

Таблица 1. Толщина зубьев по хорде делительной окружности отштампованных шестерен

Температура штамповки	Номер шестерни	Толщина зубьев по хорде на высоте 2,52 мм												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
750	1	3,96	4,0	4,02	4,04	4,05	4,02	3,98	4,0	4,0	4,02	4,04	3,96	4,0
	2	4,06	4,04	4,06	3,98	3,96	4,0	4,02	4,04	4,01	4,02	4,0	3,98	3,96
	3	4,0	4,02	4,04	4,0	4,0	3,98	3,95	3,96	4,0	4,01	4,02	3,98	4,0
900	1	4,06	4,1	4,08	4,05	4,1	4,1	4,12	4,07	4,14	4,12	4,1	4,08	4,06
	2	4,08	4,06	4,03	4,00	4,04	4,02	4,05	4,06	4,02	4,08	4,06	4,04	4,0
	3	4,1	4,08	4,06	4,1	4,1	4,04	4,06	4,08	4,05	4,02	4,0	4,04	4,06
1100	1	4,04	4,08	4,1	4,1	4,1	4,12	4,1	4,08	4,08	4,08	4,06	4,04	4,04
	2	4,1	4,08	4,08	4,12	4,1	4,06	4,1	4,12	4,12	4,12	4,1	4,04	4,04
	3	4,16	4,1	4,12	4,14	4,14	4,14	4,14	4,1	4,12	4,1	4,1	4,12	4,14

тем больше, чем больше несовпадение гравюр. Для ликвидации этой погрешности необходимо добиться, по возможности, более полного совпадения гравюры матрицы-оправки и отштампованных шестерен.

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность использования разработанных экспериментальных штампов для получения высокоточных конических зубчатых колес с учетом полученных выводов и предлагаемых рекомендаций.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Короткевич, В.Г. Проектирование инструмента для пластического деформирования: учеб. пособие / В.Г. Короткевич; под ред. С.Б. Сарело. – Минск: Вышэйшая школа, 2000. – 383 с.
2. Журавлев, А.З. Основы теории штамповки в закрытых штампах / А.З. Журавлев. – Москва: Машиностроение, 1973. – 224 с.

Материал поступил в редакцию 10.11.12

## ALIFANOV A.V., KALUGIN YU.K., DEMYANCHIK A.S. Development and research of technology and equipment for stamping of high-precision conic cogwheels

The article describes several types of stamps that are recommended for the manufacture of bevel and cylindrical gears. A detailed description of the experimental die tooling for high-taperabove, including for conical matrix to squeeze through these matrices bevel gears and their calibration.

Results on the effect form blanks used as for matrices, and for the manufacture of bevel gears in them, the quality of the obtained products. The recommendations on the optimization of the entire process of manufacturing high precision bevel gears.

УДК 621.983.044

Алифанов А.В., Попова Ж.А., Демянчик А.С.

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ НОЖЕЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Одной из основных задач, стоящих перед деревообрабатывающей промышленностью, является повышение эффективности производства и качества изготавливаемой продукции. Высокопроизводительная и качественная механическая обработка древесины и древесных материалов во многом зависит от применяемого инструмента. Достижение высоких показателей возможно при соблюдении определенных условий использования дереворежущего инструмента: правильного выбора инструментального материала, конструкции, угловых параметров, рациональных режимов резания. Дереворежущие инструменты работают при весьма высоких скоростях резания (до 100 м/с), а лезвия их режущих элементов (зубьев, ножей) имеют относительно малые углы заострения (20–60 градусов) и высокую остроту (радиус округления режущих кромок находится в пределах 5–10 мкм). В связи с этими особенностями предъявляются повышенные требования к материалам, из которых изготавливается инструмент.

Материалы современных дереворежущих инструментов должны обладать следующими качествами: высокой твердостью, обеспечивающей хорошую сопротивляемость износу; необходимой пластичностью, чтобы инструменты могли противостоять ударным нагрузкам при работе; хорошей обрабатываемостью (способностью затачиваться до высокой остроты режущих кромок), что в совокупности обеспечивает высокие эксплуатационные свойства инструмента.

Подбор высокопрочной инструментальной стали всегда связы-

вают со стремлением обеспечить высокую стойкость инструмента, в частности, износостойкость. 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 обработки сильным импульсным электромагнитным полем. При таком воздействии устраняются дефекты в кристаллической решетке, выравниваются внутренние напряжения, изменяется и становится более однородной структура металла [1].

