



УДК 621.98.044.7

А.Н. Матяс, А.М. Милюкова
Государственное научное учреждение
«Физико-технический институт
Национальной академии наук Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: annart@mail.ru
Дата поступления 03.03.2020

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Аннотация

В данной статье представлены результаты исследования эффективности использования магнитно-импульсной обработки для повышения периода стойкости режущего инструмента, применяемого в пищевой промышленности. Описаны особенности износа куттерных ножей, изготовленных из коррозионностойкой стали 40X13, которые используются на всех мясоперерабатывающих предприятиях. Результаты исследований режущей кромки куттерных ножей без упрочнения и после магнитно-импульсной обработки, которые прошли производственные испытания, получены методом отпечатков (слепков) и представлены в виде диаграмм. Результаты испытаний до первой переточки показали снижение прироста радиуса округления режущей кромки в среднем в 1,8 раза.

Ключевые слова: режущий инструмент, пищевая промышленность, куттерные ножи, магнитно-импульсная обработка, упрочнение, стойкость, режущая кромка, лезвие, переточка.

Введение

В условиях развивающихся рыночных отношений особое значение для перерабатывающих отраслей приобретают вопросы повышения показателей надежности и долговечности измельчающих машин и аппаратов.

Известно, что измельчение (куттерованье) мясного сырья является одним из самых трудоемких процессов при изготовлении мясных продуктов. Куттерованье – один из наиболее важных процессов при производстве мясной продукции. От качества куттерованья зависит качество получаемого сырья и их выход. Кроме технологических факторов, на качество куттерованья также влияет острота лезвия ножей, которая, в свою очередь, оказывает существенное влияние при резании, т.к. от нее зависит внешний вид и выход готовой продукции, усилие резания, качество среза и выделение мясного сока при переработке продукта. Практика и анализ литературных источников показывают, что при затуплении лезвия за 3-4 часа работы падает в 23

раза такой показатель качества, как влагоемкость фарша, что влечет за собой ухудшение качества фарша, следовательно, и продукции в целом [1].

Недостаточная износостойкость режущей кромки ножей приводит к необходимости их частой заточки. При эксплуатации обычно стремятся не доводить режущий инструмент до износа, превышающего установленные оптимальные значения, которые принимают за критерий износа, и постоянно следят за состоянием режущей части инструмента и своевременно его затачивают. В то же время наибольший износ ножей происходит в результате частой заточки, что приводит к уменьшению их стойкости и долговечности [2,3].

В настоящее время наблюдается, что группа предприятий и организаций пищевой промышленности, исключают необходимость совершенствования инструмента, чтобы снизить его стоимость и тем самым увеличить объем продаж. Такие действия, приводящие к низкому качеству режущего

инструмента, сказываются на производительности оборудования и качестве выпускаемого пищевого продукта.

Таким образом, проблема повышения качества режущего инструмента пищевой промышленности является весьма актуальной.

Ввиду того, что к машинам, оборудованию и инструменту пищевой промышленности предъявляются очень высокие требования по безопасности и гигиене, в связи с чем какая-либо дополнительная обработка не всегда может соответствовать необходимым нормам по гигиенической безопасности по ГОСТ Р 54967-2012 [4].

Исходя из этого, сформировавшиеся прогрессивные технологические методы обеспечения надежности режущих инструментов путем использования заготовок и полуфабрикатов из порошковых материалов, химико-термической обработки, лазерного и криогенного воздействия на инструмент, электроискрового легирования, не соответствуют нормам гигиенической безопасности или приводят к изменению геометрических параметров инструмента, что недопустимо, или же являются экономически не оправданными.

На сегодняшний день одним из перспективных методов повышения надежности и стойкости различного инструмента является магнитно-импульсная упрочняющая обработка (МИО). Суть этого метода состоит в том, что обработку готовых стальных изделий проводят воздействием импульсами электромагнитного поля определенной напряженности в специальной магнитно-импульсной установке (МИУ) с использованием индукторной системы и с возможностью управления технологическими режимами импульсной обработки.

Известно, что магнитно-импульсная упрочняющая обработка (МИО) наиболее эффективна при воздействии на металлические поверхности, имеющие большое количество различных дефектов (искривления кристаллической решетки, остаточные внутренние напряжения и т.д.), так как приводит к их частичному устранению, а вышеуказанные дефекты появляются в результате различных технологических операций (термических или деформационных).

