

Учреждение образования  
«Барановичский государственный университет»

## *Вестник БарГУ*

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 5, июнь, 2017.

Серия «Технические науки»

---

*Учредитель:* учреждение образования «Барановичский государственный университет».

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

*Главный редактор журнала* Кочурко Василий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, Заслуженный работник образования Республики Беларусь, ректор учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

*Заместитель главного редактора журнала* Никишова Алла Васильевна, кандидат филологических наук, доцент, проректор по научной работе учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

#### Главный редактор серии

Алифанов Александр Викторович, лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оборудования и автоматизации производства учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

#### Ответственный секретарь серии

Горбач Юлия Евгеньевна, старший преподаватель кафедры экономики и организации производства инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

#### Редактор текстов на английском языке

Пинюта Ирина Вячеславовна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры профессиональной иноязычной подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Гавриленя Андрей Константинович (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общенаучных дисциплин инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Дубень Игорь Викторович (*ответственный за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»*), кандидат технических наук, доцент кафедры механизации и энергообеспечения производства инженерного факультета, декан факультета довузовской подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Геннадий Иосифович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и организации технического сервиса учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Белый Алексей Владимирович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Гордиенко Анатолий Илларионович, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, начальник Центра индукционных технологий Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Девоино Олег Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий филиала Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть» (Минск, Республика Беларусь).

Добышев Анатолий Семёнович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государ-

ственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Дремук Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механизации и энергообеспечения производства учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ивашко Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации автомобилей Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Калугин Юрий Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиноведения и технической эксплуатации автомобилей учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (Гродно, Республика Беларусь).

Карташевич Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клочков Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных машин учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клубович Владимир Владимирович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, профессор, главный научный сотрудник Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Ласковнѳ Александр Петрович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, академик-секретарь отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси (Минск, Республика Беларусь).

Нерода Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Спиридонов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Томило Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры деталей машин Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Шелег Валерий Константинович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

*Адрес редакции:*

ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.

Телефон: +375 (163) 45 46 28.

E-mail: [vestnik@barsu.by](mailto:vestnik@barsu.by).

*Подписные индексы:* 00993 — для индивидуальных подписчиков; 009932 — для организаций.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

*В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включѳн в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам (машиностроение и машиноведение; процессы и машины агроинженерных систем).*

*Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включѳн в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-1/2016.*

*Издатель:* учреждение образования «Барановичский государственный университет».

*Выходит на русском, белорусском и английском языках.*

*Журнал распространяется на территории Республики Беларусь.*

*Заведующий редакционно-издательским отделом С. А. Березнюк*

*Технический редактор А. Ю. Сидоренко*

*Компьютерная вѳстка С. М. Глушак*

*Корректор С. А. Березнюк*

Подписано в печать 12.06.2017. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,50. Уч.-изд. л. 7,60. Тираж 75 экз. Заказ 1325.

*Цена свободная.*

*Полиграфическое исполнение: открытое акционерное общество «Красная звезда». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя и распространителя печатных изданий № 2/7 от 28.10.2013.*

*Юридический адрес: пер. 1-й Загородный, 3, 220073 Минск.*

*Почтовый адрес: ул. Советская, 80, 225409 Барановичи.*

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<b>Акулович Л. М., Сергеев Л. Е., Дечко М. М., Сенчуров Е. В.</b> Факторный анализ процесса магнитно-абразивной обработки по критериям качества обработанной поверхности . . . . .	10
<b>Алифанов А. В., Богданович И. А., Малеронок В. В.</b> Исследование влияния магнитно-импульсной обработки поверхностного слоя стальных образцов на их физико-механические свойства . . . . .	18
<b>Алифанов А. В., Милюкова А. М., Бурносов Н. В., Толкачева О. А.</b> Повышение прочностных характеристик порошковой титановой бронзы . . . . .	25
<b>Голубев В. С., Гуринович В. И., Романчук И. А.</b> Лазерная поверхностная обработка материалов и пути повышения ее эффективности . . . . .	31
<b>Горчанин А. И., Милюкова А. М.</b> Исследование ножей, упрочненных магнитно-импульсной обработкой, для резки сахарной свеклы . . . . .	37
<b>Грищенко Л. С., Иванова Н. П., Матыс В. Г., Ашуйко В. А.</b> Ингибиторная защита горячеоцинкованной стали в хлоридсодержащих средах . . . . .	43
<b>Милюкова А. М., Горчанин А. И., Бурносов Н. В., Михлюк А. И.</b> Определение режима магнитно-импульсного упрочнения дисков хлопкоочистительных машин . . . . .	49
<b>Попок Н. Н., Кузьмич Е. В., Черневич М. В.</b> Сверление комбинированного металлостеклополимерного материала . . . . .	56
<b>Попок Н. Н., Кунцевич И. П., Хмельницкий Р. С., Анисимов В. С., Гвоздь Г. И.</b> Изменение передних и задних углов лезвия фрезы при обработке сферических поверхностей детали . . . . .	71
<b>Русан С. И.</b> Нетрадиционный метод силового анализа статически неопределимых систем с жестким объектом . . . . .	78
<b>Сиваченко Л. А., Сотник Л. Л.</b> Анализ работы подшипниковых узлов эксцентрикового вала вибро-валкового измельчителя . . . . .	87

### ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

<b>Клочков А. В., Ковалевский В. Ф.</b> Результаты испытаний пружинно-пальцевых активаторов клавишного соломотряса зерноуборочного комбайна . . . . .	93
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

УДК 621.98.044.7

**А. И. Горчанин, А. М. Милюкова**

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», ул. Купревича, 10, 220004, г. Минск, Республика Беларусь, +375 (17) 369 85 52, annart@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ НОЖЕЙ, УПРОЧНЕННЫХ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ, ДЛЯ РЕЗКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

С целью повышения износостойкости сложнопрофильных ножей для резки сахарной свеклы применен новый метод магнитно-импульсной обработки. Проведены их успешные 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.

**Ключевые слова:** магнитно-импульсная обработка; образцы ножей; микроструктура; микротвердость; режимы упрочнения.

Рис. 7. Библиогр.: 6 назв.

**A. I. Horchanin, A. M. Miliukova**

Physical-and-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, 10 Kuprevicha Str., 220004 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (17) 369 85 52, annart@mail.ru

## STUDY OF KNIVES FOR CUTTING SUGAR BEET, HARDENED BY MAGNETIC-PULSE TREATMENT

In order to increase the wear resistance of complex profile knives for cutting sugar beet, a new method of magnetic-pulse treatment is applied. Their successful tests were carried out in production conditions at the Open joint stock company "Skidelsky sugar factory". Metallographic and durometric studies of knife specimens after combined magnetic-pulse processing and tests showed that this method allowed to increase 1.8 times the period of durability of the surface layer by improving its microstructure.

**Keywords:** magnetic-pulse processing; samples of knives; microstructure; microhardness; modes of hardening. Fig. 7. Ref.: 6 titles.

**Введение.** В последние годы представители различных отраслей хозяйствования, как отечественных, так и зарубежных, проявляют большой интерес к новому методу магнитно-импульсной упрочняющей обработки металлических изделий, который успешно развивается в Физико-техническом институте Национальной академии наук Беларуси и учреждении образования «Барановичский государственный университет».

Исследования в области упрочнения стального режущего инструмента по новой технологии магнитно-импульсной обработки (далее — МИО) [1—3] показали, что новая технология обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик ножей из инструментальных сталей до 3 раз для различных отраслей (деревянообрабатывающей, пищевой, мусороперерабатывающей и др.) [3].

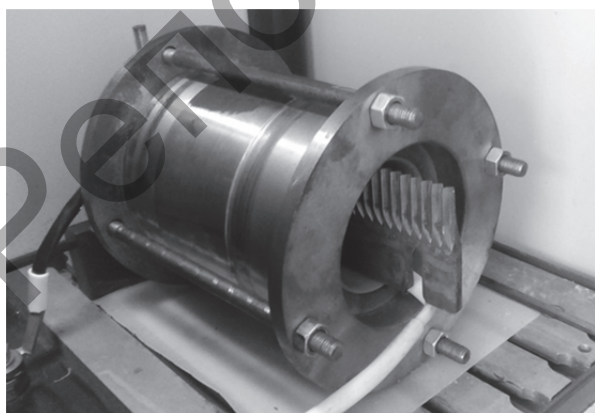
В лаборатории объемных гетерогенных систем Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси применили технологию упрочнения МИО с целью повышения износостойкости сложнопрофильных ножей для резки сахарной свеклы. Ножи имеют сложную конструкцию с зигзагообразной режущей кромкой. Их изготавливают путем фрезерования или штамповки заготовок из углеродистых и инструментальных сталей.