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,

Попова Жанна Александровна, преподаватель кафедры «Оборудование и автоматизация производства», аспирантка Барановичского государственного университета.

Беларусь, 225404, Брестская обл-ть, г. Барановичи, ул. Войкова, 21.

высокой производительностью, экологической чистотой.

Целью проводимой работы являлась проверка эффективности упрочняющей обработки импульсным магнитным полем закаленных стальных изделий, изготовленных из инструментальных легированных сталей, и изучение ее влияния на механические свойства и износостойкость этих изделий.

Для упрочняющей обработки применялась магнитно-импульсная установка и специальный плоский индуктор, 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 проведения эксперимента в качестве упрочняемых изделий были выбраны плоские дереворежущие ножи, широко применяемые при фрезеровании и строгании различных древесных материалов, в частности – дереворежущие ножи из инструментальной легированной стали марки 8ХФ, применяемые 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 клееной (прессованной) сосны.

На верхнюю плоскую часть индуктора помещали партию упрочняемых ножей. На рисунке 1 показаны ножи УП «Лагуна», которые через изолирующую прокладку с помощью специального приспособления прижимались к индуктору, а сам индуктор прижимался к столу магнитно-импульсной установки.



Рис. 1. Установка ножей на плоский индуктор

Задавали определенные режимы обработки (образцы подвергались обработке с различной энергией импульса – от 2,5 до 6,0 кДж и количеством импульсов от 1 до 4).

С помощью разрядника производится 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 упруго-пластическое обжатие образцов, изменяющее их структуру и прочностные свойства.

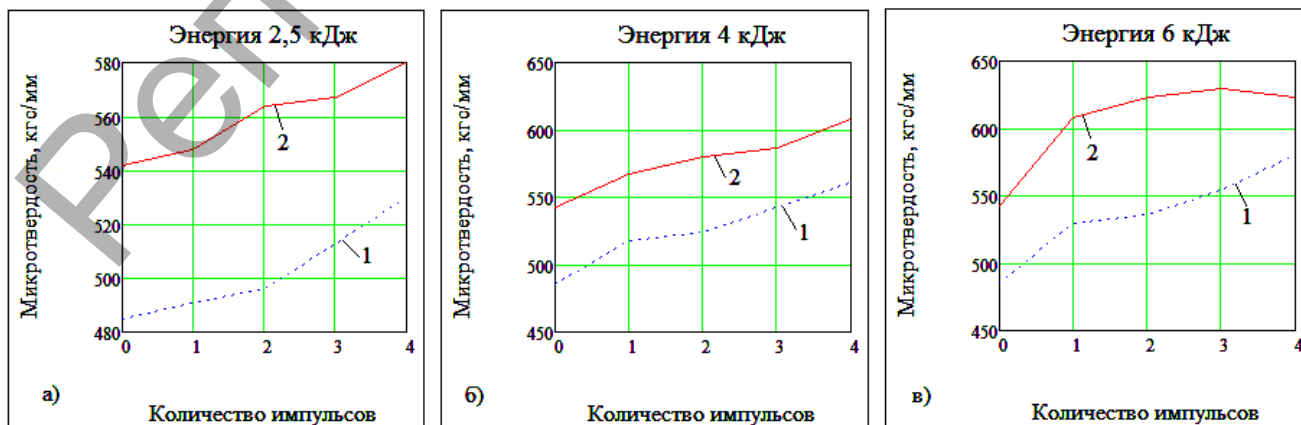
Сильное импульсное магнитное поле инициирует процессы аустенитно-мартенситного превращения, образование и дробление карбидов, измельчение зерен, что положительно сказывается на прочностных качествах стальных изделий [1].

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 (630 кгс/мм<sup>2</sup>), а для стали 8ХФ – при энергии 6 кДж и 4 импульсах (580 кгс/мм<sup>2</sup>). Среднее значение микротвердости ножей из стали 8Х6НФТ до магнитно-импульсной обработки составляло 542 кгс/мм<sup>2</sup>, а для стали 8ХФ – 485 кгс/мм<sup>2</sup>. Следовательно, микротвердость ножей, упрочненных магнитно-импульсной обработкой, увеличилась по сравнению с микротвердостью неупрочненных ножей на 16–20%.