При воздействии МИО на металл измельчается и становится более однородной его структура, что снижает трещинообразование, стабилизирует структуру, обеспечивает повышение прочности изделий и, соответственно, увеличивает их срок эксплуатации. Осуществление этих процессов непосредственно связано с неоднородностью материала стали, локальным выделением теплоты вблизи границ зерен при протекании индукционных токов, деформационными и магнитострикционными эффектами (в случае изделий, выполненных из магнитных материалов) [5–7].

Многочисленные эксперименты и производственные испытания на предприятиях показывают, что в результате магнитно-импульсной обработки разнообразные инструменты, применяемые в деревообрабатывающей, машиностроительной, пищевой отраслях промышленности, как на предприятиях Республики Беларусь, так и за рубежом повышают свои эксплуатационные показатели до двух раз [8].

Известно, что применение упрочняющей МИО по сравнению с известными методами упрочнения имеет ряд преимуществ: не используется экологически небезопасное оборудование, геометрические параметры упрочненных изделий не меняются, при этом метод позволяет с высокой эффективностью повысить качество поверхности, что очень важно для режущего инструмента, в том числе и в мясоперерабатывающей отрасли промышленности [9 – 12].

Таким образом использование метода МИО не предусматривает применение каких-либо покрытий или имплантации химических элементов, что обеспечивает соответствие необходимым гигиеническим нормам и безопасной работы режущего инструмента.

В связи с этим *целью работы* является исследование особенностей износа куттерных ножей при измельчении мяса и определение эффективности использования упрочняющей МИО для повышения периода стойкости режущего инструмента из коррозионностойких марок стали.

Оборудование и методика проведения исследований

С целью повышения эффективности упрочнения коррозионностойких сталей использовалась разработанная в «Физико-техническом институте НАН Беларуси» полуавтоматическая магнитно-импульсная установка МИП-18, представленная на рисунке 1, с максимально запасаемой энергией в 15 кДж. По сравнению с существующими установками лаборатории, установка обладает меньшей длительностью и большей частотой импульса, что соответственно, повышает коэффициент полезного действия (КПД). МИП-18 позволяет увеличить эффективность магнитного воздействия на инструмент из коррозионностойких и тугоплавких марок стали. Кроме этого, конструкция установки с увеличенной рабочей зоной позволяет обрабатывать инструмент больших размеров, а также проводить контроль температуры нагрева изделия во время обработки при различных технологических режимах.



Рисунок 1. Установка МИП-18 с запасаемой энергией в 15 кДж

На характер износа режущих кромок лезвия ножа влияет множество факторов. К основным факторам можно отнести следующие:

- материал, который подвергается резанию;
- режимы резания;
- физико-механические свойства материала режущего инструмента;
- параметры инструмента и исходное состояние режущих кромок.

Износ и затупление инструмента может характеризоваться различными параметрами, одним из которых является радиус округления режущей кромки [13].

Для исследования периода стойкости (времени до первой переточки) обработанных куттерных ножей по нашей технологии и без нее, и соответственно для определения эффективности МИО, были проведены исследования по определению радиуса округления режущих кромок ножей, которые отработали при одинаковых технологических условиях на ОАО «Агрокомбинат Дзержинский» в колбасном цеху на куттере LASKA КТ 200 2V, методом отпечатков (слепков) [14].

Измерение радиуса округления режущей кромки лезвия ножа и величины фаски заключалось в следующем: свинцовую пластинку надвигали на лезвие в строго перпендикулярной плоскости. На рисунке 2 представлена схема осуществления метода слепков [14].

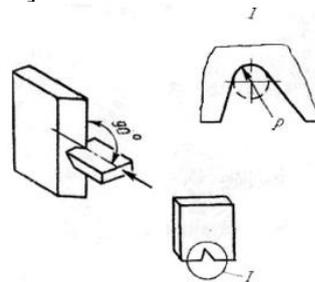


Рисунок 2. Схема метода снятия слепка режущей кромки

Так как износ острия режущей кромки (область 1) значительно больше, чем в направлении оси вращения лезвия (области 2 и 3), измерение радиуса округления режущей кромки проводилось в трех областях ножа, начиная от острия, как показано на рисунке 3.

