

УДК 621.98.044.7

**А. М. Милюкова<sup>1</sup>, А. И. Горчанин<sup>1</sup>, А. Н. Матяс<sup>1</sup>, В. В. Малеронок<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», ул. Купревича, 10, 22014, Минск, Беларусь, +375 (17) 369 85 52, annart@mail.ru<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404, Барановичи, Беларусь

## МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СВЕРЛ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Для металлорежущего инструмента всегда была актуальна проблема повышения периода стойкости. В данной работе показана возможность упрочнения спиральных сверл из быстрорежущей стали с повышением стойкости в 1,8 раза методом магнитно-импульсной обработки по оптимальному технологическому режиму.

**Ключевые слова:** металлорежущее сверло; сталь Р6М5; температура; режущая кромка; радиус округления; упрочнение; магнитно-импульсная обработка; стойкость.

Рис. 9. Библиогр.: 8 назв.

**A. M. Miliukova<sup>1</sup>, A. I. Harchanin<sup>1</sup>, A. N. Matias<sup>1</sup>, V. V. Maleronok<sup>2</sup>**<sup>1</sup>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<sup>2</sup>Baranovich State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voykova Str., 225404, Baranovich, the Republic of Belarus

## MAGNETIC-IMPULSE HARDENING TREATMENT OF METAL-CUTTING DRILLS FROM HIGH SPEED STEEL

For metal-cutting tools, the problem of increasing their durability has always been relevant. In this work it is shown the possibility of hardening of spiral drills from high-speed steel with an increase in resistance by 1.8 times by applying the method of magnetic-pulse processing for the optimum technological regime.

**Key words:** metal-cutting drill; steel R6M5; temperature; cutting edge; rounding radius; hardening; magnetic-impulse processing; durability.

Fig. 9. Ref.: 8 titles.

**Введение.** На протяжении ряда последних лет учеными и специалистами Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» и учреждения образования «Барановичский государственный университет» успешно развивается новое для Республики Беларусь научно-техническое направление: магнитно-импульсная упрочняющая обработка поверхностей металлических изделий, где используется сложный механизм воздействия сильного импульса электромагнитного поля на их эксплуатационные характеристики [1; 2].

Разработаны и изготовлены магнитно-импульсные установки (МИУ) с различными технико-экономическими показателями, специальные цилиндрические и плоские индукторы для упрочняющей обработки цилиндрических и плоских изделий. За это время накоплен достаточно большой научный и экспериментальный материал, благодаря которому решаются проблемы повышения износостойкости разнообразных инструментов, применяемых в деревообрабатывающей, машиностроительной, пищевой отраслях промышленности как на белорусских предприятиях, так и за рубежом.

В результате воздействия электромагнитного поля на стальные изделия в специальных индукторах магнитно-импульсных установок измельчается и становится более однородной структура металла поверхностного слоя, выравниваются внутренние напряжения, частично устраняются дефекты в кристаллической решетке, что обеспечивает повышение прочности и износостойкости обработанных изделий [3, 4].

Основным преимуществом применения магнитно-импульсной обработки (МИО) по сравнению с известными методами упрочнения является то, что не меняются геометрические параметры упрочненных изделий, отсутствует коробление и другие изменения готового изделия. Процесс отличается низким энергопотреблением, высокой производительностью, экологической безопасностью.

В работах [5—7] приведены результаты исследований влияния режимов МИО различных стальных изделий (дереворежущих ножей, ножей для резки сахарной свеклы, дисков хлопкоочистительных машин и др.) на их структуру и стойкостные показатели. Во всех исследуемых случаях структура поверхностного слоя улучшалась, а стойкость изделий повышалась. В состав исследуемых сталей, из которых были изготовлены изделия, входили различные легирующие элементы: хром, никель, марганец. В металло- и деревообрабатывающей отраслях промышленности широко применяют инструмент (сверла, развертки, хвостовые фрезы, метчики и др.), изготовленный из быстрорежущих марок стали. В состав быстрорежущих сталей, например Р6М5, входят такие высокопрочные тугоплавкие элементы, как вольфрам и молибден, наличие которых может снижать эффективность упрочняющей МИО.