На качество свекольной стружки в основном влияет острота режущей кромки ножей, характеризующая радиусом их округления. С увеличением радиуса округления режущих кромок возрастают отрицательные значения переднего и заднего углов, увеличивается сила резания, особенно радиальная ее составляющая, и ухудшается качество стружки, что снижает количество получаемого из нее сахара. В процессе работы затупленные ножи регулярно (1 раз в смену) меняются на переточенные или новые. Некоторые ножи восстанавливаются до 5 раз на правильных и заточных станках, что продлевает их временной ресурс эксплуатации [4].

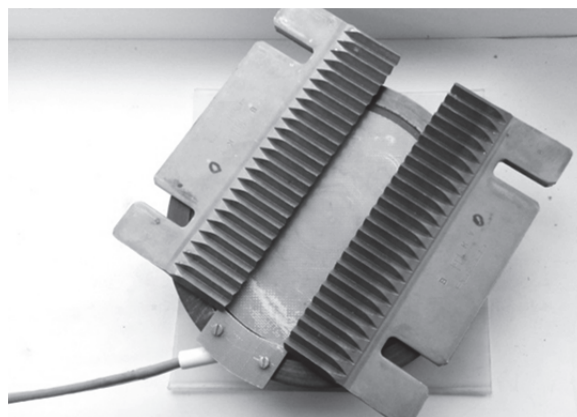
**Основная часть. Методика исследования.** Исследования процесса МИО ножей проводили в несколько этапов.

*Проведение МИО ножей по оптимальному режиму.* Для проведения запланированных исследований процесса МИО опытной партии свеклорезных ножей фирмы Putsch (Германия), изготовленных из аналога стали 38ХГНМ, разработана, изготовлена и испытана новая технологическая оснастка. Разработана методика № ФТИ 0.360 проведения научно-исследовательских работ по разработке оптимальных режимов упрочнения рубильных свеклорезных ножей новым методом магнитно-импульсного воздействия. Проведена МИО с целью определения оптимального режима упрочнения опытной партии ножей (128 шт.) на лабораторной установке МИУ-3 в цилиндрическом (рисунок 1, а) и на плоском индукторах (см. рисунок 1, б). Обработку ножей провели по двум режимам, отличающимся применяемым индуктором (цилиндрический, плоский) с различной частотой, энергией воздействия магнитного поля и количеством импульсов. Режим 1 — это МИО в цилиндрическом индукторе, режим 2 — комплексная МИО ножей последовательно в цилиндрическом и на плоском индукторах. Такая комплексная МИО применена для упрочнения не только края режущей кромки лезвий ножа, но и граней, на которых формируются эти лезвия.

*Испытания в условиях производства.* Ножи после упрочняющей обработки передали в ОАО «Скидельский сахарный комбинат», где они были установлены в свеклорезную машину марки Putsch (Германия) в цехе резки свеклы с целью проведения испытаний. Испытания ножей в производственных условиях проведены на операции резки сахарной свеклы. Опытные упрочненные ножи устанавливались в едином комплекте в соответствии с техническими характеристиками оборудования. В соответствии с техническим регламентом технологического процесса проводится постоянный контроль качества свекольной стружки. При достижении предельно допустимых параметров свекольной стружки ножи подлежат замене.



а)



б)

а — в цилиндрическом индукторе; б — на плоском индукторе

**Рисунок 1. — Обработка ножей**

*Лабораторные исследования.* Ножи, прошедшие испытания на производстве, подвергнуты лабораторным исследованиям. 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, подключенного к компьютеру, для получения высококачественных цифровых фотографий микроструктур шлифов образцов.

Приготовление шлифов и металлографические исследования микроструктуры, а также дюрOMETрический анализ ножей производились по известным методикам [5]. В качестве химического травителя использовали состав так называемого нитала — 3%-й раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

*Результаты исследований, их обсуждение.* Известно, что прочностные свойства стальных изделий не зависят линейно от твердости и во многом определяются микроструктурой стали.

