

Научная статья

УДК 621.715.2, 66.040.2

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29307>



А.Ю. Лаврентьев ✉, *Д.Д. Какорин*, *Д.А. Барчуков*

Тверской государственный технический университет,
г. Тверь, Россия

✉ lavr_ay@mail.ru

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ДИСКОВОГО НОЖА

Аннотация. В статье описываются конструкции дисковых ножей для резки различных материалов, рассматриваются известные конструкции и способы производства дисковых ножей, их достоинства и недостатки. Цельные ножи из инструментальной стали дорогостоящие в производстве и не позволяют эффективно использовать материал. Целесообразно изготавливать дисковые ножи биметаллической конструкции. Предлагается способ изготовления дискового ножа, включающий сборку пакета заготовок с последующей пакетной наплавкой. Наплавка обеспечивает получение рабочего слоя из инструментальной стали. Термическая обработка и шлифовка заготовок по цилиндрической поверхности осуществляется в пакете. Пакет разделяется на отдельные изделия с помощью лазерной резки. Приведен обзор работ ряда авторов, посвященных исследованиям структуры и свойств инструментальных сталей после лазерного воздействия. Разработанный способ защищен патентом Российской Федерации.

Ключевые слова: дисковый нож, биметалл, наплавка, термическая обработка, лазерная резка, пакет заготовок.

Для цитирования:

Лаврентьев А.Ю., Какорин Д.Д., Барчуков Д.А. Высокопроизводительный способ изготовления биметаллического дискового ножа // Глобальная энергия. 2023. Т. 29, № 3. С. 100–110. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29307>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29307>*A.Yu. Lavrent'ev* ✉, *D.D. Kakorin*, *D.A. Barchukov*

Tver State Technical University, Tver, Russia

✉ lavr_ay@mail.ru

HIGH-PERFORMANCE METHOD OF MANUFACTURING A BIMETALLIC DISC KNIFE

Abstract. The article describes the designs of disc knives for cutting various materials, discusses the known designs and methods of production of disc knives, their advantages and disadvantages. Solid knives made of tool steel are expensive to manufacture and do not allow efficient use of the material. It is advisable to manufacture disk knives of bimetallic design. A method of manufacturing a disc knife is proposed, including the assembly of a package of blanks with subsequent batch surfacing. The surfacing provides a working layer of tool steel. Heat treatment and grinding of work pieces on a cylindrical surface is carried out in a package. The package is divided into individual products using laser cutting. The paper provides a review of several published works devoted to the study of the structure and properties of tool steels after laser exposure. The developed method is protected by a patent of the Russian Federation.

Keywords: disc knife, bimetal, surfacing, heat treatment, laser cutting, package of work pieces.

Citation:

A.Yu. Lavrent'ev, D.D. Kakorin, D.A. Barchukov, High-performance method of manufacturing a bimetallic disc knife, *Global Energy*, 29 (03) (2023) 100–110, DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29307>

Введение. Дисковый нож является многофункциональным режущим инструментом, применяющимся в различных отраслях современного производства, таких как, машиностроение, автомобилестроение, бумажно-целлюлозная, перерабатывающая и пищевая промышленности. С помощью дисковых ножей осуществляют раскрой материалов с различной структурой и свойствами.

Дисковый нож (рис. 1) представляет собой заточенный с одной или двух сторон диск (1), режущая кромка (2) которого расположена по периметру окружности, с отверстием (3) в центре, благодаря которому диск надежно закрепляется на оси вращения станка. Диаметр диска (D) зависит от области его применения и может составлять от 100 до 1000 мм.

Геометрия режущей кромки дискового ножа профилируется с учетом типа обрабатываемого материала. Выделяют диски с односторонней и двухсторонней заточкой, под прямым углом к боковым плоскостям диска и криволинейной заточкой.

Чаще всего дисковые ножи полностью изготавливаются из инструментальной стали. Такая конструкция обеспечивает достаточную прочность и жесткость инструмента, однако так же приводит к нерациональному использованию дорогостоящего материала и значительно повышает стоимость инструмента.

