

УДК 537.525.7:621.762

С. С. Карпович¹, Л. А. Рапинчук², В. Б. Левитан³, А. С. Раковец⁴, С. И. Карпович⁴¹Белорусский национальный технический университет²ГЛХУ «Новогрудский лесхоз»³ЧУП «Сталекс»⁴Белорусский государственный технологический университет**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НОЖЕЙ РУБИЛЬНЫХ МАШИН**

Перспективным с целью удешевления технологии изготовления инструмента является применение биметаллических заготовок, получаемых с помощью технологии сварки взрывом. При этом необходимо соблюдать условие: обеспечение твердости не только передней поверхности инструмента, но и основы составного инструмента.

При работе дереворежущего инструмента в условиях ударных нагрузок наблюдаются случаи образования трещин не только в зоне резания, но и в корпусе, что приводит к его разрушению. Установление причин этого явления повысит работоспособность инструмента и безопасность его эксплуатации. Предложено работоспособность такого инструмента оценивать соотношением ударной вязкости к значению твердости. Это соотношение названо коэффициентом соответствия. Чем выше значение коэффициента соответствия, тем выше рабочий потенциал инструмента. По этому показателю и результатам производственных испытаний инструментальные стали можно разместить по мере убывания потенциальной работоспособности в следующей последовательности: 45X2H4MФ, X6BФ, X12MФ, 6XB2C, X12.

Анализ характера затупления лезвий показывает, что при твердости HRC меньше 50 износ протекает за счет его пластической деформации и отгиба кромки в направлении задней поверхности. При нанесении упрочняющих покрытий твердость основы должна быть не меньше этого значения, в противном случае на передней поверхности режущего клина будут создаваться растягивающие напряжения, что приведет к снижению эффективности упрочняющей технологии.

Ключевые слова: сварка взрывом, инструмент, сталь, затупление, износ, упрочнение.

S. S. Karpovich¹, L. A. Rapinchuk², V. B. Levitan³, A. S. Rakovets⁴, S. I. Karpovich⁴¹Belarusian National Technical University²SFE “Novogrudsky forestry”³PUE “Staleks”⁴Belarusian State Technological University**RESOURCE INCREASE AND EFFICIENCY
OF THE USE OF KNIVES OF RUNNING MACHINES**

When wood-cutting tools are used for impact loads observed cases of cracking not only in the area of the blade, but in the hull, which leads to its destruction. Determining the reasons of this phenomenon increase the efficiency of the tool safety of operation. The working capacity of this tool proposed to evaluate ratio of impact strength to hardness. This ratio is called the coefficient of conformity. By coefficient of conformity carried assessment of the prospects of applications of steel grades Kh12MF, 6KhV2S, Kh6VF, Kh12 for manufacture of wood-cutting tools.

The coefficients of conformity K_c for these steel grades are in the range 0,39–1,48, that is, the difference of the utmost values differ by almost four times.

Analysis of the character of speeches of blades shows that the hardness HRC is less than 50 wear passes due to plastic deformation of the blade, of edge bending in the direction of the back surface. When applying hard coatings hardness should not be less then this value, otherwise hardening the front surface of the cutting wedge will create tensile stresses, which leads to a decrease in the efficiency of hardening technology.

Key words: explosion welding, tool, steel, dulling, wear, hardening.

Введение. Биоэнергетика основана на применении возобновляемых источников сырья. Для Беларуси таким сырьем являются отходы лесозаготовок и лесопиления. Первичная подготовка

отходов заключается в получении древесной щепы на передвижных и стационарных рубильных машинах. Инструментом в этом случае являются комплекты сменных ножей, изготовленные

из инструментальных сталей. Эффективность технологии получения щепы и ее себестоимость в первую очередь определяются износостойкостью и стоимостью такого инструмента. Работы по снижению стоимости и повышению стойкости рубильных ножей представляют как научный, так и практический интерес.

Основная часть. Износостойкость режущего инструмента определяет его технологическую и практическую ценность. Служебные характеристики инструмента в первую очередь определяются инструментальным материалом [1–6], из которого изготовлен инструмент. От инструментального материала требуется комплекс свойств – это высокая твердость, высокие механические показатели, такие как прочность на изгиб и ударная вязкость. Из физических показателей особое значение имеет теплостойкость инструментального материала. При проектировании дереворежущего инструмента стоит учитывать особенности геометрии, меньшие углы заточки, значительную анизотропию свойств обрабатываемого материала, направление волокон, низкую теплопроводность. Проектирование дереворежущего инструмента должно производиться с учетом этих особенностей.

