

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.

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 ¹/₈. 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

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

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

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

УДК 621.98.044.7

А. М. Милюкова, А. И. Горчанин, Н. В. Бурносов, А. И. МихлюкГосударственное 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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДИСКОВ ХЛОПКООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Приведены конструктивные и эксплуатационные характеристики дисков хлопкоочистительных машин. С целью упрочнения зубьев дисков с сохранением их геометрических и линейных размеров использован новый метод магнитно-импульсной обработки. Разработана методика проведения исследовательских работ на экспериментальных образцах дисков. Определен химический состав материала дисков, проведены металлографические и дюрOMETрические исследования образцов до и после магнитно-импульсной обработки по различным режимам. Определен рациональный режим упрочнения зубьев дисков хлопкоочистительных машин методом магнитно-импульсной обработки.

Ключевые слова: хлопкоочистительная машина; стальные диски; магнитно-импульсная обработка; образцы; микроструктура; микротвердость; режим упрочнения.

Рис. 9. Библиогр.: 6 назв.

A. M. Miliukova, A. I. Horchanin, N. V. Burnosov, A. I. MihliukPhysical-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

DETERMINATION OF THE REGIME OF MAGNETIC-PULSE HARDENING OF COTTON-CLEANING MACHINES DISCS

The structural and operational characteristics of cotton-cleaning machine disks are presented. To harden the disks teeth with preservation of their geometric and linear dimensions, a new method of magnetic-pulse processing was used.

The methodology to do a research on experimental samples of disks was developed. The chemical composition of the discs material was determined, metallographic and durometric studies of the samples before and after the magnetic-pulse treatment in various regimes were carried out. A rational regime of hardening of the teeth of cotton-cleaning machine discs was determined by the method of magnetic-pulse processing.

Keywords: cotton-cleaning machine; steel disks; magnetic-pulse processing; samples; microstructure; microhardness; hardening regime.

Fig. 9. Ref.: 6 titles.

Введение. При определенных режимах воздействия импульсного магнитного поля на различные металлы (стали, цветные сплавы) под влиянием комплекса возникающих эффектов (деформационного, термического, магнитострикционного) 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 [1—4]. К одному из основных достоинств новой упрочняющей технологии магнитно-импульсной обработки (далее — МИО), разработанной в Физико-техническом институте Национальной академии наук Беларуси (ФТИ НАН Беларуси), относится то, что, по сравнению с известными методами упрочнения, геометрические и линейные размеры

детали не изменяются после обработки, а значит, не требуется дополнительных технологических операций (термообработка, финишные операции и др.). Особенно высока эффективность использования данного метода для готовых деталей, к которым трудно или невозможно применить другие известные методы упрочнения, например диски малой толщины.

Основная часть. В хлопкоочистительных машинах в большом количестве используются тонкие зубчатые диски, ежегодная мировая потребность которых составляет десятки миллионов штук. Производство таких дисковых пил организовано в США, Германии, России, Китае и других странах, при этом можно отметить, что конструкции таких пил практически идентичны.

Рассмотрим принцип работы хлопкоочистительной машины (рисунок 1).

Хлопковая масса поступает через загрузочное окно 1, и далее операция очистки осуществляется хлопкоочистительными дисками 2, щетки 3 отделяют хлопковую массу, которая подается в агрегат тонкой очистки 5, а отходы и семена хлопка поступают в бункер 4. В агрегате тонкой очистки волокна формируются в виде тонких лент, которые используют для производства хлопчатобумажных тканей.

Общий вид дисков хлопкоочистительной машины показан на рисунке 2. Параметры наиболее востребованных для производства дисковых пил (MILU DEER): материал изготовления — аналог стали 65Г; диаметр — 305 мм; количество зубьев — 264...282; посадочный диаметр — 100 мм; толщина — 0,9 мм; твердость HRC — 39...45; плоскостность — 0,01 мм.

Вал с набором дисков хлопкоочистительной машины представлен на рисунке 3. Смена инструмента производится путем замены комплектного вала в сборе. Количество и типоразмеры дисков зависят от конструкции машин и их производительности.

Диски изготавливаются штамповкой с одновременным формированием зубьев определенной формы (рисунок 4 а, б) [5].

