

DOI: 10.15393/j2.art.2020.5262

УДК630.362

Статья

## Снижение интенсивности изнашивания режущего инструмента для древесины

**Константинов Валерий Фёдорович**

*кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Российская Федерация), [konstantinov@mgul.ac.ru](mailto:konstantinov@mgul.ac.ru)*

**Борисов Вячеслав Алексеевич**

*кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Российская Федерация), [vborisov@bmstu.ru](mailto:vborisov@bmstu.ru)*

**Пахомов Павел Константинович**

*исследователь, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Российская Федерация), [pahtov@ya.ru](mailto:pahtov@ya.ru)*

*Получена: 26 марта 2020 / Принята: 26 сентября 2020 / Опубликована: 30 сентября 2020*

---

**Аннотация:** В статье предложена методика оценки величины износа режущего инструмента, позволяющая объективно выбрать рациональный метод повышения износостойкости. Опираясь на сравнение теоретических направлений изучения процесса резания, выбрано направление поиска оптимального метода повышения стойкости инструмента для резания древесины. На примере исследования изнашивания режущих кромок дисковых пил рассмотрен актуальный вопрос повышения стойкости дереворежущего инструмента. Приведён краткий обзор методов снижения изнашивания инструмента при обработке древесины, отмечены недостатки. Использование химико-термического метода связано с нагревом и образованием окалины на поверхности инструмента. Лазерная термическая обработка, заключающаяся в воздействии луча оптического квантового генератора (лазера) на режущие кромки инструмента с образованием упрочнённого поверхностного слоя, является одним из перспективных методов повышения износостойкости круглых пил. Эффективность упрочнения круглых пил методом лазерной термической обработки характеризуется шириной, глубиной и твёрдостью формируемого закалённого слоя прикормочных зон. Метод предварительного облучения поверхности лазером наиболее эффективен, обеспечивает упрочнение режущего инструмента за счёт образования в поверхностном слое структуры мартенсита, эффект от обработки сохраняется на 2—3 переточки. Рассмотрена

возможность оценки износа режущего инструмента не объёмом снесённого металла, а размерами радиуса режущей кромки. Сделана попытка объяснить влияние степени заострения инструмента на процесс его внедрения в древесину. Наглядно показана возможность внедрения режущей кромки инструмента в древесину в зависимости от создаваемого удельного давления, т. е. от величины радиуса режущей кромки, от затупления вследствие изнашивания реза. Увеличенный в результате изнашивания радиус кромки требует для внедрения кромки реза в древесину существенного повышения силы резания, приводит к повышению энергетических затрат пиления, снижению качества обработанной поверхности. В работе оценку интенсивности изнашивания инструмента как приращение размера радиуса режущей кромки предложено осуществлять не в абсолютных значениях, а в относительных величинах для каждого этапа наблюдений. Исследование интенсивности изнашивания режущего инструмента в относительных значениях позволило выделить две стадии изнашивания: интенсивный и монотонный износ. На первой стадии происходит усиленное истирание, пластическая деформация и выкрашивание режущих кромок, сглаживание поверхности инструмента. На последующей стадии монотонного изнашивания радиус увеличивается, удельное давление уменьшается, и изнашивание замедляется. Использование относительных значений приращения радиуса режущей кромки позволяет дать объективную оценку эффективности исследуемых методов повышения стойкости режущего инструмента.

**Ключевые слова:** дереворежущий инструмент; режущая кромка; интенсивный износ; равномерный износ; величина износа

---

DOI: 10.15393/j2.art. 2020.5262

*Article*

## **Reducing the wear rate of wood cutting tools**

**Valery Konstantinov**

*PhD in engineering, Associate Professor, N. E. Bauman Moscow State Technical University (Russian Federation), [konstantinov@mgul.ac.ru](mailto:konstantinov@mgul.ac.ru)*

**Vyacheslav Borisov**

*PhD in engineering, Associate Professor, N. E. Bauman Moscow State Technical University (Russian Federation), [vborisov@bmstu.ru](mailto:vborisov@bmstu.ru)*

**Pavel Pakhomov**

*researcher, Moscow State Technical University named after N. E. Bauman (Russian Federation), [pahomov@ya.ru](mailto:pahomov@ya.ru)*