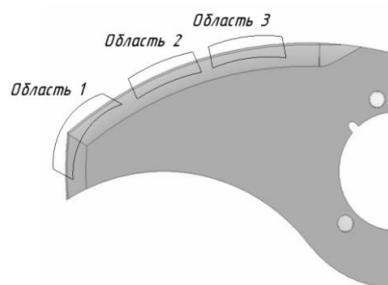


Рисунок 3. Области измерения радиуса округления режущей кромки куттерного ножа

Пространственная форма режущей кромки, т.е. форма дуги и угол скоса, опти-

мизированы для каждого случая применения куттерного ножа. Если эту оптимизированную форму в результате чрезмерного износа необходимо восстановить заново, то скос приходится перетачивать по всей длине лезвия, а не только на острие или поблизости от него. Поэтому такая переточка требует значительного съема закаленной коррозионностойкой стали, что является весьма трудоемким процессом [15].

Полученные в свинцовой пластине слепки размещали на предметный стол микроскопа и с помощью фотоаппарата делали электронные снимки (рисунок 4).

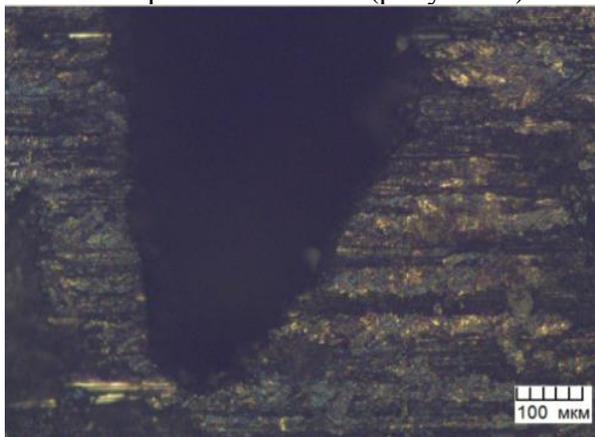


Рисунок 4. Снимок слепка режущей кромки

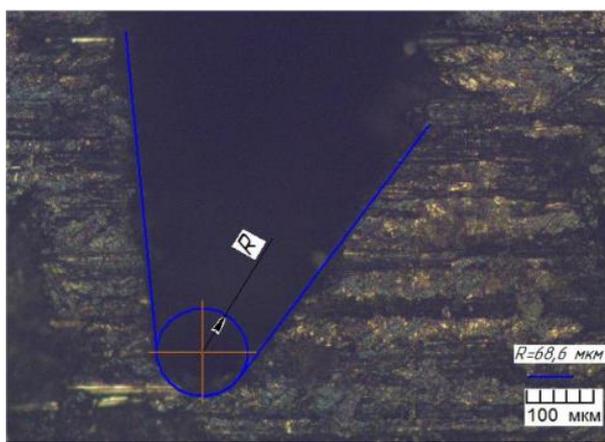


Рисунок 5. Пример обработки изображения слепка

Далее при помощи программы САПР, производилась операция вписывания окружности в измеряемую область (рисунок 5).

Для вычисления реального радиуса вписанной окружности необходимо вычислить коэффициент k , показывающий отношения измеренного радиуса окружности к значению деления окулярной линейки [14]:

$$k = \rho_{\delta} \cdot a, \quad (1)$$

где a – величина единичного деления, измеренного в программе САПР, мм;

ρ_{δ} – измеренный радиус вписанной окружности, мм.

Полученный коэффициент необходимо умножить на величину единичного деления, после чего получили действительное значение радиуса вписанной окружности, мкм [14]:

$$\rho_{д} = a \cdot O, \quad (2)$$

где $\rho_{д}$ – значение деления окулярной линейки, мкм;

O – коэффициент отношения измеренной окружности к значению деления окулярной линейки.

Результаты исследования и их обсуждения

Полученные результаты изменения радиуса округления режущей кромки в период работы ножей без МИО представлены на диаграмме (рисунок 6).

Полученные результаты изменения радиуса округления режущей кромки в период работы ножей с МИО представлены в виде диаграммы на рисунке 7.