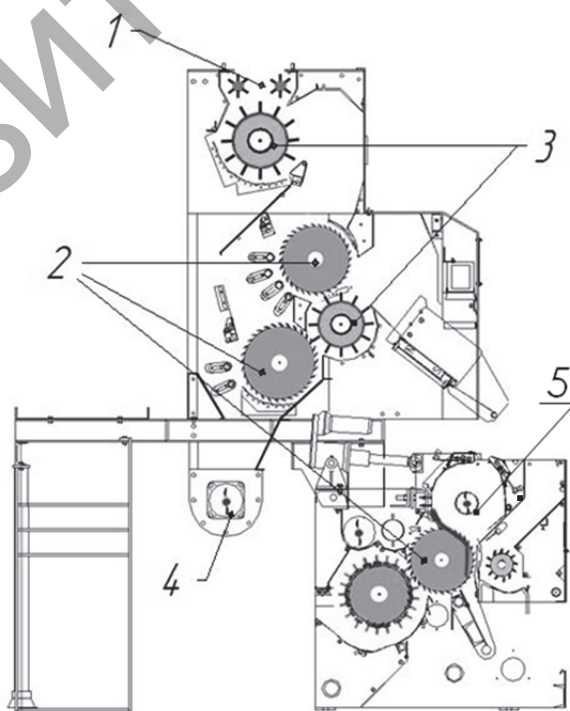


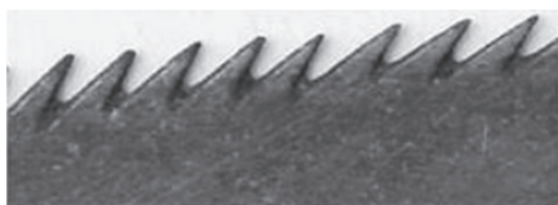
Рисунок 1. — Схема принципиальная хлопкоочистительной машины



Рисунок 2. — Общий вид дисков хлопкоочистительных машин



Рисунок 3. — Вал хлопкоочистительной машины с набором зубчатых дисков



а)



б)

Рисунок 4. — Различная форма зубьев дисков хлопкоочистительной машины

Критерием потери работоспособности дисков является затупление зубьев, вызывающее снижение качества хлопкового сырья. Для увеличения временного ресурса работы дисков в основном используется термообработка. Однако из-за температурного нагрева возникает коробление тонких дисков в форме «тарельчатости», требующее дополнительную рихтовку и правку, которые после термообработки весьма затруднительны, что приводит к значительному браку [6].

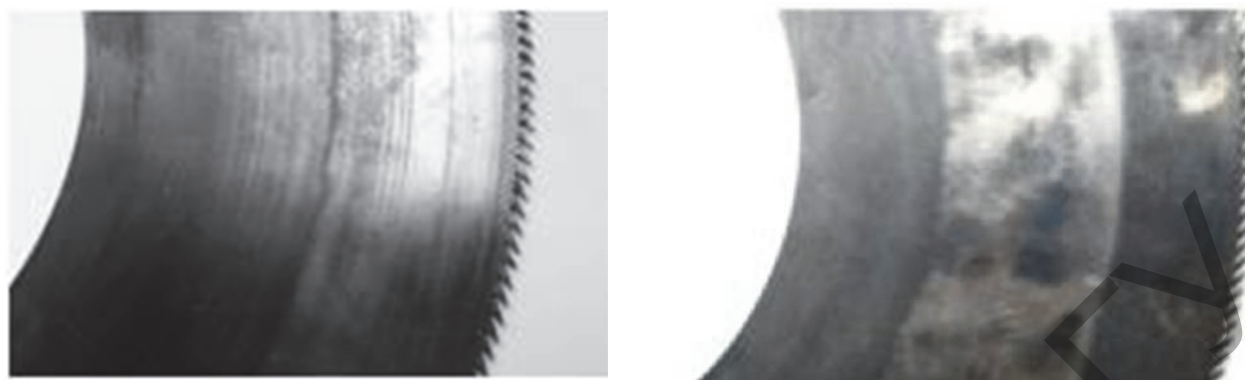
Республика Беларусь, будучи страной, входящей в ЕАЭС, предлагает к использованию новейшие технологии в области машиностроения для различных отраслей промышленности. Лабораторией объемных гетерогенных систем Физико-технического института по договору с Синцзянской торговой компанией (Китай) проведены исследования возможности использования магнитно-импульсной обработки для упрочнения зубьев дисков хлопкоочистительных машин.