На ОАО «Барановичдрев» ножи, изготовленные из стали 8Х6НФТ и упрочненные магнитно-импульсным воздействием, прошли опытно-промышленные испытания на четырехстороннем фрезерном станке YupaT 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 цилиндрическую фрезу устанавливался комплект из 6 ножей).

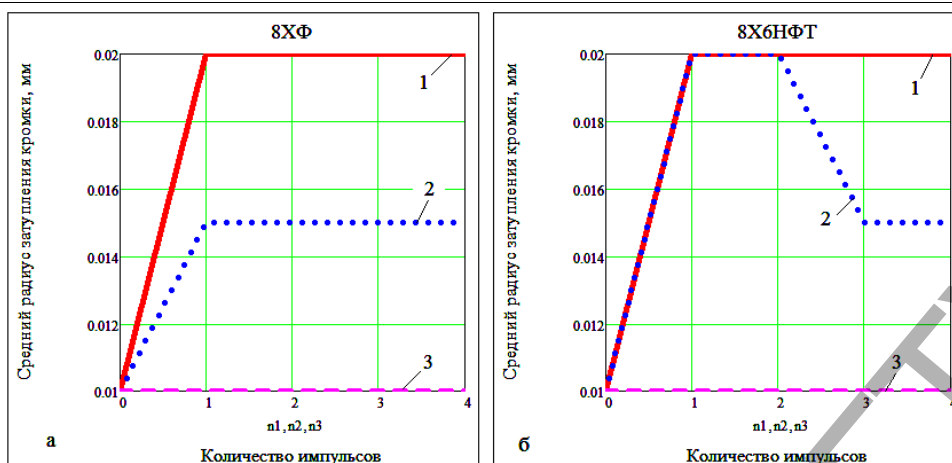
Ножи, изготовленные из стали 8ХФ и упрочненные магнитно-импульсным воздействием, прошли опытно-промышленные испытания на УП «Мебельная фабрика «Лагуна» на фрезерном деревообрабатывающем станке ФШС1А на операции фрезерования плоскостей ножек стульев из твердых древесных пород «ясень» и «дуб» (на цилиндрическую 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. Эти показатели оказались особенно важными для УП «Лагуна», поскольку ее продукция преимущественно экспортируется за границу.

На рисунке 2 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. 2, а), 4 кДж (рис. 2, б) и 6 кДж (рис. 2, в). Числу импульсов «0» соответствует микротвердость ножей до магнитно-импульсной обработки.



1 – нож из стали 8ХФ; 2 – нож из стали 8Х6НФТ; энергия в импульсе 2,5 кДж (а); энергия в импульсе 4 кДж (б); энергия в импульсе 6 кДж (в)

Рис. 2. Зависимость микротвердости упрочняемых поверхностей дереворежущих ножей от энергии и числа импульсов



1 – энергия 2,5 кДж; 2 – энергия 4 кДж; 3 – энергия 6 кДж  
**Рис. 3.** Зависимость износа режущей кромки от количества импульсов для сталей марок 8XΦ (а) и 8X6HΦT (б)

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 8XΦ во всех случаях ниже, чем из стали 8X6HΦT, что можно объяснить влиянием дополнительных легирующих элементов в металле (ванадия и титана).

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 эффективнее оперировать увеличением энергии в импульсе, чем количеством импульсов. Это подтверждается данными, представленными на рисунках 2, б и 2, в: при энергии 6 кДж и одном импульсе твердость упрочненной поверхности ножа из стали 8X6HΦT 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), то есть в сумме затраты энергии во втором случае превышают затраты энергии в первом случае в 2,5 раза.

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 3 представлены графики изменения износа режущей кромки ножей (среднее значение радиуса ее затупления), обработанных магнитно-импульсным воздействием – из стали 8XΦ (рис. 3, а) и 8X6HΦT (рис. 3, б) в зависимости от числа импульсов при значениях энергии импульса 2,5 кДж (график 1), 4 кДж (график 2) и 6 кДж (график 3).

Из рисунка 3 видно, что средний радиус кромки ножа, обработанного магнитно-импульсным полем с энергией импульса 2,5 кДж, составляет 20 мкм для сталей 8XΦ (рис. 3, а) и 8X6HΦT (рис. 3, б) при количестве импульсов от 1 до 4.