Полученные результаты, представленные в виде диаграмм, доказывают, что износ острия режущей кромки (область 1) значительно отличается от износа режущей кромки в области 3. Также наблюдается, что из шести ножей, установленных на валу куттера, лишь первые два ножа имеют наибольшие значения радиуса округления режущей кромки, это говорит о том, что первая пара ножей выполняет большую работу по измельчению, чем вторая и третья пара. Вторая и третья пара ножей выполняют работу по измельчению в меньшей степени, обрабатывая лишь тонкие слои фарша.

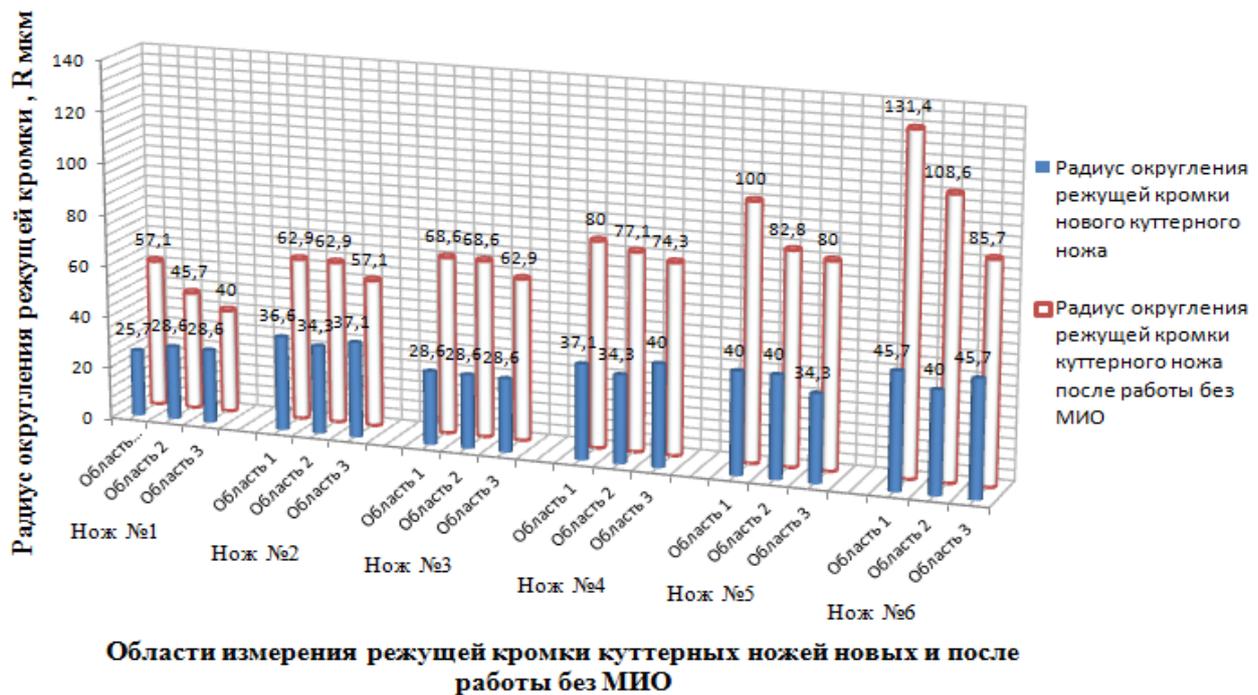


Рисунок 6. Результаты исследования радиуса округления режущей кромки новых куттерных ножей без МИО до и после испытаний на ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский»