*Received: 26 March 2020 / Accepted: 26 September 2020 / Published: 30 September 2020*

---

**Abstract:** The article proposes a methodology for assessing the wear of a cutting tool, which allows choosing a rational method of increasing wear resistance. The authors searched for an optimal method to increase the resistance of a cutting wood tool by comparing some theoretical directions of studying the cutting process. They considered the urgent issue of increasing the durability of a wood cutting tool on the example of a study of the wear of cutting edges of circular saws. A brief overview of methods to reduce tool wear during wood processing is given, and disadvantages are noted. The use of the chemical-thermal method is associated with heating and formation of scale on the surface of the instrument. Laser heat treatment, which consists in the action of the beam of an optical quantum generator (laser) on the cutting edges of the tool with the formation of a hardened surface layer, is one of the promising methods for increasing the wear resistance of circular saws. The efficiency of circular saws hardening by laser heat treatment is characterized by the width, depth and hardness of the formed hardened layer of bait zones. The method of preliminary irradiation of the surface with a laser is the most effective one, it provides hardening of the cutting tool due to the formation of a marten site structure in the surface layer, the effect of processing is preserved for 2—3 regrinds. The possibility of assessing the wear of a cutting tool not by the volume of demolished metal, but by the dimensions of the cutting edge radius is considered. An attempt was made to explain the influence of the degree of a tool sharpening on the possibility of its penetration into wood. The possibility of the tool cutting edge penetration into wood depends on the specific

pressure created, i.e. on the value of the radius of the cutting edge and on its dulling caused by the cutter wear. The increase of the edge radius because of wear requires a significant increase in cutting force for the cutter edge penetration into the wood, leading to an increase in energy consumption of sawing, and a decrease in the quality of the processed surface. The authors propose to evaluate the tool wear rate as an increment of the cutting edge radius not in absolute values but in relative values for each observation stage. The study of the wear rate of the cutting tool in relative values made it possible to distinguish two stages of wear: intense and uniform wear. At the first stage, enhanced abrasion, plastic deformation and chipping of the cutting edges occur, and the tool surface is smoothed. In the subsequent stage of uniform wear, the radius increases, the specific pressure decreases, and the wear slows down. The use of relative values of the increment of the cutting edge radius allows an objective assessment of the effectiveness of the investigated methods to increase the resistance of the cutting tool.

**Keywords:** wood cutting tool; cutting edge; intense wear; uniform wear; amount of wear

---

## 1. Введение

Важнейшими задачами совершенствования дереворежущего инструмента являются интенсификация процессов резания, энергосбережение и улучшение качества обработанных резанием поверхностей изделий из древесины. Пути снижения изнашивания режущего инструмента: поиск рационального профиля режущей кромки; повышение прочности инструмента.

Развитие учения о резании древесины характеризуется механико-математическим, физическим и физико-технологическим научно-методическими направлениями [1].

Механико-математическое направление, развивая взгляды и гипотезы И. А. Тиме и М. А. Дешевого, добилось значительных результатов в изучении элементарного и станочного резания, углубления аналитической теории резания древесины.

На физическом направлении научный поиск связан с углублённым изучением на клеточном и молекулярном уровне процессов, протекающих на поверхностях скольжения древесины по резцу. Получены существенные результаты в описании механических и физических явлений процесса резания, в разработке методов и средств измерения механических и физических величин, характеризующих энергетику и качество резания [2].

На физико-технологическом направлении значительные результаты получены для практических расчётов на основе теоретических и экспериментальных исследований, получены формулы для расчёта показателей процесса сложного резания в обобщённом виде.

Выберем для анализа изнашивания дереворежущего инструмента физико-технологическое направление. Найдём экономичный способ увеличить ресурс стандартной дисковой пилы.

## 2. Материалы и методы

Исследование основывается на основных положениях теории резания: режущая кромка реального лезвия представляет некоторую кривую поверхность, соединяющую поверхности передней и задней граней; при работе лезвие тупится, радиус его режущей кромки увеличивается. При проведении расчётов и аппроксимации данных использованы методы математического анализа и прикладной математики. Расчёты выполнены с использованием программы Mathcad Prime 6.0.