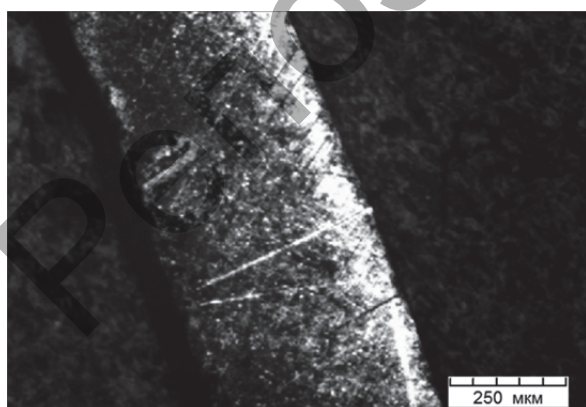
Исследование микроструктуры шлифов режущих кромок сложного профиля ножей, изготовленных после проведения испытаний после комбинированной МИО, позволило выявить однородную и достаточно мелкозернистую структуру троостосорбита в поверхностном слое глубиной 40...60 мкм (рисунок 2).

Как видно (см. рисунок 2), образовалась градиентная структура с изменением лишь рабочих режущих кромок, а внутренняя сердцевина ножа сохранила свои свойства с мелкозернистой, однородной структурой мартенсита. Такая структура обеспечивает одновременно высокую твердость и пластичность, необходимые для ножей, работающих в условиях циклических ударных нагрузок.

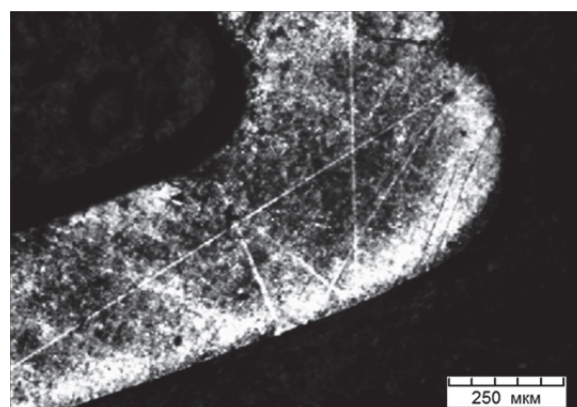
Рассмотрим микроструктуры режущих кромок ножей для резки свеклы после проведенных испытаний (рисунок 3).

Измененный слой (см. рисунок 3) подвергся износу в процессе испытаний в малой степени, что свидетельствует о повышении износостойкости режущей кромки, которую обеспечила МИО.

Проведено измерение твердости ножа в разрезе, результаты представлены графически (рисунок 4). Поскольку твердость материала ножа на державке составляет 20 HRC, а на лезвии — 37...40 HRC, то это значит, что нож при изготовлении прошел индукционную закалку только в области режущей кромки лезвия. В зоне конструкционного перехода от державки к сложному профилю зигзагообразного режущего лезвия наблюдается резкое увеличение твердости.



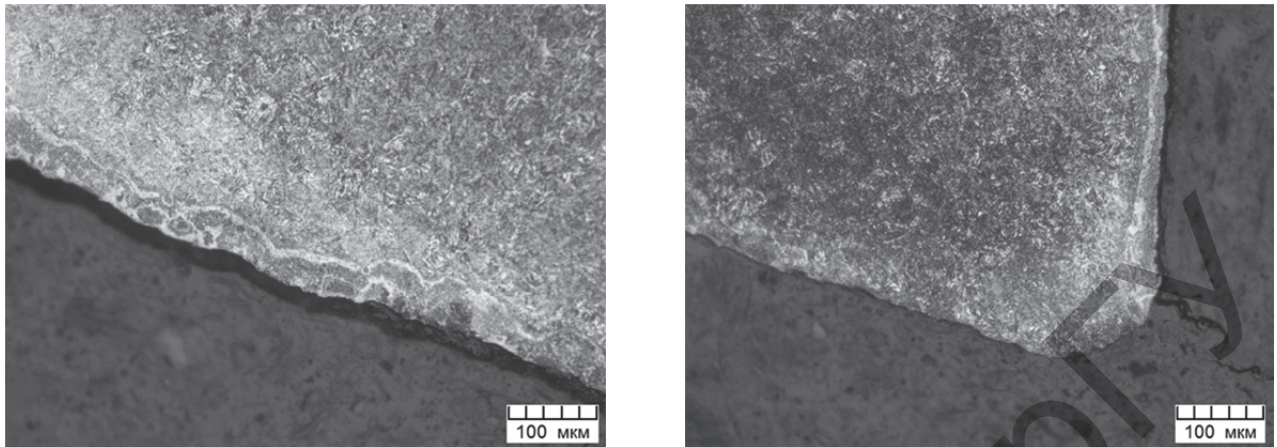
а)



б)

а — грань режущей кромки ножа; б — угол режущей кромки ножа

**Рисунок 2.** — Микроструктура ножа для резки свеклы после МИО до испытаний



а)