В данной работе исследовано влияние режимов МИО на структуру и твердость поверхностного слоя сверл быстрорежущей стали Р6М5 и на их показатели стойкости. С целью определения возможности упрочнения стального хвостового инструмента из стали Р6М5 были проведена упрочняющая МИО партии сверл при различных технологических режимах, металлографические исследования образцов стали Р6М5 до и после МИО, сравнительные лабораторные испытания упрочненных сверл.

**Оборудование и методика.** Упрочнение образцов и партии металлорежущих сверл из стали Р6М5 диаметром 10 мм осуществляли на модернизированной МИУ-2 с максимальной запасаемой энергией 15 кДж в индукторе диаметром 23 мм, который работает с частотой 8 кГц.

Из сверла шлифы приготовлены на пробоприготовительном комплексе с применением шлифовально-полировального станка DIGIPREP 251. Микроструктуру шлифов до и после МИО исследовали на световом микроскопе MCF-3 фирмы Reichert (Австрия).

Определение твердости образцов проводили по методу Роквелла (ГОСТ 9013) на стационарном полуавтоматическом приборе ТК-2М с механическим и электрическим приводом. Температуру образцов инструмента после каждой МИО и каждого сверления отверстий измеряли с помощью термпары ТХА (ГОСТ 1790). Радиусы округления режущих кромок образцов сверл проведены на металлографическом микроскопе ММР-4.

Проведение испытаний сверл осуществлялось по методике, указанной в ГОСТ 2034, раздел 3 [8]. Для испытаний сверл по вышеуказанной методике необходимо на сверлильном станке с механизированной подачей в образцах стали марки 45 (ГОСТ 1050) твердостью 187...207 НВ просверлить глухие отверстия глубиной 30 мм с применением смазочно-охлаждающей жидкости. Параметр шероховатости поверхности образца не должен быть более  $Rz$  40 мкм ( $Ra$  12...20 мкм).

В соответствии с используемой методикой испытания сверл спиральных из стали Р6М5 диаметром 10 мм должны проводиться на следующих режимах: скорость резания 22 м/мин, подача 0,17 мм/об., количество просверленных отверстий при испытаниях на работоспособность — 15.

После испытаний на режущих кромках не должно быть выкрашиваний, сколов, и сверла должны быть пригодны к дальнейшей работе.

**Основная часть. Результаты исследований.**

Проведение упрочняющей МИО образцов стали Р6М5, вырезанных из хвостовой части сверла диаметром 10 мм, осуществлялось по двум режимам:

Режим I	МИУ-2, цилиндрический индуктор Ø23 мм, 10 кДж, 7 импульсов по 1 импульсу с остыванием
Режим II	МИУ-2, цилиндрический индуктор Ø23 мм, 10 кДж, 7 импульсов сериями

Образец из стали Р6М5 на поверхности шлифа до и после МИО имеет твердость *HRC* 58 и *HRC* 60 соответственно. Микроструктура исходного образца стали Р6М5 без упрочнения МИО представлена на рисунке 1.

Проведена МИО образца стали Р6М5 по режиму I. При этом образец нагрелся до температуры 350°C. Рассмотрим микроструктуру образца стали Р6М5 после МИО по режиму I (рисунок 2).

Металлографический анализ полученных результатов показывает, что исходная структура мартенсита отпуска с большим количеством дисперсных специальных карбидов типа MeC вследствие воздействия МИО подверглась модификации поверхностного слоя на глубину 80...100 мкм.

По результатам проведенных исследований образцов, вырезанных из сверл (измерений твердости и металлографического анализа структур до и после МИО), определены рациональные технологические режимы упрочняющей МИО сверл.