Цель работы: разработка эффективного и экономичного способа изготовления дискового ножа.

Аналоги и прототипы

Описана конструкция дискового ножа, состоящего из корпуса и рабочего кольца, выполненного из инструментальной стали с твердостью 60 – 65 HRC. Рабочее кольцо дискового ножа изготавливают съемным с возможностью замены. Оно напрессовано на корпус и зафиксировано с

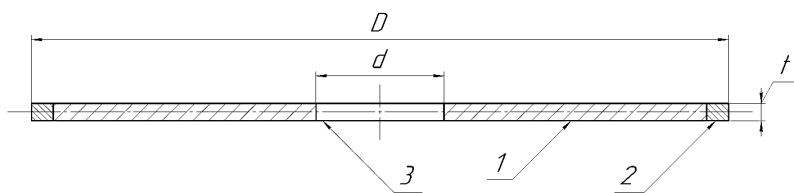


Рис. 1. Дисконный нож

Fig. 1. Disc knife



Рис. 2. Дисконный нож с двумя режущими кромками

Fig. 2. Disc knife with two cutting edges

помощью сварки. Торец рабочего кольца смещен в осевом направлении относительно корпуса на несколько миллиметров [1].

Такая конструкция дискового ножа отличается высокой трудоемкостью изготовления рабочего кольца и сложностью соединения рабочего кольца, с корпусом. Выполнение сварки инструментальных сталей сопряжено с риском возникновения трещин в шве и околошовной зоне.

Также известен способ изготовления дискового ножа (рис. 2), состоящего из основы – корпуса (1) и двух режущих кромок (2). Основу изготавливают из конструкционной стали, с двух сторон формируют пазы. Режущие кромки наплавляют сплавом 110X5M8B2C2TЮ [2].

Для такой конструкции дискового ножа характерна низкая производительность и трудоемкость обработки наплавленных режущих кромок, требующих снятие припуска как по цилиндрической поверхности, так и по двум торцам. В процессе наплавки припуск на обработку может составлять несколько миллиметров. Шлифование рабочей части ножа оказывается весьма затратным.

Следует отметить возможность использования технологии наплавки для изготовления и восстановления изношенных кромок дисковых ножей [3]. В процессе наплавки термическое воздействие на основной металл обеспечивает условия для изменения структуры и свойств зоны термического влияния. Управлять термическим циклом наплавки возможно за счет применения устройства для отвода тепла [4, 5]. Такой технологический прием обеспечивает возможность управлением структурой не только наплавленного металла, но и металла зоны термического влияния.

Авторы [6] исследовали влияние размеров переходной зоны на предел выносливости восстановленных деталей и привели рекомендации, повышающие эксплуатационные характеристики изделий, наплавленных проволокой марок У7, 08Х13, ПП-Нп80Х20Р3Т [6]. В ряде работ рассматриваются процессы изменения микроструктуры основного и наплавленного металла [7, 8]. Моделированию распределения температуры при наплавке с использованием программного пакета Mathcad посвящена работа Гордеева И.Е. [9].

Выбору инструментального материала для изготовления режущей кромки дискового ножа необходимо уделить особое внимание. В опубликованных работах авторы уделяют внимание быстрорежущим сталям [10, 11]. В работе Гадалова В.Н. показана возможность повышения износостойкости покрытий из порошковой стали Р6М5 после электронно-лучевой наплавки термоциклированием [12]. Возможность повышения обрабатываемости быстрорежущих сталей после

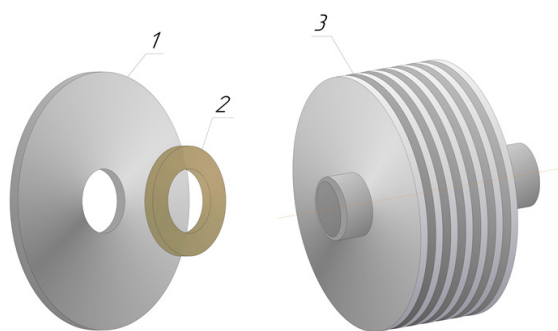


Рис. 3. Сборка пакета заготовок дисковых ножей: 1 – заготовка дискового ножа; 2 – разделительная шайба; 3 – пакет заготовок дисковых ножей