б)

а — грань режущей кромки ножа; б — угол режущей кромки ножа

Рисунок 3. — Микроструктуры образцов после испытаний ножей

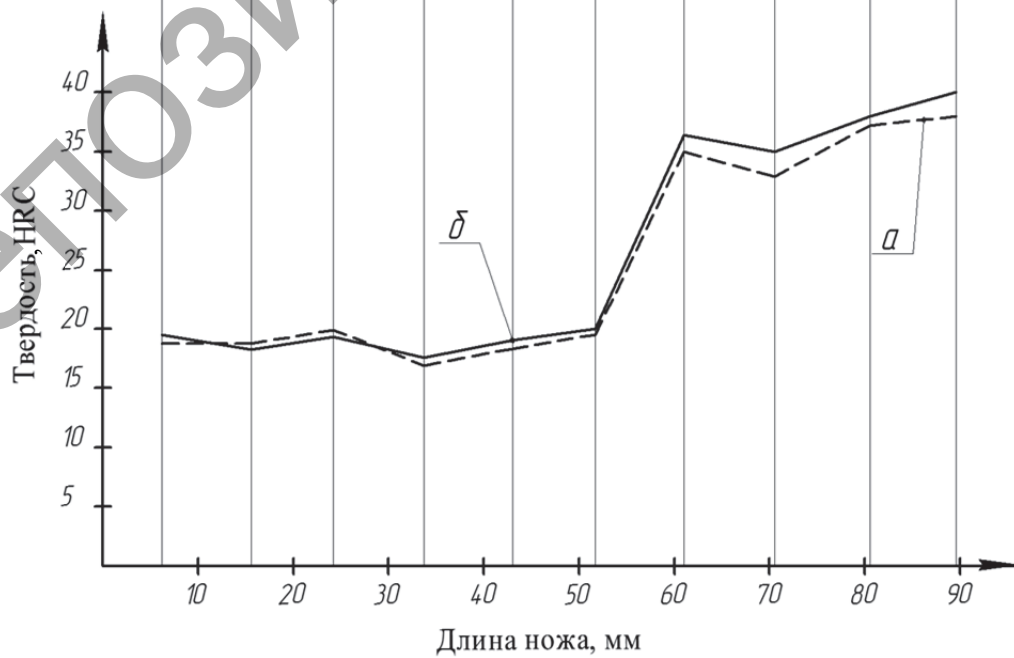
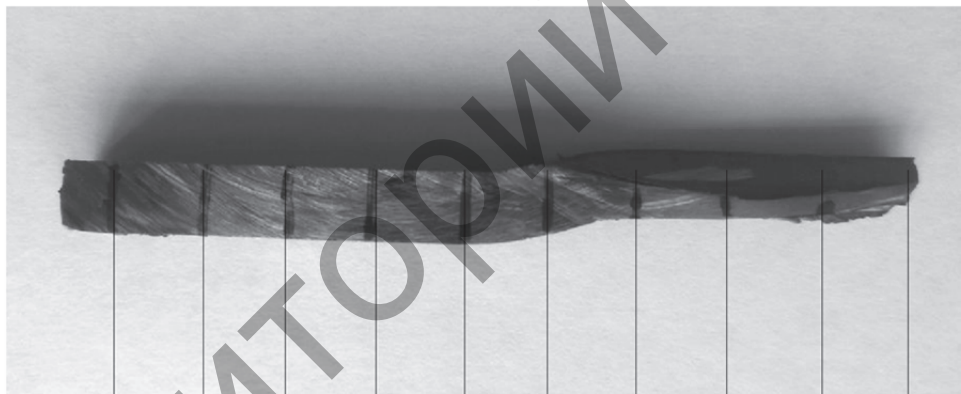
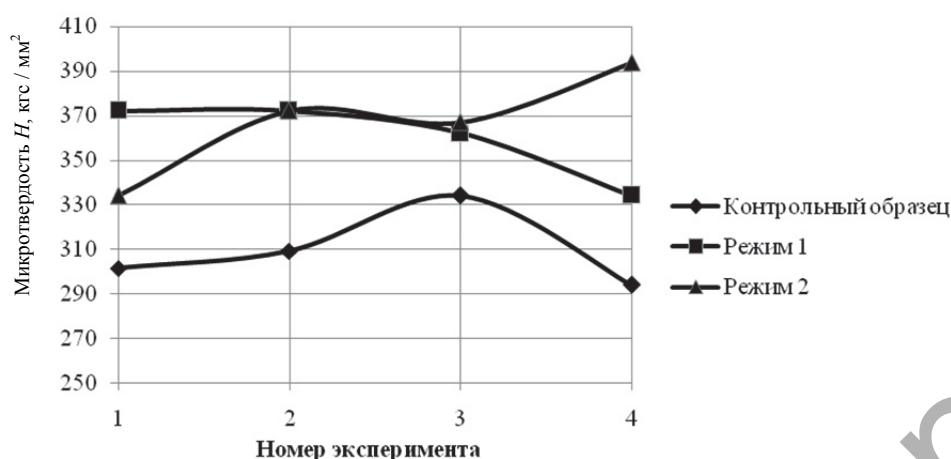