На первоначальном этапе выбора инструментальной стали для изготовления дереворежущего инструмента предложено пользоваться коэффициентом соответствия. Коэффициент представляет собой отношение ударной вязкости стали к значению твердости: $K_c = KCU / HRC$ [6]. Чем выше значение коэффициента соответствия, тем выше рабочий потенциал инструмента. По этому показателю и результатам производственных испытаний инструментальные стали можно разместить по мере убывания потенциальной работоспособности в следующей последовательности: 45X2H4MФ, X6BФ, X12MФ, 6XB2C, X12 [7].

Стоимость инструмента в первую очередь определяется стоимостью инструментального материала и сложностью технологии изготовления. Инструментальные материалы имеют высокую стоимость. С целью экономии инструментального материала режущий инструмент изготавливают составным. Корпус инструмента делают из более дешевой конструкционной стали, а рабочую часть – из инструментального материала. Режущие элементы крепят на корпусе механическим путем, с помощью пайки, сварки [8–11]. Наибольшую эффективность следует ожидать при применении этой технологии для изготовления крупногабаритного режущего инструмента, такого как ножи рубильных машин (особенно стационарного типа), имеющих

большие размеры. При изготовлении опытных ножей для рубильных машин Jens Hem 561 использованы заготовки из биметаллических материалов.

На стальную основу из стали 35 размером 7×60×110 мм приварен лист из инструментальной стали 9ХФ толщиной 1,5 мм с применением сварки взрывом (достаточно отработанной технологии для применения в практических целях).

Поверхность заготовки из стали 35 перед сваркой защищалась абразивным кругом. После сварки из заготовки вырезались образцы и изготавливались микрошлифы. На рис. 1 показан микрошлиф сварного соединения при 100- и 500-кратном увеличении до и после термической обработки.

На микрошлифах четко видна граница соединения без видимых дефектов. В пришовных зонах как углеродистой, так и легированной стали металл имеет более мелкозернистое строение. Зерна вытянуты вдоль шва, в направлении течения металла, по мере удаления от зоны шва размер зерен увеличивается и зерна приобретают округлое сечение. По строению шва можно сделать вывод, что максимальная степень деформации металла наблюдается в зоне шва.

Термообработка состояла из нагрева образца в муфельной печи до температуры 850°C с последующим охлаждением в масле. Твердость основы из стали 35 составила HRC = 1–2, твердость приваренной пластины из стали 9ХФ составила HRC = 54–56. После травления реактивом (4% азотной кислоты в спирте) непосредственно зона шва обретает темный оттенок, что можно объяснить более низкой химической стойкостью металла в контактной зоне. По мере удаления от шва зернистость возрастает как для углеродистой стали, так и для легированной. Зерна ферритноперлитной смеси после закалки приобретают равноосное строение.

Комплект рубильных ножей, изготовленных по этой технологии, был поставлен на производственные испытания.

Особенности характера затупления рубильных ножей, изготавливаемых из биметаллических заготовок, по результатам проведенных испытаний приведены на рис. 2.

На рис. 2, а показана геометрия ножей до установки на рубильную машину. Зазор между лезвиями практически отсутствует. На рис. 2, б показан вид износа после переработки 40 м³ древесины. Величина зазора между лезвиями измерялись с помощью щупа. По длине лезвия размеры зазора разные и лежат в пределах 0,15–1,25 мм. Зазор образовался за счет пластической деформации режущего клина.