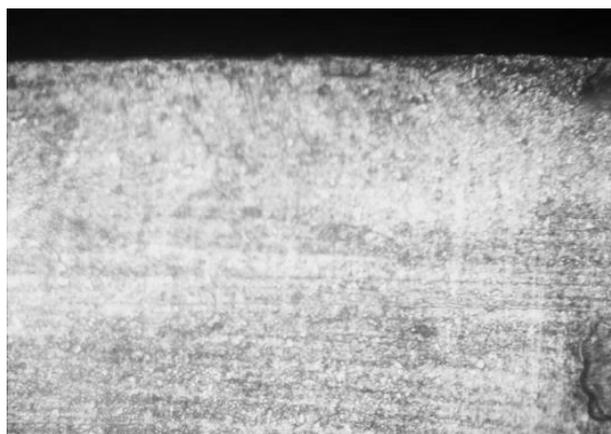


Рисунок 1. — Микроструктура исходного образца стали Р6М5 без МИО. × 400

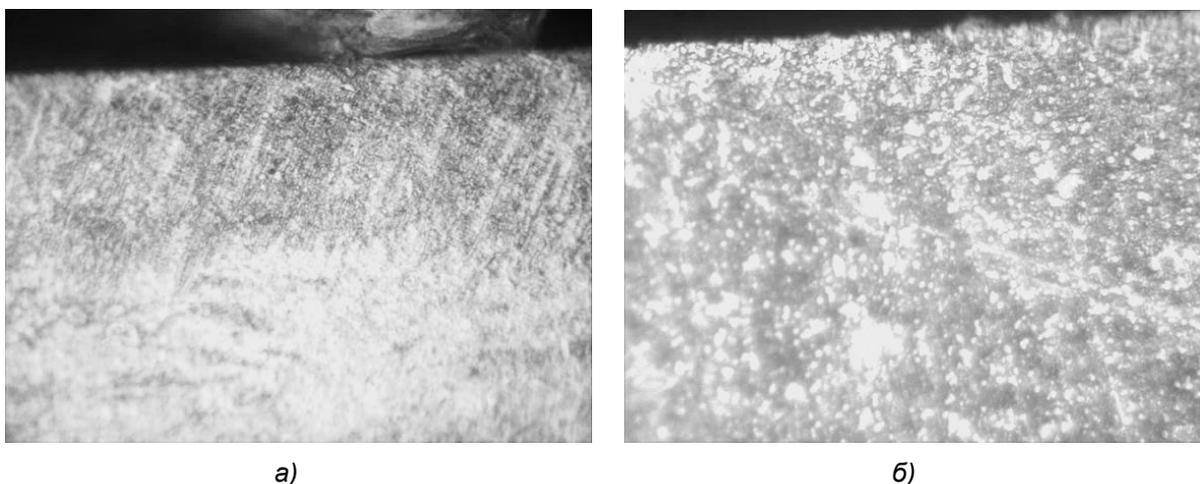


Рисунок 2. — Микроструктура образца стали Р6М5 после МИО по режиму I. × 400 (а); ×1 000 (б)

**Испытания в лабораторных условиях.** Сравнительные лабораторные испытания проводили на опытной партии сверл из одной поставки (3 шт.) диаметром 10 мм, состоящей из контрольного сверла (1 шт.) без МИО и упрочненных МИО сверл (2 шт.) по двум технологическим режимам, отличающимся количеством импульсов. До испытаний сверла из стали Р6М5 диаметром 10 мм из одной партии (упрочненные МИО и неупрочненные) визуально ничем не отличались. На рисунке 3 показаны основные кромки и поверхности, состояние которых контролировалось при испытаниях.

Испытания на работоспособность, проведенные по методике [8], на образце стали 45 толщиной 40 мм (рисунок 4) показали результаты, представленные на графике (рисунок 5).