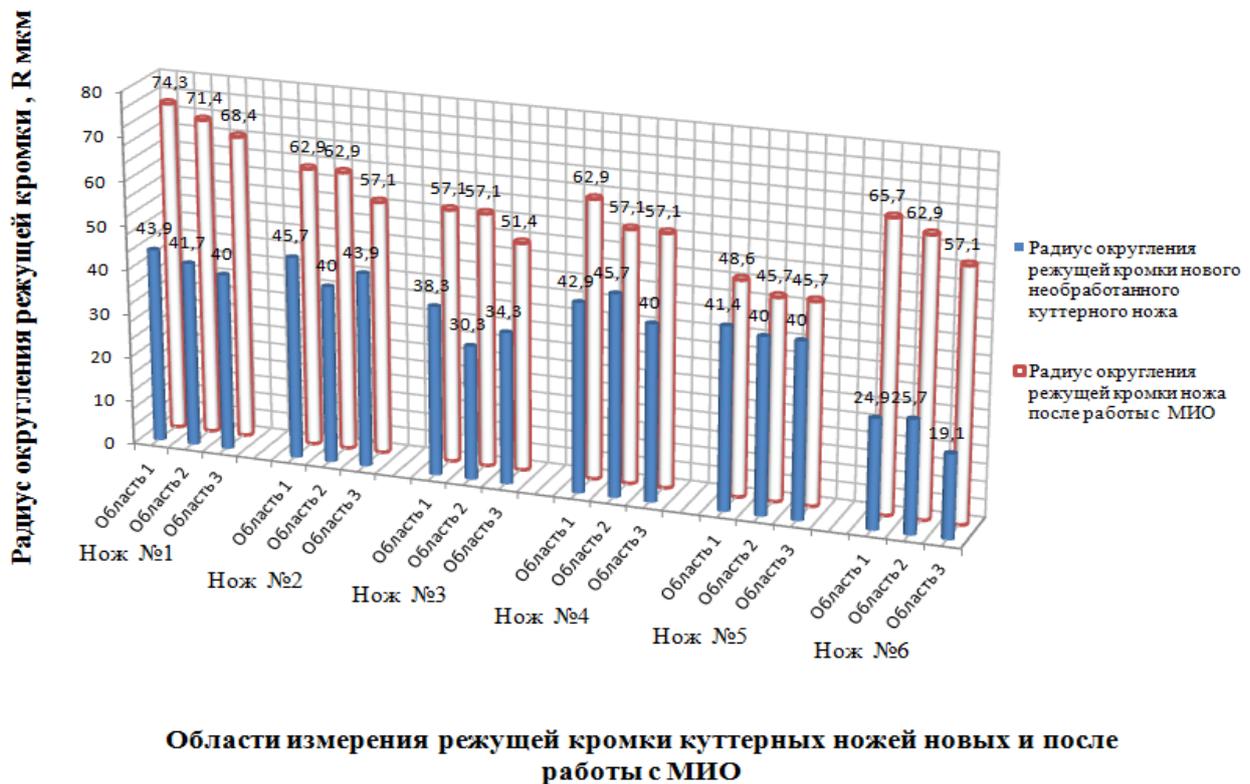


Рисунок 7. Результаты исследования радиуса округления режущей кромки новых куттерных ножей упрочненных МИО до и после испытаний на ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский»

В таблице 1, 2 представлены средние значения радиуса округления и определена величина прироста затупления режущей кромки за время работы куттерного ножа без упрочнения и после МИО.

Установлено, что без МИО во время работы прирост затупления ножей первой пары более чем в 3 раза выше, чем у ножей третьей пары, а после МИО этот показатель снижается до 2,4 раза. Куттерные ножи, упрочненные методом МИО, после эксплуатации на куттере оказались в 1,8 раза острее, что указывает на то, что период стойкости этих ножей с учетом нескольких переточек также будет выше, чем у неупрочненных ножей.

Актуальность использования упрочняющей МИО для увеличения периода стойкости и работоспособности куттерных, серповидных и других ножей аналогичной конструкции, заключается в том, что независимо от количества переточек упрочненный слой всегда остается, так как упрочняющая МИО проводится на плоском индук-

торе по задней грани ножа (угол α), а заточка происходит по передней грани (угол γ) (рисунок 8).

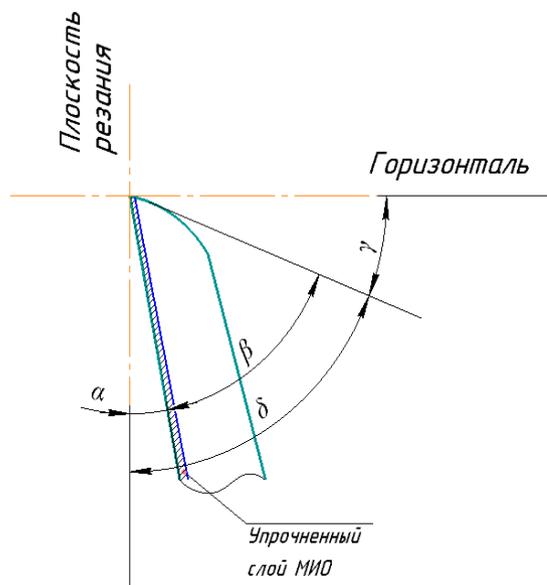


Рисунок 8. Геометрия ножа с односторонней заточкой: α – задний угол; β – угол заострения; γ – передний угол; δ – угол резания