Fig. 3. Assembly of a package of disc knife blanks: 1 – disk knife blank; 2 – spacer; 3 – package of blanks for disk knives

модифицирования поверхности описана в работе Мартынова В.В. [13]. Наплавка быстрорежущих сталей сопряжена с риском образования трещин. В работе приведены результаты исследований влияния технологических факторов на процесс возникновения трещин в наплавленном металле [14]. Чаус А.В. описал процессы образования структуры оплавленной поверхности быстрорежущей стали в состоянии отжига при лазерном воздействии [15]. Перспективы лазерной обработки быстрорежущих сталей будут рассмотрены более подробно.

На основе анализа опубликованных работ можно сделать вывод о том, что управление термическим циклом наплавки в процессе изготовления дискового ножа можно считать наиболее эффективным методом для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик металла режущей кромки, выполненной из быстрорежущей стали.

Оптимальным следует считать способ изготовления дискового ножа, при котором выполняют наплавку режущих кромок заготовки из конструкционной стали 30ХГСА. Наплавку осуществляют теплостойкой сталью Р2М8. Затем проводят термическую обработку заготовки и чистовую механическую обработку.

Рассмотрим более подробно технологический процесс изготовления дискового ножа по разработанной технологии.

Заготовки для дискового ножа из стали 30ХГСА возможно получить штамповкой или лазерной резкой из листового проката. При диаметре ножа до 100 мм при единичном или мелкосерийном производстве возможно заготовку получать точением из круглого проката. Необходимо изготовить посадочное отверстие дискового ножа с приемлемой точностью. Перед сборкой целесообразно выполнить очистку поверхности под наплавку абразивным методом.

Заготовки дисковых ножей перед наплавкой собирают в пакет. Пакетная наплавка позволяет существенно повысить производительность. Между заготовками устанавливают разделительные шайбы толщиной от 0,5 до 1,5 мм. Установка заготовок дисковых ножей в пакет (рис. 3) позволяет сократить время изготовления, повысить эффективность загрузки оборудования и производительность операции наплавки, термической обработки и предварительного шлифования.

Размещение шайбы для формирования зазора величиной от 0,5 до 1,5 мм между заготовками необходима для облегчения последующего разделения заготовок дисковых ножей. При уменьшении зазора менее 0,5 мм выполнить разделение заготовок с помощью лазерно-кислородной резки оказывается затруднительным. В этом случае на боковой поверхности ножа будут присутствовать оплавления поверхностного слоя металла, а также возникают налипания удаляемого металла. Увеличение зазора более 1,5 мм не целесообразно. Будет наблюдаться перерасход дорогостоящего инструментального материала, а также повышается трудоемкость изготовления за счет большего значения припуска на последующее шлифование по боковой поверхности.