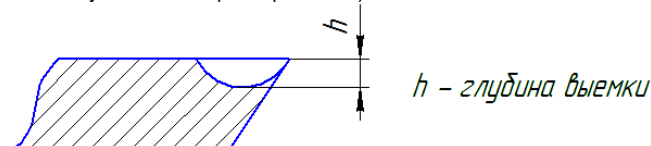
При увеличении энергии импульса до 4 кДж износ кромки ножа из стали 8XΦ увеличился до 15 мкм при количестве импульсов от 1 до 4 (рис. 3, а), а для стали 8X6HΦT – при количестве импульсов 1 и 2 средний радиус затупления режущей кромки увеличился до 20 мкм, а при количестве импульсов 3 и 4 – до 15 мкм (рис. 3, 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 8XΦ, так и для стали 8X6HΦT.

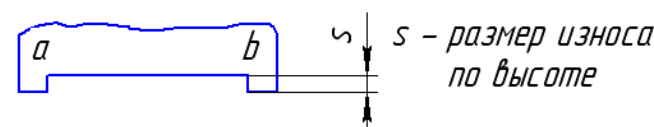
Полученные данные свидетельствуют о том, что для ножей из сталей 8XΦ и 8X6HΦT с точки зрения уменьшения износа режущей кромки наиболее оптимальной является магнитно-импульсная обработка с энергией импульса 6 кДж.

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 4 схематически показан нож с образовавшейся на нем выемкой. На профилемере ME-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. 4.** Образование выемки на поверхности ножа в процессе резания древесины

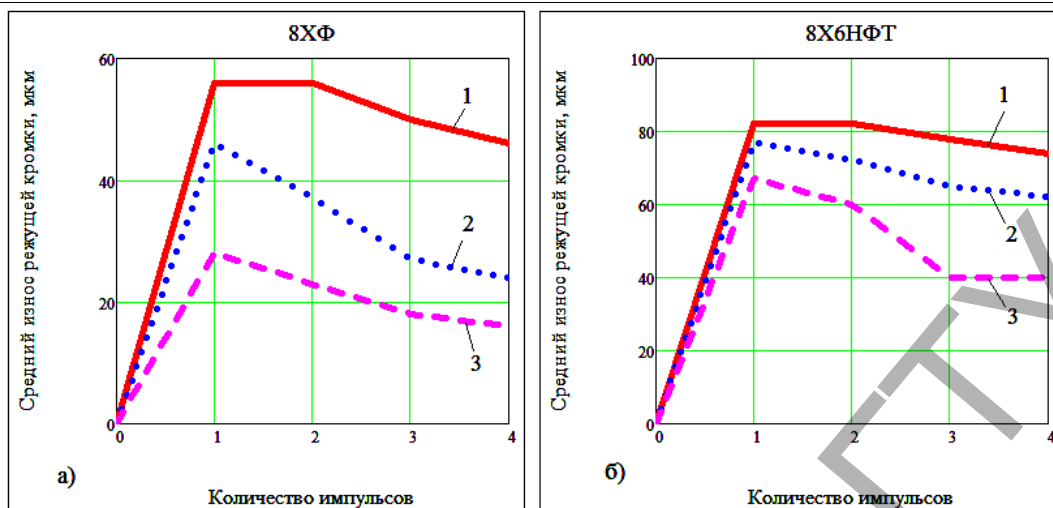
В результате измерений различных геометрических показателей износа ножей в процессе резания древесины было также установлено изнашивание режущей кромки ножа вдоль ее длины. В связи с тем, что длина дереворежущего ножа обычно превышает ширину обрабатываемого древесного материала, износ кромки лезвия вдоль его длины имеет вид, представленный на рисунке 5.



**Рис. 5.** Износ режущей кромки ножа вдоль ее длины

Исследования этого износа показали, что вид образовавшейся после изнашивания кромки  $ab$  отличается от прямолинейного, показанного на рисунке 5, и фактически представляется несколько волнистой, а иногда и косоугольной формой, что объясняется неоднородным характером обрабатываемой древесины (различия по твердости центральной и периферийной областей, отличия по влажности, по твердости обрабатываемых материалов и др.).