Методики исследования. При выполнении работ применяли следующие технические средства: магнитно-импульсная установка (МИУ-3) для осуществления магнитно-импульсного воздействия на детали; 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, дюрOMETрические и металлографические исследования микроструктуры ножей производились по известным стандартным методикам.

Для проведения исследований влияния режимов упрочнения методом МИО использованы образцы стальных зубчатых дисков № 1 (китайский) и № 2 (американский) (рисунок 5).

По методике, разработанной в лаборатории объемных гетерогенных систем ФТИ НАН Беларуси, необходимо провести следующие работы: 1) определить химический состав



а)

б)

а — образец 1 (китайский); б — образец 2 (американский)

Рисунок 5. — Образцы зубчатых дисков для обработки хлопка

стали, из которой изготовлены образцы, методом спектрального анализа; 2) изготовить технологическую оснастку для проведения МИО в соответствии с габаритными размерами и конструкцией образца; 3) провести МИО образцов, вырезанных из зубчатых дисков; 4) провести исследования микротвердости и микроструктуры обработанных МИО образцов; 5) после анализа результатов исследований микротвердости и микроструктуры образцов определить рекомендуемый режим МИО.

Оба образца дисков в различных частях имеют исходную твердость HRC 43...45.

Из каждого образца вырезали по 8 частей размером 10 × 13 мм для изготовления шлифов, проведения экспериментов по упрочнению импульсным магнитным полем, осуществления металлографических и дюрOMETрических исследований.

Результаты исследований, их обсуждение. Методом спектрального анализа проведен анализ химического состава материала образцов дисков:

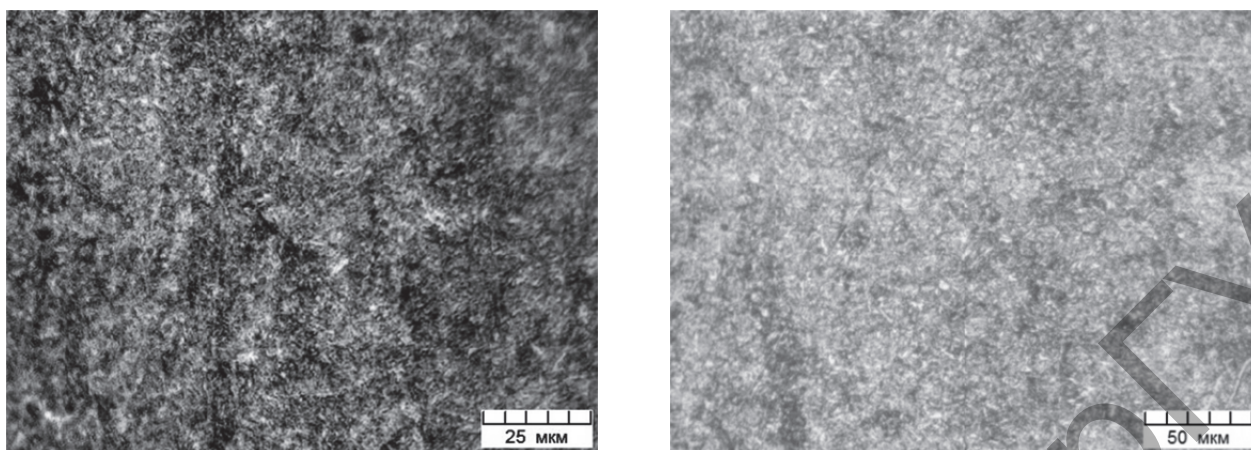
Номер образца	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
1	0,64	0,25	1,09	0,030	0,001	0,06	0,03	0,01
2	0,63	0,33	1,08	0,023	0,001	0,05	0,03	0,01

Анализ показал соответствие химического состава материала исследуемых образцов российской марке стали 65Г (ГОСТ 14959).