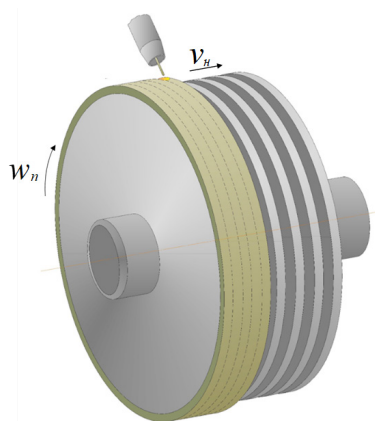


Рис. 4. Наплавка пакета заготовок дисковых ножей

Fig. 4. Surfacing of a package of disc knife blanks

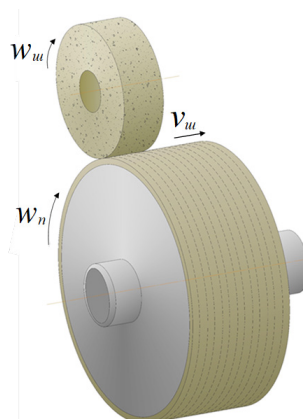


Рис. 5. Предварительное шлифование пакета заготовок дисковых ножей

Fig. 5. Pre-grinding of a package of disc knife blanks

Затем проводят наплавку по цилиндрической поверхности пакета заготовок дисковых ножей, толщина наплавленного слоя от 2 до 4 мм. Для увеличения толщины наплавленного слоя по боковой поверхности ножа возможно выполнить разделку кромок в плоскости перпендикулярной оси заготовки. Уменьшение высоты наплавленного валика менее 2 мм не позволяет получить необходимую прочность и твердость рабочей части дискового ножа, увеличение высоты валика более 4 мм приводит к увеличению расхода инструментальной стали. Целесообразно применить электродугую наплавку порошковой проволокой в среде инертного газа (аргон). Термическая обработка изделия заключается в проведении трехкратного отпуска при температуре 525 – 550°С. Продолжительность каждого цикла отпуска 45 – 60 минут. Такие параметры термической обработки позволяют в полной мере обеспечить превращение остаточного аустенита в мартенсит отпуска в быстрорежущей стали. Кроме того, устраняются остаточные внутренние напряжения в металле, в результате обеспечивается необходимая твердость и прочность режущей части инструмента. Свойства основного металла (сталь 30ХГСА) остаются при этом на приемлемом уровне.

Предварительная шлифовка пакета заготовок по наружной цилиндрической поверхности (рис. 5) обеспечивает повышение производительности и сокращает общее время обработки за счет уменьшения времени на снятие и установку изделия на шлифовальном станке.

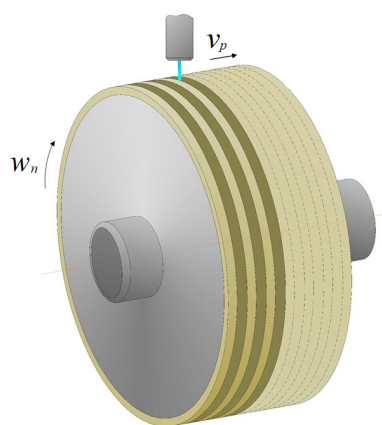


Рис. 6. Лазерная резка пакета заготовок дисковых ножей

Fig. 6. Laser cutting of a package of disc knife blanks

Разделение пакета заготовок осуществляется лазерной резкой (рис. 6), которая обеспечивает высокое качество поверхности заготовки после разделения.

Воздействие лазерного излучения на металл обеспечивает возможность получения закаленной структуры с высоким комплексом эксплуатационных свойств. В работе [16] показана возможность упрочнения штампового инструмента из стали Р6М5 лазерами непрерывного действия. В статье [17] обоснован метод восстановления и упрочнения штампов из сложнoleгированных сталей 5Х2МНФ, 4Х5МФС при помощи твердотельного лазера. Проведен экономический анализ, и описан экономический эффект от применения комплекса [17]. Лисовский А.Л. и Плетенев И.В. в своих работах доказали эффективность лазерного упрочнения для штамповой оснастки. Если некоторая поверхность последовательно закаливается соприкасающимися или перекрывающимися зонами, необходимо учитывать отличие их свойств от свойств зон закалки [18].

Газолазерная резка инструментальных сталей сопровождается процессами упрочнения металла. В работах Барабановой И.А. приведены результаты исследований быстрорежущей стали Р2М8 после газолазерной резки и лазерного отпуска. Автор использовала оптический и растровый электронный микроскоп [19, 20]. Лазерное воздействие обеспечивает увеличение микротвердости на 200...600 МПа в зонах закалки из жидкой фазы. Такой результат можно объяснить процессами дисперсионного твердения металла. После газолазерной резки и лазерного отпуска быстрорежущая сталь приобретает высокую микротвердость и оптимальный фазовый состав поверхностного слоя: мартенсит, дисперсные карбиды и до 5...7% остаточного аустенита [19, 20].

Окончательное шлифование дискового ножа по боковой поверхности проводят для формирования рабочей формы режущих кромок (рис. 7).