Отверстия в образце стали 45 выполнены на глубину 30 мм всеми сверлами. Качество отверстий соответствует техническим требованиям. После окончания сверления одного отверстия проводилось измерение температуры сверла. Представлена зависимость температуры нагрева каждого сверла от количества просверленных отверстий (15 шт.), по которой можно судить об общей температуре нагрева инструмента и о качестве режущих кромок сверл (степени их затупления): чем выше температура нагрева, тем больше затупились режущие кромки сверла (см. рисунок 5).

На графике зависимости температуры нагрева сверла видно, что сверло, упрочненное МИО по режиму I, нагревалось меньше других сверл, что свидетельствует о лучших эксплуатационных характеристиках режущих кромок этого сверла.

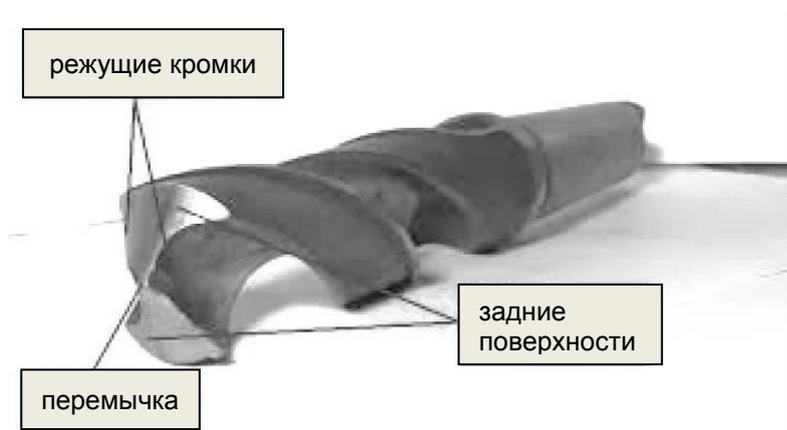


Рисунок 3. — Внешний вид режущих кромок и поверхностей металлорежущего спирального сверла

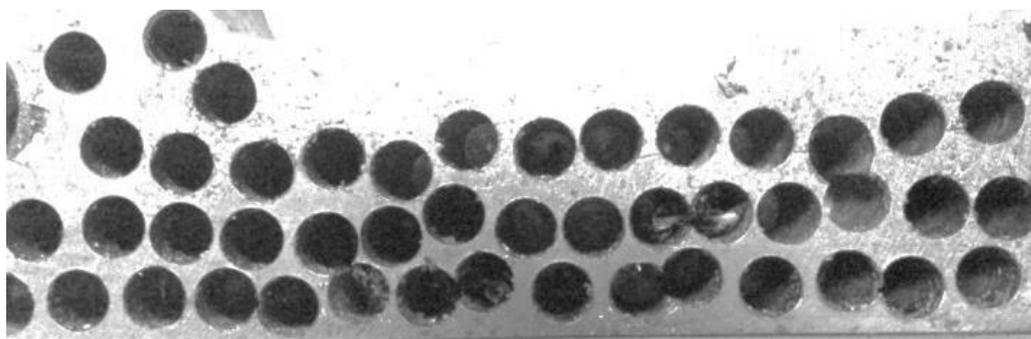


Рисунок 4. — Внешний вид образца стали 45 после испытаний партии сверл на работоспособность