Проведено металлографическое исследование исходного материала образцов (рисунок 6). Структура материала обоих образцов представляет собой мелкозернистый отпущенный мартенсит по всему объему.

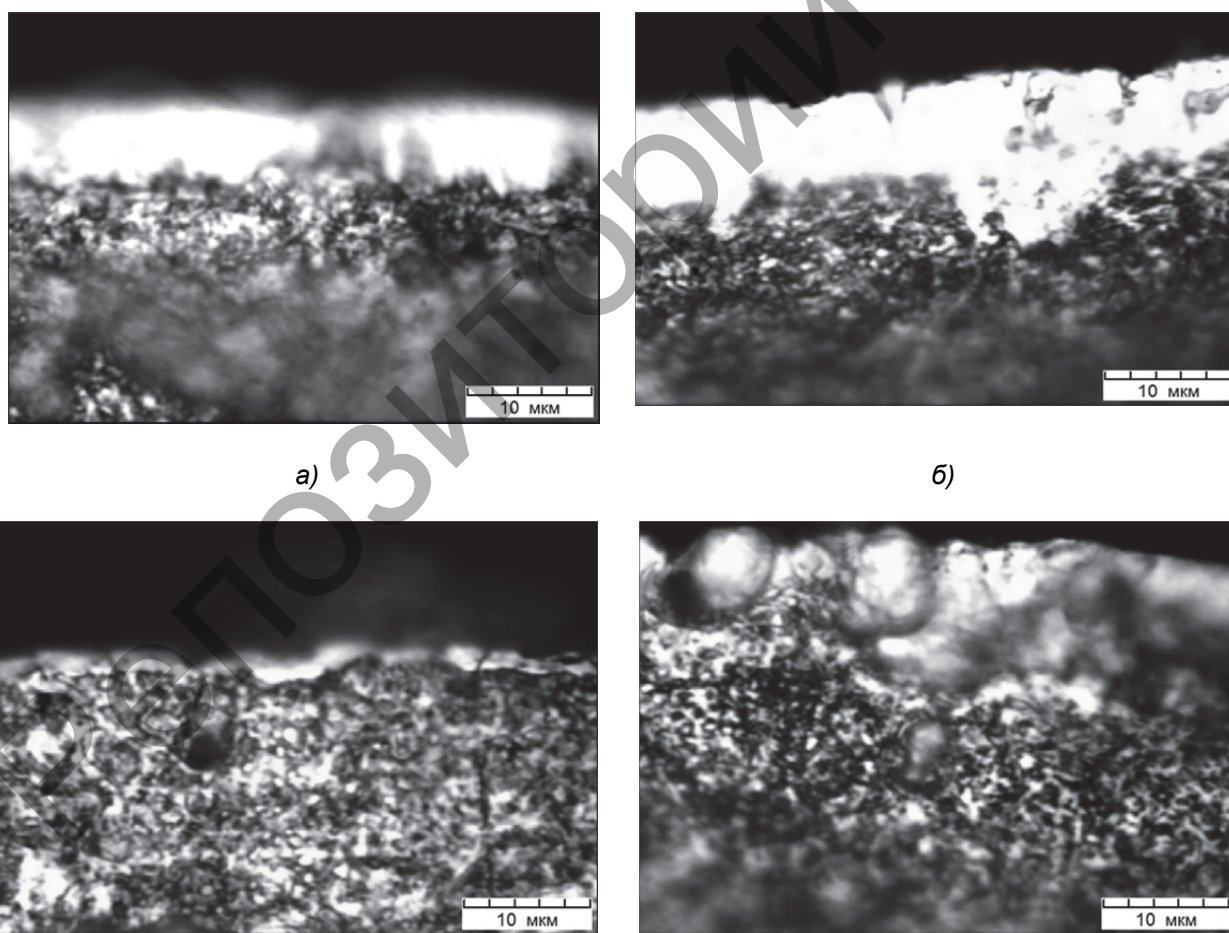
Образцы дисков обработали на магнитно-импульсной установке в ФТИ НАН Беларуси с использованием разработанной специальной технологической оснастки на плоском индукторе при шести различных режимах магнитно-импульсного воздействия (режимы изменяли в порядке увеличения энергии воздействия).