## 3. Результаты

Исключительную важность при разработке методик исследований износостойкости инструментов для обработки древесины имеет увязка условий проведённых исследований с конкретными эксплуатационно-производственными условиями [2]. Это связано с тем, что различные группы древесных материалов различаются показателями физико-химических свойств и, соответственно, изнашивающим воздействием на инструменты. Для

экспериментального подтверждения эффективности комплексного метода упрочнения был проведён анализ испытания упрочнённого инструмента [3]. При этом его работоспособность сравнивалась по величине затупления режущей кромки. Существенное влияние на характер изнашивания инструментов оказывают и скорости резания, и действие динамических нагрузок, и температурный режим обработки. Степень их влияния в значительной мере зависит от свойств инструментального материала и принятых упрочняющих технологий [4].

Одна из задач — это увеличение срока эксплуатации и износостойкости инструмента путём упрочнения, решение которой способствует значительному увеличению их долговечности и обеспечивает экономию дорогих и дефицитных материалов, энергии, трудовых ресурсов.

Теоретические исследования и опыт практического использования определил профиль режущей кромки инструмента, который регламентируется стандартом. Правильный выбор инструментальной стали для изготовления дереворежущего инструмента и режимов термической обработки является одним из основных факторов, оказывающих влияние на его стойкость. Пути поиска методов повышения износостойкости следует искать в выборе легирующих добавок инструментальной стали и методов термической и термомеханической обработки режущих элементов [5].

Естественное изнашивание режущего инструмента происходит в результате истирания поверхности, разрушения и смятия режущих кромок в условиях циклических знакопеременных нагрузок. Недостаточная твёрдость поверхности приводит к быстрому истиранию, чрезмерная хрупкость материала реза — к выкрашиванию частиц инструмента или поломке зубьев. Оптимальными считаются высокая твёрдость поверхности (HRC 44—46) и пластичная сердцевина стального инструмента. Входящие в структуру карбиды легирующих добавок материала инструмента должны быть мелкодисперсными и равномерно распределёнными в объёме.

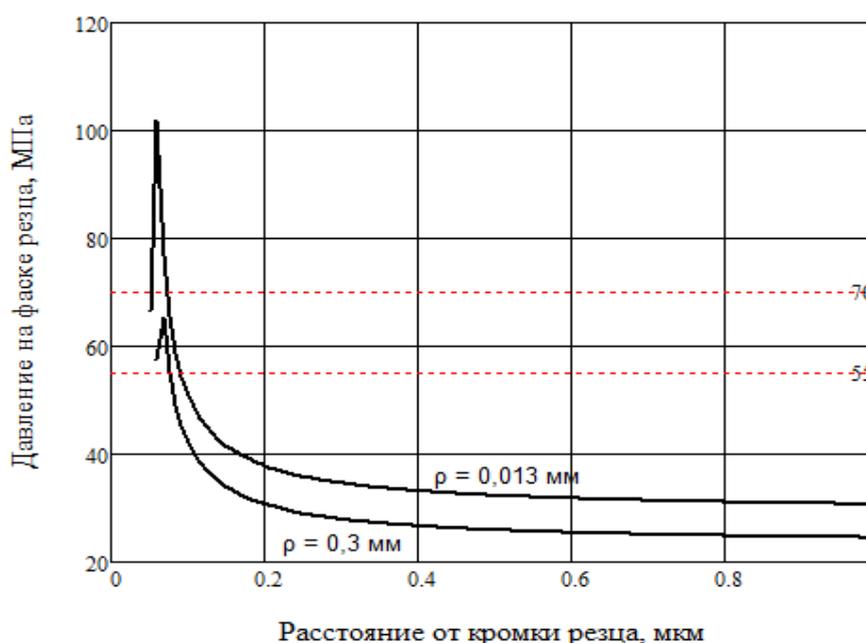
Зубчатый дереворежущий инструмент (фрезы и разнообразные пилы) в процессе резания испытывает ударные нагрузки при встрече каждого зуба с обрабатываемым материалом. Также на силу резания влияет направление волокон древесины по отношению к линии разделения. Динамический характер процесса резания объясняет отличие теоретического закона изнашивания поверхности режущего клина от установленного и экспериментально был исследован в работе [2].