Таблица 1
Среднее значение радиуса округления режущих кромок куттерных ножей без МИО и величина прироста затупления за время работы

Среднее значение радиуса округления режущей кромки нового неотработанного куттерного ножа, мкм	Среднее значение радиуса округления режущей кромки после работы куттерного ножа без МИО, мкм	Величина прироста затупления за время работы куттерного ножа без МИО, мкм
27,6 (нож №1)	47,6 (нож № 1 третьей пары)	20,0
36 (нож №2)	60,97 (нож № 2 третьей пары)	24,9
28,6 (нож №3)	66,7 (нож № 2 второй (средней) пары)	38,1
37,1 (нож №4)	77,1 (нож № 1 второй (средней) пары)	40,0
38,1 (нож №5)	87,6 (нож № 2 первой пары)	49,5
43,8 (нож №6)	108,6 (нож № 1 первой пары)	64,8

Таблица 2
Среднее значение радиуса округления режущих кромок куттерных ножей после МИО и величина прироста затупления за время работы

Среднее значение радиуса округления режущей кромки нового неотработанного куттерного ножа без МИО мкм	Среднее значение радиуса округления режущей кромки после работы куттерного ножа после МИО, мкм	Величина прироста затупления за время работы куттерного ножа после МИО, мкм
42,9 (нож №4)	59,03 (нож № 1 третьей пары)	16,1
40,5 (нож №5)	46,7 (нож № 2 третьей пары)	6,2
43,2 (нож №2)	60,97 (нож № 2 второй (средней) пары)	17,8
34,3 (нож №3)	55,2 (нож № 1 второй (средней) пары)	20,9
41,9 (нож №1)	71,4 (нож № 2 первой пары)	29,5
23,2 (нож №6)	61,9 (нож № 1 первой пары)	38,7

Таким образом, увеличение периода стойкости режущего инструмента, упрочненного МИО, которое ведет к уменьшению количества переточек, существенно повышает его работоспособность, что сокращает затраты на обслуживание оборудования и покупку новых комплектов инструмента.

Заключение

Ножи для куттеров относятся к быстроизнашивающимся инструментам, но вопросы восстановления их режущей способности в полной мере не проработаны. В современных условиях непрерывно-поточного производства важное значение приобретают показатели надежности режущего инструмента и в итоге увеличения его ресурса работы.

Проведенные исследования методом отпечатков (слепков) режущей кромки куттерных ножей из коррозионностойкой стали 40X13 без упрочнения и после магнитно-импульсной обработки при испытаниях до первой переточки в производственных условиях на ОАО «Агрокомбинат Дзержинский» в колбасном цеху на куттере LASKA КТ 200 2V показали снижение прироста радиуса округления режущей кромки в среднем в 1,8 раза. Установлено, что износ острия режущей кромки значительно больше, чем износ в направлении оси вращения лезвия, а из 6 ножей, установленных на валу куттера, не все испытывают одинаковый износ в процессе работы.

Библиографический список

1. Баряян А.Г. Повышение износостойкости и долговечности ножей куттеров при самозатачивании: дис. канд. техн. наук: 05.02.04 / А.Г. Баряян. – Ставрополь, 2000. – 183 л.
2. Башков В.М. Кацев П.Г. Испытание режущего инструмента на стойкость / В. М. Башков, П. Г. Кацев. – Москва: Машиностроение, 1985. - 136 с.
3. Гринь С.А. Улучшение эксплуатационных характеристик куттеров путем создания новой конструкции ножей / С.А. Гринь, О.М. Филенко, А.А. Телюк // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові

рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 14-19.