Рисунок 4. — Изменение твердости ножа до (а) и после МИО (б)



**Рисунок 5. — Изменение микротвердости образцов ножей (контрольный образец до проведения МИО, режим 1 — МИО в цилиндрическом индукторе, режим 2 — комбинированная МИО)**

Результаты проведенных исследований микротвердости поверхности образцов ножей, обработанных при различных режимах МИО (режим 1 — МИО в цилиндрическом индукторе, режим 2 — комбинированная МИО) показаны графически (рисунок 5).

Заметно некоторое увеличение микротвердости для различных режимов МИО в сравнении с контрольным необработанным образцом, причем лучшие результаты имеет комбинированная МИО с последовательным использованием двух индукторов.

В опытной партии упрочненных ножей после испытаний визуально выявлено снижение количества дефектов режущих кромок (вырывов, поломок), что позволило увеличить период стойкости в 1,8 раза по сравнению с неупрочненными ножами (акт испытаний на ОАО «Скидельский сахарный комбинат» от 20.12.2016). Таким образом, результаты испытаний свеклорезных ножей показали эффективность разработанной упрочняющей технологии МИО и возможность значительно увеличить их работоспособность.

**Заключение.** Методом комбинированной магнитно-импульсной обработки с оптимальным режимом была упрочнена опытная партия стальных свеклорезных ножей [6] с режущей кромкой сложного зигзагообразного профиля без изменения их геометрических размеров и качества поверхности.

Магнитно-импульсная упрочняющая обработка сложнопрофильных ножей имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими известными методами упрочнения: простота процесса, отсутствие необходимости в упрочняющих материалах, в очистке поверхности. Процесс высокотехнологичен, экономичен, экологичен.

Изучено изменение микроструктуры ножей после МИО, заключающееся в формировании поверхностного слоя глубиной 40...60 мкм с мелкозернистой и однородной трооститно-сорбитной структурой, при этом происходит незначительное повышение микротвердости поверхности.

В результате испытаний в производственных условиях упрочненных МИО ножей для резки свеклы на свеклорезной машине Putsch (Германия) получены показатели увеличения стойкости в 1,8 раза, что позволяет рекомендовать применение упрочняющей МИО с целью повышения стойкости ножей на технологическом участке восстановления на предприятиях сахарной отрасли.

## Список цитируемых источников

1. *Алифанов, А. В.* Технологии изготовления и упрочнения высоконагруженных деталей машиностроения / А. В. Алифанов, А. М. Милюкова, В. А. Томило. — Минск : Беларус. навука, 2014. — 321 с.
2. *Алифанов, А. В.* Магнитострикционный механизм образования мелкодисперсной структуры в стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии / А. В. Алифанов // Вес. Нац. акад. навук. Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. — 2016. — № 4. — С. 31 — 36.
3. *Милюкова, А. М.* Магнитно-импульсная обработка поверхности металлических изделий / А. М. Милюкова, А. И. Горчанин // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки : материалы 32-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 5 апр. 2017 г. — Минск : БНТУ, 2017. — С. 163—165.
4. 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 сент. 2016 г. : в 3 кн. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2016. — Кн. 2. — С. 4—10.
5. *Баранова, Л. В.* Металлографическое травление металлов и сплавов : справ. изд. / Л. В. Баранова, Л. М. Демина. — М. : Металлургия, 1986. — 256 с.
6. Стандарт СЭВ 4399-83. Ножи свеклорезные. Основные размеры, технические требования. — Введ. 01.12.1983. — Дрезден : Изд-во стандартов, 1983. — 5 с.

Поступила в редакцию 29.05.2017