Период стойкости режущего инструмента определяется допустимой величиной износа фаски, появление которой вызвано, главным образом, механическим воздействием на инструмент в зоне его контакта с обрабатываемым материалом. Износ инструмента — мера процесса изнашивания оценивается массой снесённого металла. Полагая, что радиус режущей кромки пропорционален массе снесённого материала, используем в качестве меры износа размер радиуса режущей кромки для сравнения стойкости базового варианта и исследуемого дисковой пилы [6].

Состояние режущей кромки значительно сказывается на качестве обработки и силе резания. Острый резец имеет радиус закругления для пил  $\rho_0 = 10$  мкм, для фрез и ножей —  $\rho_0 = 4\text{—}5$  мкм. Приращение затупления режущей кромки [1]

$$\Delta\rho = \rho - \rho_0 = \varepsilon \times L, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  — коэффициент, учитывающий удельное затупление режущей кромки на пути 1 м резания;  $L$  — общий путь контакта резца с древесиной, м. Коэффициент  $\varepsilon$  для сталей 9ХФ и ХВГ при пилении дисковыми пилами хвойных пород составляет 0,0002 мкм/м.



**Рисунок 1.** Влияние радиуса режущей кромки на давление резца

**Figure 1.** The influence of the cutting edge radius on the pressure of the cutter

Процесс резания древесины сосны поперёк волокон (внедрение режущей кромки) возможен при давлении на острие около 70 МПа, резец с  $\rho = 0,3$  мм (больше  $\rho_0$ ) не создаёт требуемого давления и будет скользить по поверхности (рисунок 1). Чтобы обеспечить необходимое давление резания, следует увеличить силу нажатия или заточить режущую кромку инструмента.

В связи с тем, что на практике для разделки деловой древесины применяют стандартный инструмент, когда материал регламентируется ГОСТом, повлиять на его стойкость возможно путём дополнительной упрочняющей обработки. Наибольшее распространение получили способы упрочнения материала инструмента химико-термической, магнитно-импульсной, лазерной обработкой [7].

Химико-термическая обработка материала инструмента позволяет в ряде случаев получить комплекс свойств, необходимых для повышения срока службы инструмента в конкретных условиях эксплуатации.

Цементацию применяют при необходимости получения высокой твёрдости и износостойкости инструмента при достаточно высокой усталостной прочности. Для сталей, содержащих хром и ванадий, при цементации за счёт увеличения карбидов в поверхностном слое значительно увеличивается износостойкость, с увеличением содержания углерода повышается твёрдость поверхностного слоя [8]. Недостатком способа цементации является снижение в 1,5—2,0 раза прочностных характеристик и вязкости упрочняемого материала.

Цианирование (насыщение поверхности инструмента азотом и углеродом одновременно) снижает коэффициент трения, следовательно, повышает износостойкость инструмента.

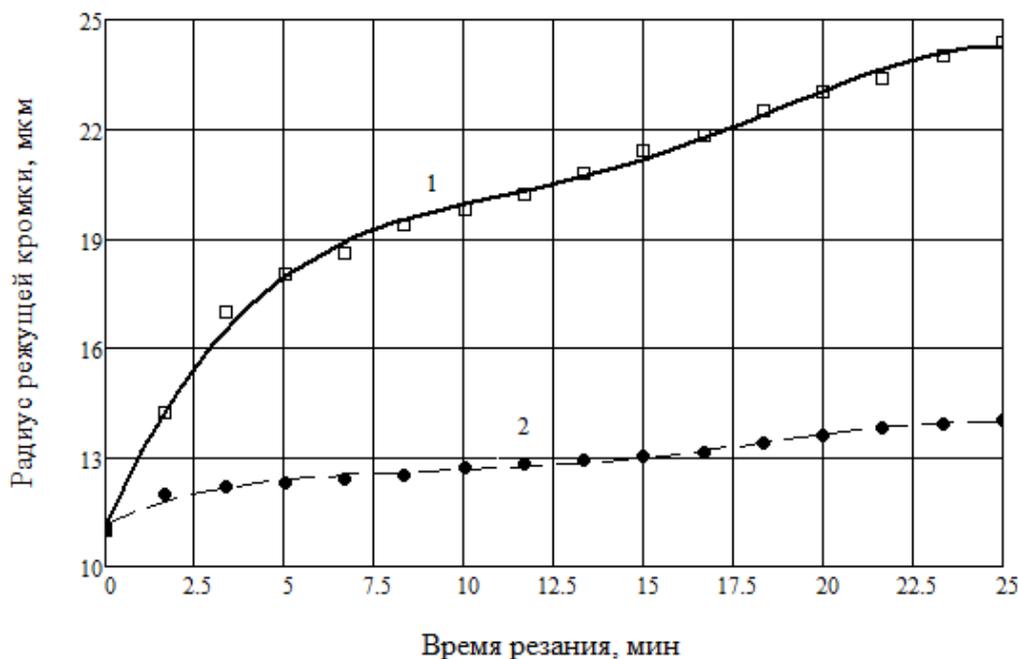
Для поверхностного упрочнения инструмента применяют также электроискровое упрочнение. При искровом разряде в воздушной среде под действием выпрямленного пульсирующего тока происходит полярный перенос материала с анода из металлокерамических твёрдых сплавов Т15К6, Т30К4 на катод (инструмент). Переносимый материал, соединяясь с диссоциированным атомарным азотом воздуха, углеродом и материалом катода, образует износоустойчивый слой.