Практическая реализация

Сущность предлагаемого способа можно описать на примере изготовления дискового ножа для резки абразивной ленты.

Заготовки в форме диска с внутренним отверстием получают из листа стали 30ХГСА размером $1,2 \times 1000 \times 2000$ мм. Полученные заготовки собирают в пакет, устанавливая на вал диаметром 32 мм, и фиксируют на оправке при помощи гайки или клина, при этом между заготовками устанавливают разделительные шайбы толщиной 1 мм из конструкционной стали 08.

Далее осуществляют наплавку по наружной цилиндрической поверхности пакета заготовок порошковой проволокой Р2М8. Режим наплавки $I = 200$ А, $U = 20$ В, $V_h = 15$ м/час. Толщина наплавленного слоя около 3 мм, в качестве защитного газа используется аргон.

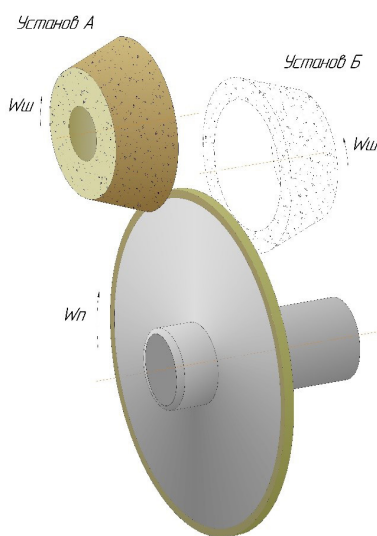


Рис. 7. Шлифование торцевой поверхности дискового ножа

Fig. 7. Grinding of the end surface of a disc knife

После наплавки проводят термическую обработку. Твердость стали после термообработки составляет 62...65 HRC.

Затем пакет наплавленных заготовок шлифуют по цилиндрической поверхности на кругло-шлифовальном станке.

Заготовки дискового ножа разделяют с помощью лазерной резки. Рекомендуемые режимы: $P = 2000$ Вт, $f = 1500$ Гц, $V_p = 1$ м/мин. Для обеспечения разделения заготовок по окружности необходимо применять специальный вращатель с центром в задней бабке.

После разделения заготовок проводится заточка рабочей поверхности до придания окончательной геометрической формы режущей кромке.

Выводы

Разработанная технология позволяет уменьшить время изготовления дискового ножа за счет использования пакета заготовок и возможности производства пакета дисковых ножей с выполнением наплавки режущих частей и шлифовки цилиндрической поверхности за один цикл производимых операций.

Термический цикл, состоящий из плавления порошковой проволоки, охлаждения и кристаллизации с получением наплавленного металла в закаленном состоянии из жидкой фазы, трехкратного нагрева до 525 – 550 °С, обеспечивающего отпуск стали и лазерного нагрева при резке, обеспечивает получение металла режущей кромки из быстрорежущей стали с высокой твердостью и износостойкостью.

На основе проведенной работы была составлена заявка и получен патент на изобретение «Способ изготовления дискового ножа» № 2752719 зарегистрированный в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 30 июля 2021 года [21].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

[1] **Фейман И.И.** Дисковый нож для резки листовых материалов Пат. 2627528 Российская Федерация, МПК В26D 1/14. Заявитель и патентообладатель И.И. Фейман. – № 2016101380, заявл. 18.01.2016, опубл. 21.07.2017, Бюл. № 21.

[2] **Неверов В.В., Клевцов П.Н., Лебедев С.В., Неверов В.С.** Восстановление дисковых ножей наплавкой сплавами повышенной прочности // Вестник ЛГТУ. 2019. Т. 41. №. 3. С. 33.

[3] **Карих В.В., Неверов В.В.** Дисковый нож. Пат. 2297902 Российская Федерация, МПК В23D 35/00. Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет (ЛГТУ)». – №2005128041/02, заявл. 07.09.2005, опубл. 27.04.2007, Бюл. № 22.

[4] **Архипов П.Н., Кусков В.Н.** Устройство для отвода тепла из зоны наплавки изделия. Патент на полезную модель RU 57658 U1 / Заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет» Заявл. 10.05.2006, опубл. 27.10.2006.