4. Машины и оборудование для пищевой промышленности. КУТТЕРЫ. Требования по безопасности и гигиене: ГОСТ Р 54967-2012. – Введ. 01.01.14. – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: Национальный стандарт Российской Федерации, 2014. – 40 с.
5. 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: УО «ВГТУ», 2017. – Гл.2. С. 31-52.
6. Малыгин Б.В. Магнитное упрочнение инструментов и деталей машин / Б.В. Малыгин. – М.: Машиностроение, 1998. – 130 с.
7. 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. навук. Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. - 2016. - №4. - С. 31–36.
8. Милюкова, А.М. Прогрессивные технологии упрочнения магнитно-импульсным воздействием металлических изделий для различных отраслей промышленности / А.М. Милюкова // сборник докл. симпозиума «Технологии. Оборудование. Качество» 2 семинара в рамках Белорусского промышленного форума 2018 (Минск, 29 мая –1 июня 2018 г.) / В.С. Харитончик [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2018. – С. 164–168.
9. Милюкова, А.М. Особенности влияния электромагнитного импульсного поля на тонколистовые стальные изделия / Милюкова А.М., Горчанин А.И., Бурносков Н.В., Михлюк А.И. // Сборник научн. трудов ФТИ НАН Беларуси. В 3

- кн. / 1 кн. – 2017. – Мн.: ФТИ НАН Беларуси. – С. 182–189.
10. Милюкова, А.М. Улучшение эксплуатационных характеристик стальных режущих инструментов сложного профиля, упрочнённых комбинированной магнитно-импульсной обработкой / А.М. Милюкова, А.И. Горчанин, Н.В. Бурносков, Г.П. Горецкий // Механическое оборудование металлургических заводов – 2018. – №2. – С. 17-22.
 11. Матяс А.Н. Повышение работоспособности куттерных ножей методом магнитно-импульсной обработки / А.Н. Матяс, А.М. Милюкова, Н.В. Бурносков // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научных трудов. В 3 кн. / 2 кн. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редкол.: А.В. Белый (гл.ред) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси. – С. 151-158.
 12. Матяс А.Н. Исследование влияния магнитно-импульсного воздействия на шероховатость поверхности инструментальной стали / А.Н. Матяс, А.И. Горчанин, А.М. Милюкова // Сборник научн. трудов ФТИ НАН Беларуси, 2019. – Минск: ФТИ НАН Беларуси. – С.246–254.
 13. Раповец В.В. Критерий временной стойкости двухлезвийных резцов фрезерно-брусующих станков в зависимости от требуемого качества продукции / Раповец В.В., Н.В. Бурносков // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды II Междунар. Евраз. симпоз., Екатеринбург, 2–5 окт. 2007 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. В.Г. Новоселова. Екатеринбург, 2007. С. 222–225.
 14. Глебов И.Т. Оборудование отрасли: Исследование микрогеометрии режущих кромок лезвий: метод. указания / И.Т. Глебов, А.Р. Абдулов; МИНОБРНАУКИ РФ, ФГБОУ ВПО Уральский гос. лесотех-ий ун-т. – Екатеринбург, 2013. – 8 с.
 15. Нож куттера и оснащенная им ножевая головка: пат. RU 2480289 С2 РФ, МПК В02С 18/20. ШтеффенсМихель; заявитель ШтеффенсМихель. – № 2008145935/13; заявл. 20.11.2008; опубл. 27.04.2013 // Бюл. №15. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2013. – С. 16.

Information about the paper in English

A.N. Matyas, A.M. Milyukova
 Physics and Technology Institute of the National Academy of
 Sciences of Belarus State Scientific Institution
 Minsk, Republic of Belarus
 E-mail: annart@mail.ru
 Received 03.03.2020

DETERMINING THE EFFICIENCY OF THE STRENGTHENING MAGNETIC-PULSE TREATMENT TO
 INCREASE THE LIFETIME OF CUTTING TOOLS

Abstract

This paper presents the results of the research on efficiency of magnetic-pulse treatment to increase the lifetime of the cutting tools used in the food industry. It describes the special features of wear of 40Kh13 corrosion-resistant steel knives for meat cutting machines used at all meat processing plants. The results of the industrial tests on the cutting edge of knives for meat cutting machines without strengthening and after magnetic-pulse treatment were analyzed by a replica (imprint) method and presented in diagrams. The test conducted before the first regrinding showed that the growth of a corner radius of the cutting edge decreased by 1.8 times on the average.

Keywords: cutting tool, food industry, knives for meat cutting machines, magnetic-pulse treatment, strengthening, resistance, cutting edge, blade, regrinding.