По результатам металлографических исследований (рисунок 7) видно, что при различных режимах воздействия происходят изменения поверхностного слоя в различной степени.



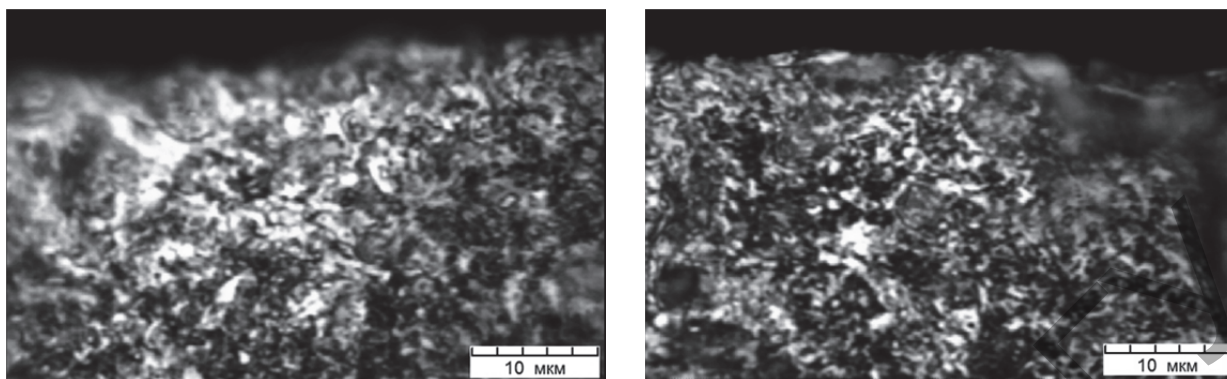
а) б)
а — образец 1 (китайский); б — образец 2 (американский)

Рисунок 6. — Микроструктура стали образцов



а — режим № 1; б — режим № 2; в — режим № 3; г — режим № 4; д — режим № 5; е — режим № 6

Рисунок 7. — Микроструктура стали образцов после магнитно-импульсного воздействия при различных режимах



д)

е)

Рисунок 7. — Окончание

На фотографиях видно, что при режимах МИО №№ 1—2 на поверхности образуется упрочненный слой глубиной 8...20 мкм светлого цвета, который не поддается травлению, видимо, из-за повышенной плотности. При режимах МИО №№ 3—6 изменения поверхностного слоя незначительные: сохранилась структура мелкозернистого отпущенного мартенсита с выделениями дисперсных карбидов.

Рассмотрим результаты дюрометрического анализа поверхности обоих образцов. Из графика (рисунок 8) видно, что для аналога стали 65Г, из которой изготовлены образцы дисков, при МИО по режиму № 1 у образца 2 происходит увеличение микротвердости, а у образца 1 — уменьшение, при МИО по режимам № 2 и 3 наблюдается небольшое увеличение микротвердости поверхности для обоих образцов, при режиме МИО № 4 у образца 2 происходит увеличение микротвердости, а у образца 1 — уменьшение, при режиме МИО № 5 микротвердость образца 2 уменьшается, а образца 1 — не меняется, при режиме МИО № 6 микротвердость образца 2 не меняется, а образца 1 — уменьшается на 0,2.

Проведенные исследования влияния МИО на изменение плоскостности образцов (рисунок 9) показали, что применяемые режимы МИО и разработанная технологическая оснастка обеспечивает отсутствие изменений плоскостности дисков, что очень важно для сохранения работоспособности дисков хлопкоочистительных машин.

