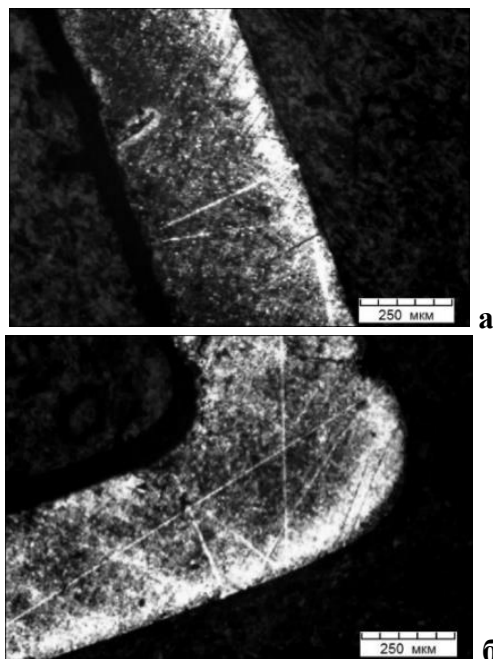


Рисунок 5. Микроструктура ножа для резки свеклы после МИО до испытаний:

- а* – грань режущей кромки ножа;
- б* – вершина рифления режущей кромки ножа

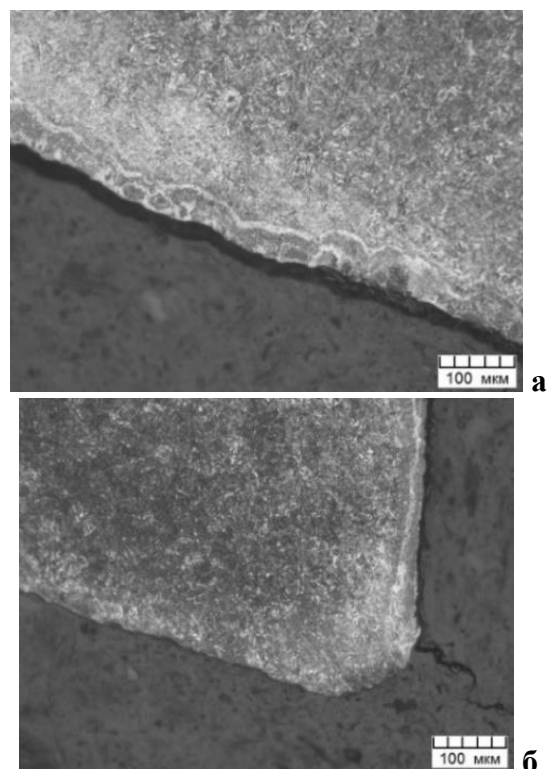


Рисунок 6. Микроструктура образцов ножей, упрочненных МИО, после испытаний:

- а* – грань режущей кромки ножа;
- б* – вершина рифления режущей кромки ножа

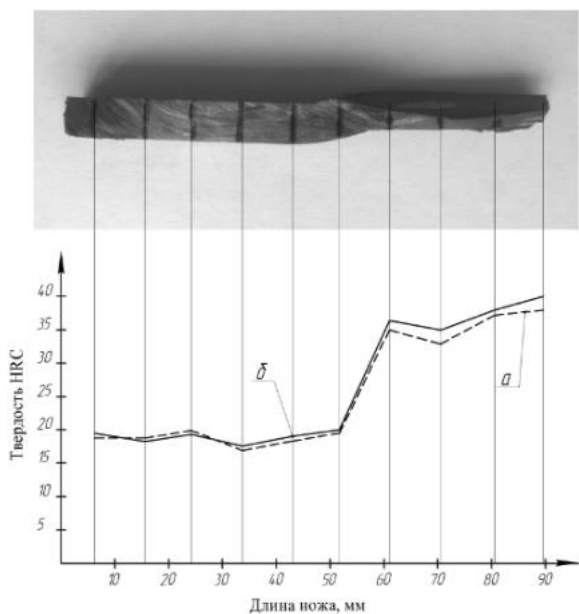


Рисунок 7. Изменение твердости ножа до (а) и после комбинированной МИО (б)

Производственные испытания упрочненных МИО ножей показали увеличение периода работоспособности в 1,8 раза по сравнению с неупрочненными ножами. Таким образом, результаты испытаний немецких свеклорезных ножей в производственных условиях показали эффективность разработанной упрочняющей технологии МИО и возможность значительно увеличить их работоспособность.