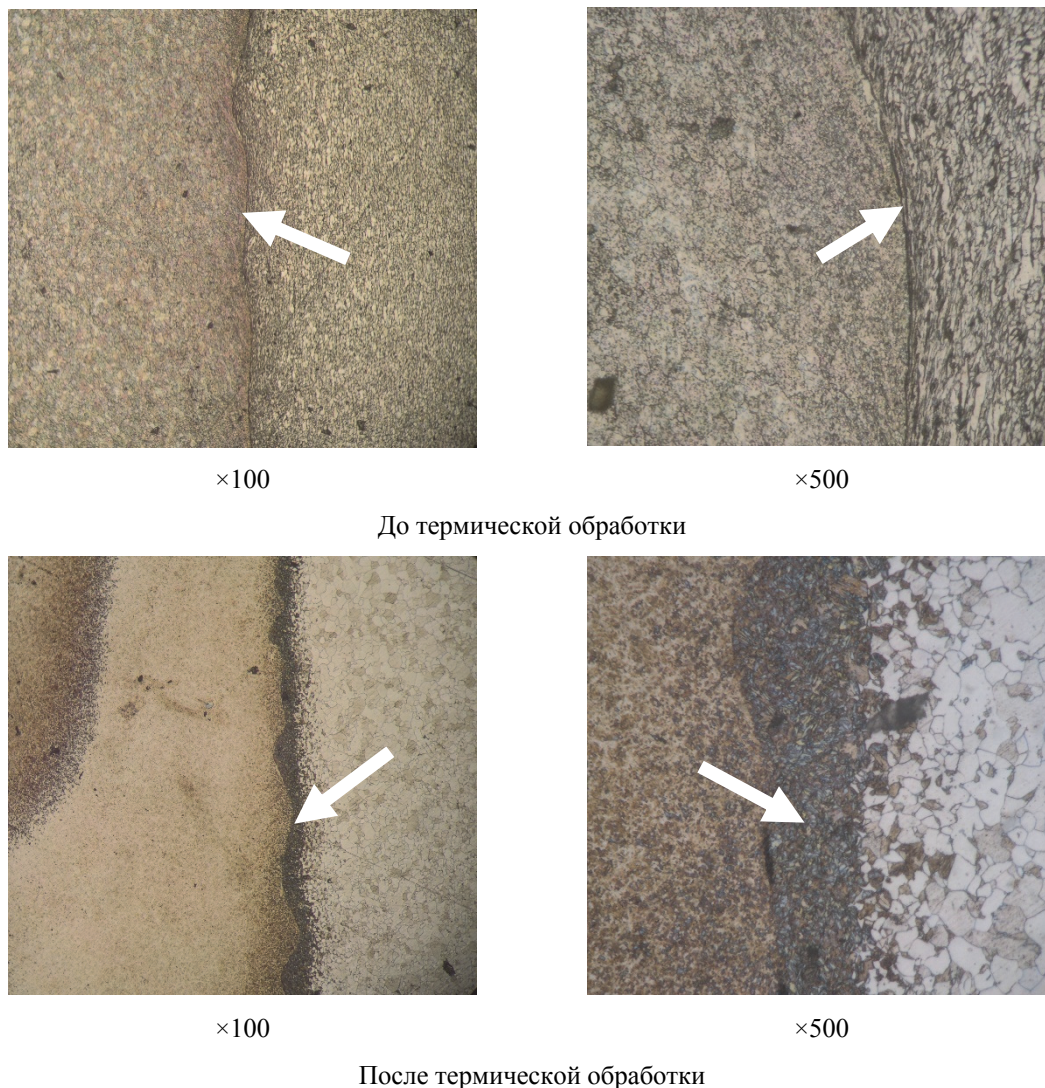


Рис. 1. Микроструктура сварного соединения

Изгиб передней поверхности режущего клина в направлении задней поверхности показан на рис. 2, в, похожие явления пластической

деформации режущей кромки приведены в работах [12–13]. На рис. 2, г приведен вид разрушения лезвия ножа со стороны передней поверхности.