[6] **Иванов В.П., Вигерина Т.В.** Повышение качества восстановления деталей с нанесением покрытий // Горная механика. 2009. № 4. С. 80–87.

[7] **Лаврентьев А.Ю., Дожделев А.М.** Совершенствование структуры зоны термического влияния наплавленного биметаллического инструмента // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. Т. 23, № 3. С. 118–126.

[8] **Михальченков А.М., Феськов С.А., Козарез И.В., Слезко Е.И.** Изменение микроструктуры и микротвердости стали 65Г после термоупрочнения и наплавки малоуглеродистым электродом // Технический сервис машин. 2021. № 1 (142). С. 107–114.

[9] **Гордеев И.Е.** Математическое моделирование зоны термического влияния процесса наплавки // "ЧИСТАЯ НАУКА" на службе научно-технического прогресса: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Тюмень, 23 октября 2018 года. – Тюмень: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2018. С. 6–9.

[10] **Shunduo Wang.** Influence of Co on the microstructure and mechanical properties of M42 high-speed steel [Текст] / Shunduo Wang, Yunbo Chen, Peng Pan, Zhenghua Lin, Lingli Zuo // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. –№ 2393. –С. 1–7.

[11] **Yu Liu.** Study on Friction and Wear Behaviors of M42 High Speed Steel [Текст] / Yu Liu, Dong Li, Qingli Shao, Haikun Ma, Jie Kang, Ru Su // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. –№ 2168. – С. 41–50.

[12] **Гадалов В.Н., Петренко В.Р., Кутепов С.Н. [и др.]** Изучение и анализ с оценкой износа покрытия из порошковой стали Р6М5, полученного электронно-лучевой наплавкой в вакууме с применением термоциклирования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 5. – С. 362–368. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-5-362-363

[13] **Мартынов В.В., Таранова А.В., Евсеев А.В.** Оценка возможностей улучшения обрабатываемости изделий инструментом из быстрорежущей стали с модифицированной рабочей частью [Текст] // Научно-технические ведомости СПбПУ. – 2020. – № 5 (107). – С. 19–22.

[14] **Барчуков Д.А., Вавилов Р.В., Якимюк Р.И.** Исследование факторов, влияющих на образование трещин в наплавленных быстрорежущих сталях [Текст] // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: технические науки. – 2020. – № 2 (6). – С. 21–27.

[15] **Чаус А.В., Максименко А.В., Федосенко Н.Н. [и др.]** Формирование структуры при лазерном оплавлении поверхности отожженной быстрорежущей стали [Текст] // Физика металлов и металловедение. – 2019. – Т. 120, № 4. – С. 400–407.

[16] **Тескер Е.И., Митин В.Я., Карпова А.П., Бондаренко Ю.В.** Упрочнение вырубного инструмента из стали Р6М5 лазерами непрерывного действия // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1989. – № 10. – С. 18–20.

[17] **Гавариев Р.В., Савин И.А., Гавариева К.Н., Савина А.И.** Лазерное упрочнение штампов в условиях крупного машиностроительного предприятия // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2021. – Т. 77, № 2. – С. 26–30.

[18] **Лисовский А.Л., Плетнев И.В.** Разработка технологии лазерного упрочнения штамповой оснастки // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. Промышленность. – 2008. – № 2. – С. 65–72.

[19] **Varabonova I.A., Romanenko E.F., Volodin I.M. [and etc.]** Study of structure and properties of high-speed steels treated by gas & laser beam cutting and laser weld tempering // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2017. Vol. 52. Issue 4. – Pp. 659–666.

[20] **Барабонова И.А., Романенко Е.Ф., Шкатов В.В. [и др.]** Исследование структуры и свойств быстрорежущих сталей после газолазерной резки и лазерного отпуска // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. 2016. № 3. С. 21–32.