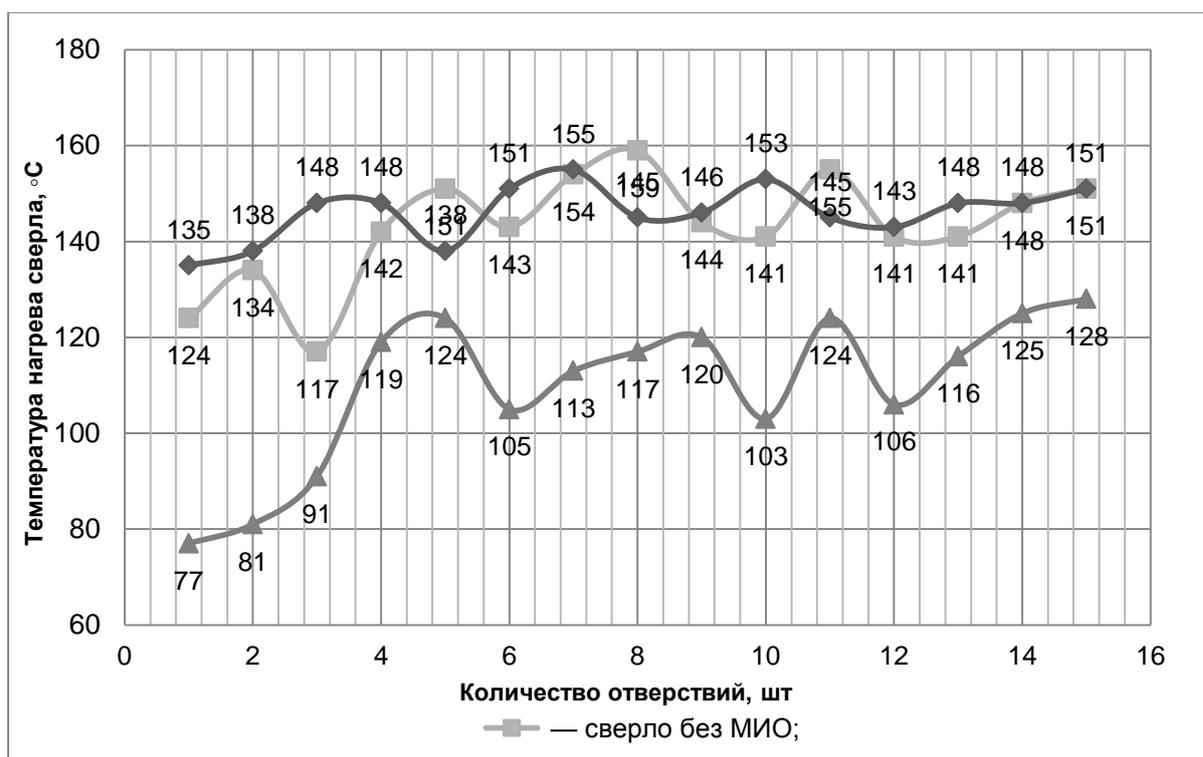
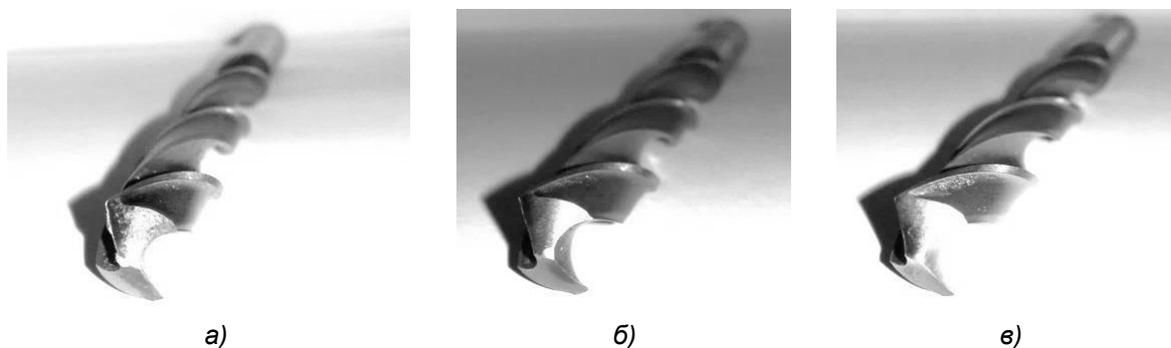


Рисунок 5. — Зависимость температуры нагрева сверла от количества просверленных отверстий



а — контрольное сверло без МИО; б — сверло после МИО по режиму I; в — сверло после МИО по режиму II

Рисунок 6. — Внешний вид режущих кромок и поверхностей партии сверл из стали P6M5 после испытаний

Визуально режущие кромки, перемычки и задние поверхности сверл (рисунок 6, б и в), упрочненных МИО, подверглись меньшему износу и перегреву по сравнению с контрольным сверлом без МИО (см. рисунок 6, а).