Сущность процесса поверхностного легирования заключается в насыщении поверхности инструмента углеродом и последующей термообработке: закалка при температуре  $910 \pm 20^\circ\text{C}$  с низким отпускком при температуре  $170 \pm 10^\circ\text{C}$ .

Импульсное магнитное поле инициирует процессы аустенитно-мартенситного превращения, образование и дробление карбидов, измельчение зёрен, что положительно сказывается на прочностных качествах стального инструмента [9].

Одним из наиболее перспективных направлений повышения износостойкости и прочности дереворежущего инструмента является закалка рабочих поверхностей лучом лазера. Термическая обработка лазером осуществляется воздействием луча оптического квантового генератора (лазера) на режущие кромки инструмента с образованием упрочнённого поверхностного слоя. Происходит скоростной нагрев локального участка поверхности лазерным излучением, а затем охлаждение этого участка со сверхкритической скоростью вследствие отвода теплоты во внутренние слои материала. В результате получаем поверхностный слой, обладающий высокой твёрдостью, улучшенными параметрами шероховатости и повышенным уровнем остаточных напряжений сжатия при отсутствии деформаций, трещин и отслаиваний, что значительно увеличивает износостойкость режущих кромок [10], [11].

Сравним изменение радиуса режущей кромки дисковой пилы диаметром 315 мм ГОСТ 980-80 и пилы, подвергнутой лазерным термическим упрочнением, в процессе поперечного пиления хвойной древесины влажностью 15—20 %. Скорость резания 50 м/с, скорость подачи 21 мм/мин (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Изнашивание режущей кромки при пилении: 1 — дисковая пила ГОСТ 980-80, сталь 9ХФ; 2 — дисковая пила после лазерной термической обработки

**Figure 2.** Cutting edge wear during sawing: 1 — circular saw GOST 980-80, steel 9HF; 2 — circular saw after laser heat treatment

Стандартные дисковые пилы изготавливают из стали 9ХФ, микроструктура которой представляет собой троостит или троостосорбит твёрдостью HRC44—46. Режущие элементы зубьев после лазерной термической обработки имеют упрочнённый слой глубиной 150—170 мкм со структурой закалённого мартенсита твёрдостью H<sub>μ</sub> 947 кг/мм<sup>2</sup> [17], [18].