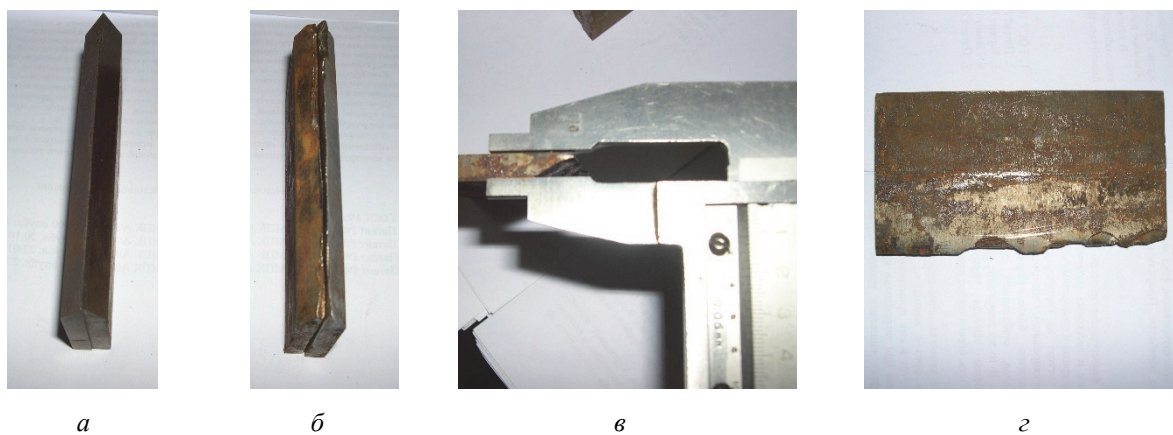


Рис. 2. Вид разрушения рубильных ножей из биметаллических заготовок (сталь 35 и 9ХФ):
 а – геометрия ножей до установки на рубильную машину; б – вид износа после переработки 40 м³ древесины;
 в – изгиб передней поверхности режущего клина в направлении задней поверхности;
 г – вид разрушения лезвия ножа со стороны передней поверхности

Видны макросколы приваренной пластины толщиной 1,5 мм из стали 9ХФ. На всех лезвиях ножей комплекта из 10 единиц видно, что механическому разрушению лезвия предшествовала пластическая деформация режущего клина. В этом случае подтверждается ранее сделанное заключение [14], что твердость стальной основы инструмента с упрочненной передней поверхностью с применением химико-термической обработки, нанесением упрочняющих покрытий (в нашем случае с применением биметаллических заготовок) должна сохраняться на уровне $HRC \approx 50$. Следовательно, режимы упрочняющих технологий должны назначаться с условием сохранения твердости основы на этом уровне. Только с учетом всех особенностей процесса резания можно добиться проектирования эффективного режущего инструмента [15–16].

Следует учитывать влияние на износостойкость инструмента величины и знака остаточных напряжений на инструменте. Остаточные напряжения образуются в процессе изготовления инструмента (первичные) и в процессе эксплуатации под воздействием усилия резания (вторичные). Установлено, что напряжение сжатия повышает износостойкость контактной поверхности, а растяжения – снижает ее [17].

При пластической деформации режущей кромки происходит образование растягивающих напряжений. По этой причине пластическая деформация режущей кромки тоже не желательна.

Наличие на передней поверхности инструмента с упрочненным покрытием твердого слоя приводит под действием растягивающих напряжений к образованию микротрещин с последующим скалыванием и удалением упрочненного слоя. Знак и величина остаточных напряжений для инструмента с упрочняющим покрытием приобретает особую актуальность с учетом свойств как инструментального материала, так и обрабатываемого.

По значению коэффициента соответствия для изготовления дереворежущего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок, перспективной является сталь 45Х2Н4МФ. Из этой стали изготовлен комплект опытных ножей для рубильных машин Jens Hem 561.

Термообработка проведена по режиму: нагрев до 850°C , выдержка и последующее охлаждение в масле. После закалки проведен отпуск при 180°C . Твердость ножей составила $HRC = 52–54$.

Производственные испытания проводились в Новогрудском лесхозе в осенний период 2018 г. Вид ножей после испытаний приведен на рис. 3.