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы: 1) на режущих кромках партии сверл нет выкрашиваний, сколов, и сверла пригодны к дальнейшей работе; 2) режущая кромка сверла, упрочненного по режиму I, подверглась меньшему износу и имеет повышенную работоспособность.

**Исследование степени затупления режущих кромок сверл после механических испытаний.** После окончания механических испытаний проведены измерения радиуса округления режущей кромки по длине лезвия. Измерения проводились в трех точках (рисунок 7): у основания (ближе к центру сверла), на середине лезвия и у вершины с точностью  $\pm 0,5$  мкм.

Представим фотографии образцов сверл после механических испытаний (рисунок 8). Результаты измерений радиусов округления представлены на графике (рисунок 9).



Рисунок 7. — Точки проведения измерений радиуса округления

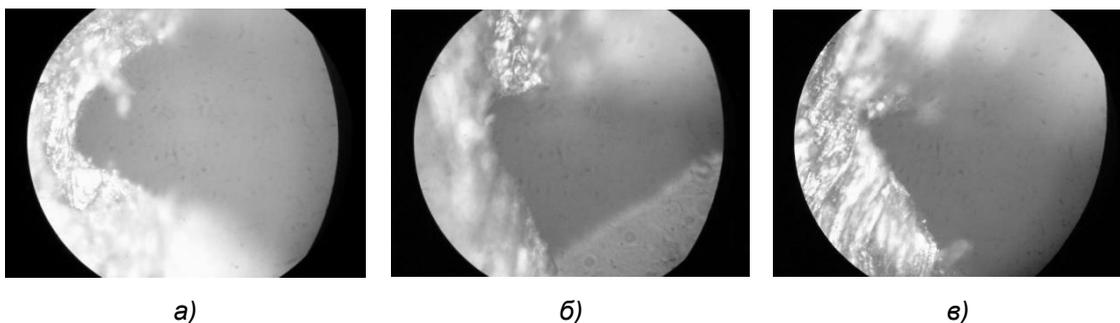


Рисунок 8. — Радиус округления образцов сверл после механических испытаний в вершине лезвия: без МИО (а), после МИО по режиму I (б), после МИО по режиму II (в)