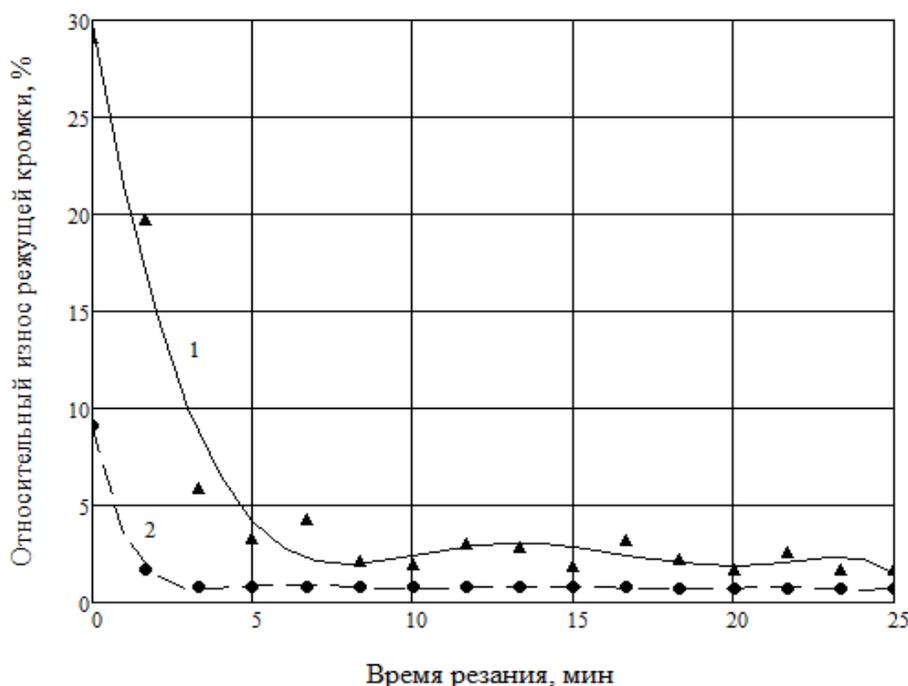
Процесс изнашивания режущего инструмента, как правило, происходит неравномерно [2], [15]. Выделяют три стадии изнашивания: в начальной стадии (приработки) наблюдается интенсивное изнашивание режущих кромок, вследствие обламывания острых выступов и пластической деформации; на второй стадии — равномерное изнашивание; иногда может быть третья стадия, вследствие затупления режущих кромок и изменения профиля изнашивание резко возрастает. Заточка инструмента должна осуществляться до начала третьей стадии.

Абсолютный износ инструмента можно оценивать изменением радиуса режущей кромки:  $\Delta r = r - r_0$ . Изнашивание инструмента носит нелинейный характер, наблюдается некоторое замедление после пятой минуты. Как видно из рисунка 2, по абсолютному изменению радиуса  $r_i$  выявить стадии изнашивания не представляется возможным [12], [13], [19].

Интенсивность изнашивания инструмента более эффективно отражает величина относительного износа режущей кромки (рисунок 3):

$$\delta = \frac{\rho_{i+1} - \rho_i}{\rho_i} = \frac{\Delta}{\rho_i} \times 100\%, \quad (2)$$

где  $\rho_{i+1}$  и  $\rho_i$  соответствует текущему значению радиуса режущей кромки и предыдущему значению.



**Рисунок 3.** Относительное изнашивание режущей кромки при пилении: 1 — дисковая пила ГОСТ 980-80, сталь 9ХФ; 2 — дисковая пила после лазерной термической обработки

**Figure 3.** The relative wear of the cutting edge when sawing: 1 — circular saw GOST 980-80, steel 9HF; 2 — circular saw after laser heat treatment

Можно выделить интенсивный износ режущей кромки до пятой минуты, а затем почти равномерное, нормальное изнашивание. Замедление интенсивности процесса в стадии нормального изнашивания происходит из-за того, что в контакт с поверхностью по мере притупления режущих кромок вступает большая поверхность инструмента. Удельное давление уменьшается, и изнашивание замедляется.

Следует отметить, что лазерная обработка поверхности дисковых пил обеспечивает стабильный износ режущей кромки на стадии равномерного изнашивания [14], [16], [20].

#### 4. Заключение и выводы

Предложена методика оценки величины износа режущего инструмента, позволяющая объективно выбрать рациональный метод повышения износостойкости.

Лазерная термическая обработка режущих кромок зубьев дисковых пил за счёт упрочняющего слоя твёрдостью HV 947 кг/мм<sup>2</sup> и глубины 150—170 мкм снижает изнашивание режущей кромки в 1,5—1,8 раза.

Интенсивность изнашивания наглядно отражает не абсолютные, а относительные изменения радиуса режущей кромки.