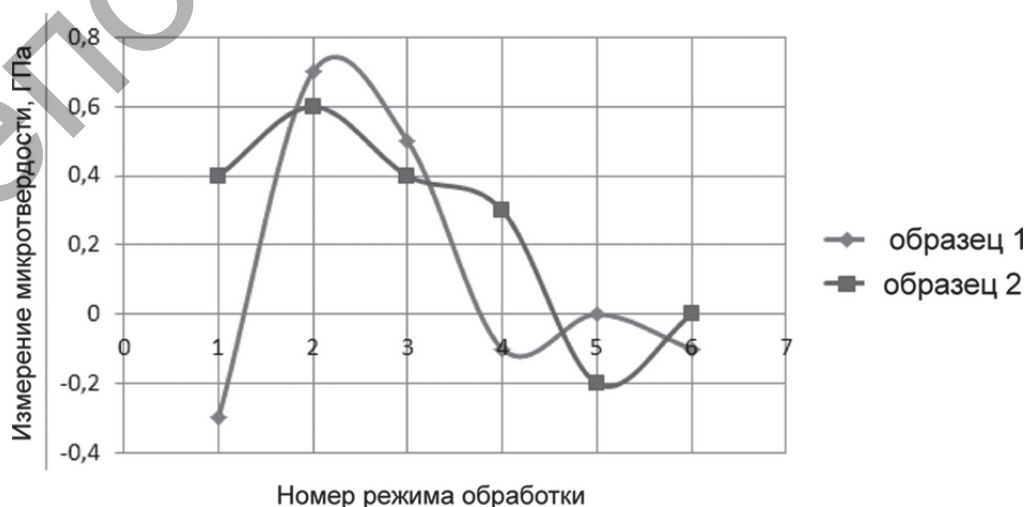
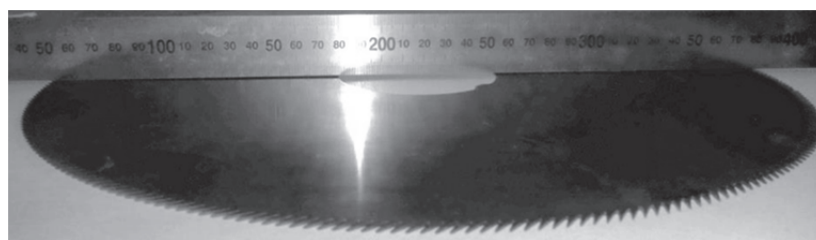


Рисунок 8. — Зависимость изменения микротвердости образцов дисков от режима МИО



а)



б)

Рисунок 9. — Образцы дисков: до МИО (а); после МИО (б)

Заключение. Результаты проведенных исследований влияния режимов магнитно-импульсной упрочняющей обработки на структуру и микротвердость образцов зубчатых дисков для обработки хлопка показали, что при воздействии импульсного магнитного поля на поверхности образуется измененный слой глубиной 8...20 мкм с мелкозернистой и однородной структурой, при этом микротвердость поверхности изменяется незначительно. Выявлено, что рациональным режимом для стали, из которой изготовлены зубчатые диски для обработки хлопка, является режим № 2, а также определено, что МИО не оказывает влияния на плоскостность дисков.

По информации представителя Синцянской торговой компании, получен положительный результат испытаний, позволяющий судить о значительном повышении износостойкости зубьев дисков хлопкоочистительных машин, подвергнутых МИО по режиму № 2.

Список цитируемых источников

1. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка металлических изделий / А. В. Алифанов [и др.] // Технологии 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 ч. — СПб. : Изд-во Политехн. ин-та, 2007. — Ч. 2. — С. 12—20.
2. Алифанов, А. В. Механизм упрочнения легированных сталей в импульсном магнитном поле / А. В. Алифанов, Ж. А. Попова, Н. М. Ционенко // Литье и металлургия. — 2012. — №4. — С. 151—155.
3. Алифанов, А. В. Магнитно-импульсная обработка стальных изделий / А. В. Алифанов, Ж. А. Попова, Н. М. Ционенко // Перспективные материалы и технологии : коллектив. моногр. Гл. 25. — Витебск : ВГТУ, 2013. — С. 520—542.
4. Поверхностная упрочняющая обработка стальных изделий импульсным электромагнитным полем / А. В. Алифанов [и др.] //14-th International Scientific Conference «TRASFER 2013» Alexander Dubcek University of Trencin, 16-17.10.2013. — Trencin, Slovakia. — P. 20—25.
5. N. Soomro Improvement of the ginning process in Pakistan with emphasis on the design of gin-saw blades / C.U Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Yıl:2011 Cilt:26-3. — P. 65—70.
6. Исламкулов, К. М. Разработка инновационной технологии упрочнения дисковых пил хлопкоочистительных машин / К. М. Исламкулов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Технические науки. — 2015. — № 6. — С. 25—30.

Поступила в редакцию 29.05.2017