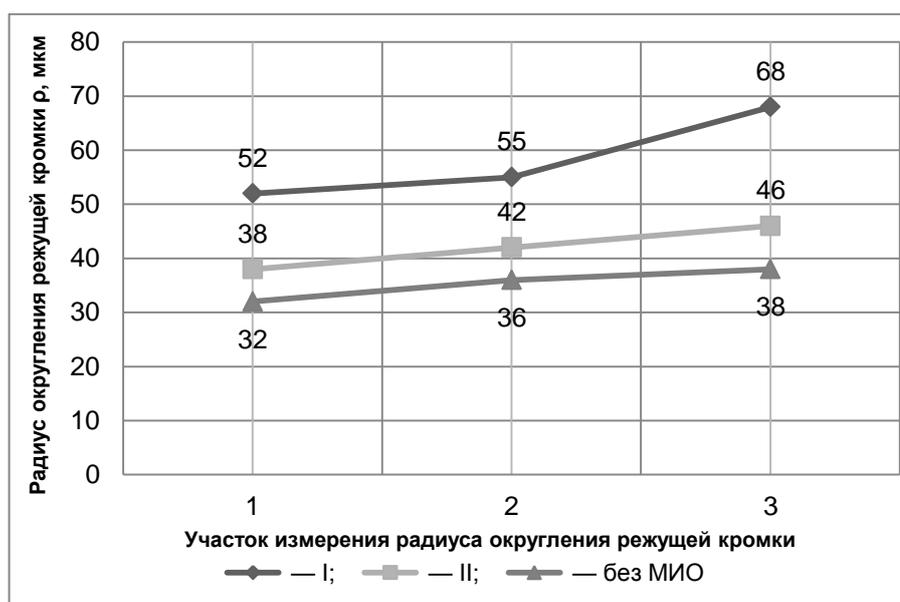


Рисунок 9. — Изменение радиуса округления режущей кромки сверл после механических испытаний

Учитывая, что степень затупления режущих кромок определяет фактическую стойкость сверла, можно считать, что стойкость сверла прямо пропорциональна радиусу округления. Из графика следует, что наилучшие показатели по стойкости имеет сверло после МИО по режиму I, с увеличением стойкости более чем в 1,8 раза. Сверло после МИО по режиму II имеет меньшее значение стойкости в сравнении со сверлом, упрочненным МИО по режиму I, однако его стойкость заметно превышает стойкость неупрочненного сверла.

Следовательно, интенсивность прироста радиуса округления (т. е. степени затупления) у сверла без МИО значительно возрастает по сравнению с упрочненными сверлами, что характеризуется более резким увеличением угла подъема кривой. Предположительно с течением времени значение показателей увеличения стойкости также будет возрастать.

**Заключение.** Показано, что для инструмента из быстрорежущей стали Р6М5, в частности металлорежущих сверл спиральных, упрочняющий эффект с увеличением периода стойкости в 1,8 раза позволяет получить МИО на установке МИУ-2 по режиму 7 импульсов с энергией 10 кДж.

#### Список цитируемых источников

1. Алифанов, А. В. Физика процесса магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий, расчет индукторов и параметров процесса / А. В. Алифанов, Д. А. Ционенко, А. М. Милокова // Перспективные материалы и технологии / под общ. ред. В. В. Клубовича. — Витебск : ВГТУ, 2017. — Гл. 2. — С. 31—52.
2. Малыгин, Б. В. Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин / Б. В. Малыгин. — М. : Машиностроение, 1998. — 130 с.
3. Исследование влияния режимов магнитно-импульсной обработки на микротвердость и микроструктуру образцов сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей / А. В. Алифанов [и др.] // Вестн. БарГУ. Сер. Технические науки. — 2016. — Вып. 4. — С. 11—21.
4. Магнитострикционный механизм образования мелкодисперсной структуры в стальных изделиях при магнитно-импульсном воздействии / А. В. Алифанов [и др.] // Весці Нац. акад. навук. Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. — 2016. — № 4. — С. 31—36.
5. Алифанов, А. В. Магнитно-импульсная обработка стальных изделий / А. В. Алифанов, Ж. А. Попова, Н. М. Ционенко // Перспективные материалы и технологии : сб. науч. тр. Гл. 25. — Витебск : ВГТУ, 2013. — С. 520—542.
6. Горчанин, А. И. Исследование ножей для резки сахарной свеклы, упрочненных магнитно-импульсной обработкой / А. И. Горчанин, А. М. Милокова // Вестн. БарГУ. Сер. Технические науки. — 2017. — Вып. 5. — С. 37—42.
7. Особенности влияния электромагнитного импульсного поля на тонколистовые стальные изделия / А. М. Милокова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 13—15 сент. 2017 г. : в 3 кн. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2017. — Кн. 1. — С. 182—189.
8. Сверла спиральные. ГОСТ 2034. Часть 1 : Сб. ГОСТов. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2003. — 20 с.

Данная работа была выполнена в рамках договора с ОАО «558 Авиационный ремонтный завод» № ОУ 314-08/16 ОТ 15.08.2016 в 2017 году.

Поступила в редакцию 11.04.2018