#### Список литературы

1. Шкутко В. В. Резание древесины. Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2004. 52 с.
2. Константинов В. Ф., Борисов В. А., Акинин Д. В. Влияние динамики работы пильной цепи на изнашивание режущих звеньев // Resources and Technology. 2019. № 16 (3). С. 24—32.
3. Вишневский Н. С., Константинов В. Ф. Повышение стойкости разделительных штампов. М.: Машиностроение, 1984. 120 с., ил.
4. Григорьянц А. Г., Щиганов И. Н., Мисюров А. И. Технические процессы лазерной обработки. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 664 с.
5. Алифанов А. В., Акулов А. В., Попова Ж. А., Демянчик А. С. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка изделий из конструкционных и инструментальных сталей // Литьё и металлургия. 2012. № 3. С. 77—82.
6. Кремлева Л. В., Малыгин В. И., Снегирева К. К. Режим лазерного упрочнения дереворежущего инструмента // Лесной журнал. 2016. № 5. С. 157—167.
7. Алифанов А. В., Попова Ж. А., Демянчик А. С. // Влияние режимов упрочняющей магнитно-импульсной обработки на прочностные характеристики дереворежущих ножей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Материаловедение. 2012. С. 74—78.
8. Ситкина Л. П., Ярьско С. И. Эффективность технологии лазерной упрочняющей обработки в инструментальном производстве // Изв. ВолгГТУ. 2013. Т. 9, № 7. С. 40—43.
9. Бирюков В. Изменение структуры и свойств сталей при лазерном упрочнении // Фотоника. 2012. № 3. С. 22—27.
10. Ильин В. М., Кравец А. Н. Повышение надёжности инструмента лазерным легированием // Вестник машиностроения. 1987. № 1. С. 44—46.
11. Верещака А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. 336 с.
12. Алифанов А. В., Милюкова А. М., Цуран В. В. Разработка импортозамещающей технологии изготовления рубильных ножей для производства технологической щепы // Перспективные материалы и технологии: [коллективная монография]: В 2 т. / Под ред. В. В. Клубовича. Витебск: УО «ВГТУ», 2015. Т. 1. Гл. 25. С. 277—299.
13. Милюкова А. М., Бурносов Н. В., Цуран В. В. Исследование физико-механических свойств и проведение производственных испытаний рубильных ножей, изготовленных по импортозамещающим технологиям // Современные методы и технологии создания и

обработки материалов: Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки: Материалы X Междунар. научно-техн. конф., Минск, 16—18 сент. 2015 г. Минск, 2015. Т. 2. С. 221—228.

14. *Кремлева Л. В., Малыгин В. И., Снегирева К. К.* Режимы лазерного упрочнения дереворежущего инструмента из легированных сталей // Лесной журнал. 2016. № 5. С. 157—166. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.157.
15. *Зотов Г. А., Памфилов Е. А.* Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 295 с.
16. *Бровер А. В., Бровер Г. И., Дьяченко Л. Д.* Некоторые особенности структурного состояния сталей в зонах лазерной обработки // Чёрная металлургия. 2007. № 6. С. 36—45. (Изв. высш. учеб. заведений).
17. *Яресько С. И., Горяинов Д. С.* Моделирование процесса лазерного упрочнения режущего инструмента // Изв. Самар. НЦРАН. 2011. Т. 13, № 4-3. С. 921—926.
18. *Adel K. M., Dhia A. S., Ghazali M. J.* The effect of laser surface hardening on the wear and friction characteristics of acicular bainitic ductile iron // International J. of Mechanical and Materials Engineering. 2009. Vol. 4, No 2. P. 167—171.
19. *El-Batahgy A. M., Ramadan A. R., Moussa A. R.* Laser Surface Hardening of Tool Steels — Experimental and Numerical Analysis // J. of Surface Engineered Materials and Advanced Technology. 2013. No 3. P. 146—153.
20. *Lee J.-H., Jang J.-H., Joo B.-D., Son Y.-M., Moon Y. H.* Laser surface hardening of AISI H13 tool steel // Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition). 2009. Vol. 19, No 4. P. 917—920.