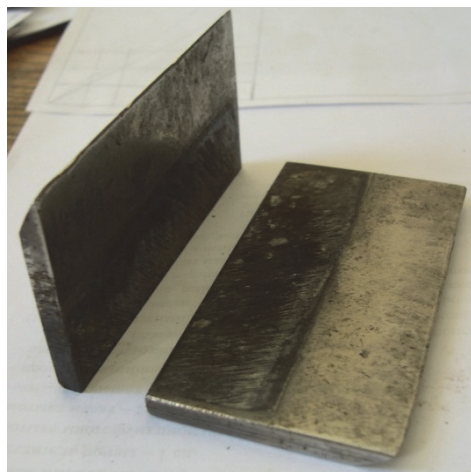


Рис. 3. Характер износа рубильных ножей из стали 45Х2Н4МФ

Наблюдается равномерный износ по всей длине лезвия. Выкрашивания, сколы отсутствуют на всех образцах. Объем переработанного сырья составил 3000 м^3 плотной древесины. Обычно стойкость рубильных ножей составляет $500–600 \text{ м}^3$ с последующим снятием на переточку. Такое различие объясняется не только свойствами инструментального материала, но и методикой эксплуатации. В процессе эксплуатации производилась периодическая подточка ножей по технологии, принятой в лесхозе. Правка осуществлялась пневмоболгаркой без снятия ножей с рубильного агрегата лепестковым абразивным кругом. После этой операции эксплуатация ножей продолжалась. Правка ножей проводилась периодически, в зависимости от вида перерабатываемого сырья.

После переточки суммарный объем переработанной древесины одним комплектом инструмента составил 6000 м^3 плотной древесины. При такой технологии эксплуатации ножей рубильных машин для заготовки щепы достигается существенная экономия топлива.

Выводы. При изготовлении дереворежущего инструмента с упрочненной передней поверхностью твердость основы должна сохраняться на уровне $HRC \approx 50$.

С учетом этого параметра необходимо разрабатывать режимы формирования упрочняющих покрытий.

Перспективным с целью удешевления технологии изготовления инструмента является применение биметаллических заготовок, получаемых с помощью технологии сварки взрывом. При этом необходимо соблюдать условие: обеспечение твердости не только передней поверхности инструмента, но и основы составного инструмента.

Лучшими эксплуатационными показателями из рассмотренных марок инструментальных

сталей обладает дереворежущий инструмент, изготовленный из стали 45X2H4MФ.

При эксплуатации рубильных ножей рекомендуется производить периодическую подточку ножей переносными заточными приспособлениями без снятия инструмента с рубильных агрегатов машин, это обеспечивает увеличение ресурса инструмента, существенную экономию топлива и увеличивает ресурс рубильной машины в целом.

собраниями без снятия инструмента с рубильных агрегатов машин, это обеспечивает увеличение ресурса инструмента, существенную экономию топлива и увеличивает ресурс рубильной машины в целом.

Литература

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Metallurgiya, 1978. 508 с.
2. Новиков И. И. Материаловедение: в 2 т. М.: Metallurgiya, 2009. Т. 1. 287 с.
3. Гуляев А. П. Metallovedenie. М.: Metallurgiya, 1977. 647 с.
4. Лахтин Ю. М. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka. М.: Metallurgiya, 1984. 359 с.
5. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты. М.: Выш. шк., 1971. 344 с.
6. Методика выбора марок инструментальных сталей для изготовления дереворежущего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок / С. И. Карпович [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). С. 342–347.
7. Марочник сталей и сплавов. М.: Mashinostroeniye, 1989. С. 339.
8. Режущий инструмент: пат. Респ. Беларусь, МПК С 23 С 28/00 / С. Д. Латушкина, Д. С. Карпович, О. И. Гапанович, А. Г. Жижченко, А. В. Емельянов, В. А. Емельянов, С. Ф. Сенько; заявитель Физико-технический ин-т НАН Беларуси, № u 20121066; заявл. 29.11.12; опубл. 30.06.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013. С. 3.
9. Шагун В. И. Режущий инструмент. Проектирование. Производство. Эксплуатация. Минск: Пион, 2002. 496 с.
10. Metallorezhuschie instrumenty / Г. Н. Сахаров [и др.]. М.: Mashinostroeniye, 1989. 328 с.
11. Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Жигало Н. И. Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск: Выш. шк., 1981. 560 с.
12. Моисеев А. В. Явления, сопровождающие износ дереворежущего инструмента // Совершенствование конструкции дереворежущих инструментов, методов их подготовки и эксплуатации. 1973. Вып. 7. С. 103–112.
13. Моисеев А. В. Комплексные исследования явлений, вызывающих износ дереворежущего инструмента // Механическая технология древесины. 1974. Вып. 4. С. 126–136.
14. Карпович С. С., Пискунова О. Ю., Карпович С. И. Рациональные схемы заточки лезвийного инструмента с упрочняющим покрытием // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 311–314.
15. Шагун В. И. Режущий инструмент. Основы теории проектирования. Минск: Дизайн ПРО, 1998. 112 с.
16. Васин С. А., Верещака А. С., Кушнер В. С. Резание материалов: термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. 448 с.
17. Остаточные напряжения / Ж. А. Мрочек [и др.]. Минск: Технопринт, 2003. 352 с.