1 – энергия 2,5 кДж; 2 – энергия 4 кДж; 3 – энергия 6 кДж  
 Рис. 6. Зависимость износа режущей кромки от количества импульсов для сталей марок 8XΦ (а) и 8X6HΦT (б)

В данном исследовании измерялась максимальная величина  $s$  износа по длине режущей кромки каждого ножа из комплекта, устанавливаемого в цилиндрическую фрезу, а для построения соответствующих графиков бралось их среднее значение.

Для ножей, не прошедших упрочняющую магнитно-импульсную обработку, среднее значение максимального износа режущей кромки по высоте составило: для стали 8XΦ – 75 мкм, для стали 8X6HΦT – 95 мкм.

На рисунке 6 представлены графики изменения износа режущей кромки обработанных ножей магнитно-импульсным воздействием из стали 8XΦ (рис. 6, а) и 8X6HΦT (рис. 6, б) в зависимости от числа импульсов при значениях энергии импульса 2,5 кДж (график 1), 4 кДж (график 2) и 6 кДж (график 3).

Из рисунка видно, что наименьшая величина износа режущей кромки по высоте получена в случаях обработки ножей магнитно-импульсным воздействием с энергией импульса 6 кДж для каждой стали, а также с количеством импульсов – 4 для стали 8XΦ и – 3 для стали 8X6HΦT. Интерес представляет тот факт, что микротвердость ножей из стали 8XΦ в среднем составляла 585 кгс/мм<sup>2</sup>, а из стали 8X6HΦT – 640 кгс/мм<sup>2</sup>, в то же время величина износа для режущей кромки ножей из стали 8XΦ (рис. 6, а, кривая 3 – 16 мкм) значительно меньше, чем у ножей из стали 8X6HΦT (рис. 6, б, кривая 3 – 40 мкм), хотя микротвердость первой стали меньше, чем второй.

Такой парадокс можно объяснить свойствами обрабатываемой древесины: ножами из стали 8X6HΦT обрабатывалась клееная (прессованная) сосна (неоднородный материал), а ножами из стали 8XΦ – дуб и ягель (однородные материалы). Из литературы, посвященной деревообработке [2], можно сделать вывод, что обработка плиточных,

клееных материалов является более проблематичным процессом по сравнению с обработкой цельной древесины, из-за неоднородности механических свойств, наличия абразивных включений и химически активных элементов (в первую очередь – смол, клеев) и др.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают высокую эффективность и перспективность разработанного специалистами Физико-технического института НАН Беларуси и Барановичского государственного университета метода магнитно-импульсного упрочнения закаленных стальных изделий, в частности дереворежущих ножей, изготовленных из инструментальных сталей. В результате магнитно-импульсной упрочняющей обработки ножей из сталей 8XΦ и 8X6HΦT значительно повысилась их износостойкость и соответственно увеличился ресурс работы в 1,5–3,0 раза, что позволит существенно сократить потребление дорогостоящих высоколегированных инструментальных сталей на соответствующих деревообрабатывающих предприятиях.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алифанов, А.В. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка металлических изделий / Материалы 9-й Международной практ. конф. «Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки», 10-13 апреля 2007 г. // А.В. Алифанов, А.Г. Анисович, С.А. Амелянчик, Ю.И. Кривонос – СПб.: Изд-во политехн. университета: часть 1. – 2007. – В 2-х частях. – 509 с.
2. Морозов, В.Г. Дереворежущий инструмент: справочник. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 344 с.

Материал поступил в редакцию 15.04.12

ALIFANOV A.V., POPOVA Zh.A., DEMYANCHIK A.S. Increase of wear resistance of woodcutting knives by strengthening magnetic-pulse processing

The wood-cutting knives made of 8X6HΦT and 8XΦ 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. The wear resistance of hardened blades considerably exceeds durability such as knives, but is not affected by magnetic-pulse effects. As compared to analogues knives that had not been subjected to a 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.

УДК 621.833.3:681

Благодарный В.М., Дремук В.А.

### ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ С КЛАСТЕРНОЙ СМАЗКОЙ

**Введение.** В статье рассматриваются вопросы повышения работоспособности червячных передач путем применения кластерной

смазки. Особенно выгодно применение кластерной смазки в условиях динамической нагрузки, возникающей при реверсе и при пере-

Благодарный В.М., Дремчук В.А. Барановичский государственный университет. Беларусь, БарГУ, 225404, Брестская область, г. Барановичи, ул. Войкова 21.