## References

1. *Shkutko V. V.* Wood cutting. Khabarovsk: Educational Edition. Publishing House of the Pacific State University, 2004. 52 p. (In Russ.)
2. *Konstantinov V. F., Borisov V. A., Akinin D. V.* The influence of the dynamics of the saw chain on the wear of the cutting links // Resources and Technology. 2019. No 16 (3). P. 24—32. (In Russ.)
3. *Vishnevsky N. S., Konstantinov V. F.* Increased durability of dividing dies. Moscow: Mechanical Engineering, 1984. 120 p., ill. (In Russ.)
4. *Grigoryants A. G., Schiganov I. N., Misyurov A. I.* Technical processes of laser processing. Moscow: MSTU im. N. E. Bauman, 2006. 664 p. (In Russ.)
5. *Alifanov A. V., Akulov A. V., Popova J. A., Demyanchik A. S.* Magnetic-pulse hardening processing of products from structural and tool steels // Casting and metallurgy. 2012. No. 3. P. 77—82. (In Russ.)
6. *Kremleva L. V., Malygin V. I., Snegireva K. K.* Laser hardening mode for wood cutting tools // Forest Journal. 2016. No. 5. P. 157—167. (In Russ.)
7. *Alifanov A. V., Popova Zh. A., Demyanchik A. S.* // The influence of the regimes of hardening magnetic pulse processing on the strength characteristics of wood-cutting knives // Bulletin of Polotsk State University. Series B, Materials Science. 2012. P. 74—78. (In Russ.)
8. *Sitkina L. P., Yaresko S. I.* Efficiency of laser hardening technology in tool manufacturing // Izv. Volgograd State Technical University. 2013. Vol. 9, No. 7. P. 40—43. (In Russ.)
9. *Biryukov V.* Change in the structure and properties of steels during laser hardening // Photonics. 2012. No. 3. P. 22—27. (In Russ.)
10. *Ilyin V. M., Kravets A. N.* Improving the reliability of the instrument by laser alloying // Herald of mechanical engineering. 1987. No 1. P. 44—46. (In Russ.)

11. *Vereshchak A. S.* Performance of cutting tools with wear-resistant coatings. Moscow: Mechanical Engineering, 1993. 336 p. (In Russ.)
12. *Alifanov A. V., Milyukova A. M., Tsuran V. V.* Development of import-substituting technology for the manufacture of chipping knives for the production of technological wood chips // Promising materials and technologies: collective monograph: In 2 t. / Ed. V. V. Klubovich. Vitebsk: UO «VSTU», 2015. T. 1. Ch. 25. P. 277—299. (In Russ.)
13. *Milyukova A. M., Burnosov N. V., Tsuran V. V.* The study of physical and mechanical properties and production tests of chipping knives made by import-substituting technologies // Modern methods and technologies for the creation and processing of materials: Technologies and equipment for mechanical and physical-technical processing: materials of the X Intern. scientific and technical Conf., Minsk, September 16—18, 2015. Minsk, 2015. T. 2. P. 221—228. (In Russ.)
14. *Kremleva L. V., Malygin V. I., Snegireva K. K.* Laser hardening regimes of a wood-cutting tool made of alloy steels // Lesn. Journal. 2016. No 5. P. 157—166. (Izv. Higher educational institutions). DOI: 10.17238 / issn0536-1036.2016.5.157. (In Russ.)
15. *Zotov G. A., Pamfilov E. A.* Improving the durability of wood cutting tools. Moscow: Ecology, 1991. 295 p. (In Russ.)
16. *Brover A. V., Brover G. I., Dyachenko L. D.* Some features of the structural state of steels in zones of laser processing // Ferrous metallurgy. 2007. No 6. P. 36—45. (Izv. Higher educational institutions). (In Russ.)
17. *Yaresko S. I., Goryainov D. S.* Modeling the process of laser hardening of a cutting tool // Izv. Samar. NCRC. 2011. Vol. 13, No. 4-3. P. 921—926.
18. *Adel K. M., Dhia A. S., Ghazali M. J.* The effect of laser surface hardening on the wear and friction characteristics of acicular bainitic ductile iron // International J. of Mechanical and Materials Engineering. 2009. Vol. 4, No. 2. P. 167—171. (In Russ.)
19. *El-Batahgy A. M., Ramadan A. R., Moussa A. R.* Laser Surface Hardening of Tool Steels — Experimental and Numerical Analysis // J. of Surface Engineered Materials and Advanced Technology. 2013. No. 3. P. 146—153. (In Russ.)
20. *Lee J.-H., Jang J.-H., Joo B.-D., Son Y.-M., Moon Y. H.* Laser surface hardening of AISI H13 tool steel // Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition). 2009. Vol. 19, No. 4. P. 917—920. (In Russ.)