[21] **Какорин Д.Д., Лаврентьев А.Ю.** Способ изготовления дискового ножа. Пат. 2752719 Российская Федерация, МПК В23Р 15/40. Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет (ТвГТУ)». – №2020142298, заявл. 21.12.2020, опубл. 30.07.2021, Бюл. № 22.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЛАВРЕНТЬЕВ Алексей Юрьевич – доцент, *Тверской государственный технический университет, канд. техн. наук.*

E-mail: lavr_ay@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6884-8980>

КАКОРИН Даниил Дмитриевич – аспирант, *Тверской государственный технический университет, без степени.*

E-mail: kakorin0000@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3356-5414>

БАРЧУКОВ Дмитрий Анатольевич – заведующий кафедрой *технологии металлов и материаловедения, Тверской государственный технический университет, канд. техн. наук.*

E-mail: bda@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-776X>

REFERENCES

[1] **I.I. Feyman**, Diskovyy nozh dlya rezki listovykh materialov Pat. 2627528 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B26D 1/14. Zayavitel i patentoobladatel I. I. Feyman. – № 2016101380, заявл. 18.01.2016, опубл. 21.07.2017, Бюл. № 21.

[2] **V.V. Neverov, P.N. Klevtsov, S.V. Lebedev, V.S. Neverov**, Vosstanovleniye diskovykh nozhey naplavkoy splavami povyshennoy prochnosti // Vestnik LGTU. 2019. T. 41. №. 3. S. 33.

[3] **V.V. Karikh, V.V. Neverov**, Diskovyy nozh. Pat. 2297902 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B23D 35/00. Zayavitel i patentoobladatel Federalnoye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatelnoye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet (LGTU)». – №2005128041/02, заявл. 07.09.2005, опубл. 27.04.2007, Бюл. № 22.

[4] **P.N. Arkhipov, V.N. Kuskov**, Ustroystvo dlya otvoda tepla iz zony naplavki izdeliya. Patent na poleznuyu model RU 57658 U1 / Zayavitel i patentoobladatel Gosudarstvennoye obrazovatelnoye uchrezhdeniye vysshego professionalnogo obrazovaniya «Tyumenskiy gosudarstvennyy neftegazovyy universitet» Zayavl. 10.05.2006, опубл. 27.10.2006.