Таблица 1
Результаты исследования изменения шероховатости поверхности ножей при МИО

№ образца	Режим	Шероховатость, мкм		% изменения
		До МИО	После МИО	
1	Режим 1	1,47	1,19	19,2
2	Режим 2	1,48	1,29	12,8
3	Режим 3	1,38	1,19	14,2
4	Режим 4	1,36	1,34	8,4
5	Режим 5	1,42	1,31	8,8

Выводы

Методом комбинированной магнитно-импульсной обработки была упрочнена опытная партия стальных свеклорезных ножей с режущей кромкой сложного

зигзагообразного профиля с улучшением качества поверхности и без изменения их геометрических параметров.

Изучено изменение микроструктуры ножей после МИО при различных режимах, заключающиеся в формировании поверхностного слоя глубиной 40–60 мкм с мелкозернистой и однородной трооститно-сорбитной структурой, при этом происходит повышение показателя шероховатости поверхности до 19,2%.

Установлено увеличение периода работоспособности упрочненных ножей в 1,8 раза, что позволяет рекомендовать применение упрочняющей МИО для инструмента сложного профиля на предприятиях сахарной отрасли пищевой промышленности.

Такая технология позволит снизить потребность в закупках импортных ножей и повысить экономические показатели производства.

Библиографический список

1. Боровский Г.В., Григорьев С.Н. Справочник инструментальщика / под общей ред. А.Р. Маслова. — 2-е изд., испр. — М.: Машиностроение, 2007. — 464 с.
2. Звягольский, Ю. С. Технология производства режущего инструмента: учебное пособие для вузов / Ю. С. Звягольский, В. Г. Солоненко, А. Г. Схиртладзе. — Москва: Высшая школа, 2010. — 334 с.
3. Баршай, И. Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при обработке в условиях дискретного контакта с инструментом. — Минск: УП «Технопринт», 2003. — 244 с.
4. Сулима, А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин — Минск, 1998.
5. Ящерицин, П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / П.И. Ящерицын, Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков — Минск, 1977.
6. Алифанов, А.В. Повышение износостойкости ножей для резки сахарной свеклы методами высокоэнергетической обработки / А.В. Алифанов, [и др.]

- // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14-16 сентября 2016 г. В 3 кн. / 2 кн. – 2016. – Мн.: ФТИ НАН Беларуси. – С. 4–10.
7. Горчанин, А.И. Влияние магнитно-импульсной обработки на структуру и свойства сложнопрофильного режущего инструмента / А.И. Горчанин, А.М. Милюкова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 13-15 сентября 2017 г. В 3 кн. / 2 кн. – 2017. – Мн.: ФТИ НАН Беларуси. – С. 48-53.
 8. 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: Изд-во УО «ВГТУ», 2017 г. — Гл. 13.– С. 31-52.
 9. Малыгин, Б.В. Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин / Б. В. Малыгин. – М.: Машиностроение, 1998. – 130 с.
 10. Стандарт СЭВ 4399-83. Ножи свекло-резные. Основные размеры, технические требования. – Введ. 01.12.1983. – Дрезден.: Издательство стандартов, 1983. – 5 с.
 11. Металлографическое травление металлов и сплавов: Справ. изд. / Л.В. Баранова, Л.М. Демина – М.: Metallurgia, 1986.– 256 с.
 12. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу: ГОСТ 9013-59.– Введ. 01.01.1969. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1989. – 11 с.
 13. Алифанов, А.В. Магнитострикционный механизм образования мелкодисперсной структуры в стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии / А.В. Алифанов, Д.А. Ционенко, А.М. Милюкова, Н.М. Ционенко // Вес. Нац. акад. наук. Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. — 2016. — №4. — С. 31–36.
 14. Металловедение. Сталь: Справочник: в 2т. / В. Енике, В. Даль, Г.Ф. Кленер и др.: Перевод с немецкого. Москва: Metallurgia, 1995.
 15. Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 8-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.

Information about the paper in English

A.M. Milyukova, A.I. Gorchanin, N.V. Burnosov, G.P. Goretsky
 The Physics and Technology Institute of the
 National Academy of Sciences of Belarus,
 Minsk, Belarus
 E-mail: annart@mail.ru
 Received 19.03.2018

**IMPROVING THE PERFORMANCE OF STEEL CUTTING TOOLS OF COMPLEX PROFILE,
 STRENGTHENED WITH A COMBINED MAGNETIC-PULSE PROCESSING**

Abstract

To improve the wear resistance and quality of complex knives for cutting sugar beet, a new method of magnetic pulse treatment (MPT) has been applied. They were tested in production conditions at JSC Skidelsky Sugar Refinery. Metal-graphical and durometric studies of knife samples after combined magnetic pulse treatment and testing showed that this method made it possible to increase the durability period 1.8 times due to the improvement of the microstructure of the surface layer. The MPT regimes are revealed under which the roughness of the hardened working surfaces of the knives is reduced, which increases the quality characteristics of the beet chips.

Keywords: magnetic pulse treatment, knife samples, microstructure, microhardness, roughness, surface quality, hardening modes.