- [5] **A.M. Dozhdelev, A.Yu. Lavrentyev, I.A. Barabonova**, Sposob otvoda tepla v protsesse naplavki s ispolzovaniyem zhidkostnogo okhlazhdeni // Vestnik sovremennykh issledovaniy. 2018. № 9.3 (24). S. 247–252.
- [6] **V.P. Ivanov, T.V. Vigerina**, Povysheniye kachestva vosstanovleniya detaley s nanoseniyem pokrytiy // Gornaya mekhanika. 2009. № 4. S. 80–87.
- [7] **A.Yu. Lavrentyev, A.M. Dozhdelev**, Sovershenstvovaniye struktury zony termicheskogo vliyaniya naplavlennogo bimetallicheskogo instrumenta // Nauchno-tehnicheskiye vedomosti SPbPU. Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. 2017. T. 23, № 3. S. 118–126.
- [8] **A.M. Mikhailchenkov, S.A. Feskov, I.V. Kozarez, Ye.I. Slezko**, Izmeneniye mikrostruktury i mikroverdsti stali 65G posle termouprochneniya i naplavki malouglerodistym elektrodom // Tekhnicheskij servis mashin. 2021. № 1 (142). S. 107–114.
- [9] **I.Ye. Gordeyev**, Matematicheskoye modelirovaniye zony termicheskogo vliyaniya protsessa naplavki // "ChISTAYa NAUKA" na sluzhbe nauchno-tehnicheskogo progressa: sbornik statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tyumen, 23 oktyabrya 2018 goda. – Tyumen: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennostyu "Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy", 2018. S. 6–9.
- [10] **Shunduo Wang**, Influence of Co on the microstructure and mechanical properties of M42 high-speed steel [Tekst] / Shunduo Wang, Yunbo Chen, Peng Pan, Zhenghua Lin, Lingli Zuo // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – №2393. – S. 1–7.
- [11] **Yu Liu**, Study on Friction and Wear Behaviors of M42 High Speed Steel [Tekst] / Yu Liu, Dong Li, Qingli Shao, Haikun Ma, Jie Kang, Ru Su // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – № 2168. – S. 41–50.
- [12] **V.N. Gadalov, V.R. Petrenko, S.N. Kutepov, [i dr.]** Izucheniye i analiz s otsenkoy iznosa pokrytiya iz poroshkovoy stali R6M5, poluchennogo elektronno-luchevoy naplavkoy v vakuume s primeneniyem termot-siklirovaniya // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2023. – № 5. – S. 362–368. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-5-362-363
- [13] **V.V. Martynov, A.V. Taranova, A.V. Yevseyev**, Otsenka vozmozhnostey uluchsheniya obrabatyvayemosti izdeliy instrumentom iz bystrorezhushchey stali s modifitsirovannoy rabochey chastyu [Tekst] // Naukoyemkiye tekhnologii v mashinostroyenii. – 2020. – № 5 (107). – S. 19–22.
- [14] **D.A. Barchukov, R.V. Vavilov, R.I. Yakimyyuk**, Issledovaniye faktorov, vliyayushchikh na obrazovaniye treshchin v naplavlennykh bystrorezhushchikh stalyakh [Tekst] // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: tekhnicheskiye nauki. – 2020. – № 2(6). – S. 21–27.
- [15] **A.V. Chaus, A.V. Maksimenko, N.N. Fedosenko, [i dr.]** Formirovaniye struktury pri lazernom oplavlenii poverkhnosti otozhzhennoy bystrorezhushchey stali [Tekst] // Fizika metallov i metallovedeniye. – 2019. – T. 120, № 4. – S. 400–407.
- [16] **Ye.I. Tesker, V.Ya. Mitin, A.P. Karpova, Yu.V. Bondarenko**, Uprochneniye vyrubnogo instrumenta iz stali R6M5 lazerami nepreryvnogo deystviya // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. – 1989. – № 10. – S. 18–20.
- [17] **R.V. Gavariyev, I.A. Savin, K.N. Gavariyeva, A.I. Savina**, Lazernoye uprochneniye shtampov v usloviyakh krupnogo mashinostroitelnogo predpriyatiya // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. – 2021. – T. 77, № 2. – S. 26–30.
- [18] **A.L. Lisovskiy, I.V. Pletenev**, Razrabotka tekhnologii lazernogo uprochneniya shtampovoy osnastki // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B: Prikladnyye nauki. Promyshlennost. – 2008. – № 2. – S. 65–72.
- [19] **I.A. Barabonova, E.F. Romanenko, I.M. Volodin, [and etc.]** Study of structure and properties of high-speed steels treated by gas & laser beam cutting and laser weld tempering // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2017. Vol. 52. Issue 4. – Pp. 659–666.
- [20] **I.A. Barabonova, Ye.F. Romanenko, V.V. Shkatov, [i dr.]** Issledovaniye struktury i svoystv bystrorezhushchikh staley posle gazolazernoy rezki i lazernogo otpuska // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Tekhnika i tekhnologii. 2016. № 3. – S. 21–32.

[21] **D.D. Kakorin, A.Yu. Lavrentyev**, Sposob izgotovleniya diskovogo nozha. Pat. 2752719 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B23P 15/40. Zayavitel i patentoobladatel Federalnoye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatelnoye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya «Tverskoy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet (TvGTU)». – №2020142298, zayavl. 21.12.2020, opubl. 30.07.2021, Byul. №22.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aleksey Yu. LAVRENT'EV – *Tver State Technical University.*

E-mail: lavr_ay@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6884-8980>

Daniil D. KAKORIN – *Tver State Technical University.*

E-mail: kakorin0000@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3356-5414>

Dmitry A. BARCHUKOV – *Tver State Technical University.*

E-mail: bda@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-776X>

Поступила: 20.06.2023; Одобрена: 31.08.2023; Принята: 12.09.2023.

Submitted: 20.06.2023; Approved: 31.08.2023; Accepted: 12.09.2023.