References

1. Geller Yu. A. *Instrumentalnyie stali* [Instrumental steels]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 508 p.
2. Novikov I. I. *Materialovedenie* [Materials science]. Moscow, Metallurgiya Publ., 2009. Vol. 1, 287 p.
3. Gulyaev A. P. *Metallovedenie* [Metallography]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 647 p.
4. Lakhtin Yu. M. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka* [Metallurgy and heat treatment]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 359 p.
5. Grube A. E. *Derevorezhushchie instrumenty* [Wood-cutting tools]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 344 p.
6. Karpovich S. I., Grishkevich A. A., Karpovich S. S., Piskunova O. Yu. Methods of selecting tool steels for the manufacture of wood-cutting tools, working in conditions of shock loads. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Issue 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2017, no. 2 (198), pp. 342–347 (In Russian).
7. *Marochnik staley i splavov* [Database of steels and alloys]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1989, p. 339.
8. Latushkina S. D., Karpovich D. S., Gapanovich O. I., Zhizhchenko A. G., Emelyanov A. V., Emelyanov V. A., Senko S. F. *Rezhushchiy instrument* [Cutting tool]. Patent BY, no. 20121066, 2013.

9. Shagun V. I. *Rezhuschiy instrument. Proektirovanie. Proizvodstvo. Ekspluatatsiya* [Cutting tool. Design. Production. Exploitation]. Minsk, Pion Publ., 2002. 496 p.
10. Sakharov G. N., Arbuzov O. B., Borovoy Yu. L. et al. *Metallorazhuschie instrumenty* [Metal-cutting tools]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1989. 328 p.
11. Yashcheritsin P. I., Eremenko M. L., Zhigalo N. I. *Osnovy rezaniya materialov i rezhuschiy instrument* [Fundamentals of cutting materials and cutting tools]. Minsk, Vysheysheyshaya shkola Publ., 1981. 560 p.
12. Moiseev A. V. Phenomena accompanying the wear of wood-cutting tools. *Sovershenstvovanie konstruksii derevorezhuschiikh instrumentov, metodov ikh podgotovki i ekspluatatsii* [Improving the design of woodworking tools, methods of their preparation and operation], 1973, no. 7, pp. 103–112 (In Russian).
13. Moiseev A. V. Complex investigations of phenomena causing wear of wood-cutting tools. *Mehanicheskaya tehnologiya drevesiny* [Mechanical wood technology], 1974, no. 4, pp. 126–136 (In Russian).
14. Karpovich S. S., Piskunova O. Yu., Karpovich S. I. Rational schemes for sharpening a blade tool with hardening coating. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 311–314 (In Russian).
15. Shagun V. I. *Rezhuschiy instrument. Osnovy teorii proektirovaniya* [Cutting tool. Fundamentals of the theory of design]. Minsk, Dizayn PRO Publ., 1998. 112 p.
16. Vasin S. A., Vereshchaka A. S., Kushner V. S. *Rezanie materialov: termomekhanicheskiy podhod k sisteme vzaimosvyazey pri rezanii* [Cutting materials: a thermomechanical approach to the system of interconnections during cutting]. Moscow, Izd-vo MGTU im. Baumana Publ., 2001. 448 p.
17. Mrochek J. A., Makarevich S. S., Kozhuro L. M., Pashkevich M. F., Il'yushchenko A. F. *Ostatnochnyye napryazheniya* [Residual stress]. Minsk, Tehnoprint Publ., 2003. 352 p.

Информация об авторах

Карпович Сергей Семенович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Новые материалы и технологии». Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ (220107, г. Минск, пр-т Партизанский, 77, Республика Беларусь).

Рапинчук Леонид Антонович – главный механик. ГЛХУ «Новогрудский лесхоз» (231400, г. Новогрудок, ул. Мицкевича, 45, Республика Беларусь).

Левитан Владислав Борисович – инженер-металлург. ЧУП «Сталекс» (220021, г. Минск, пер. Бехтерева, 10, Республика Беларусь). E-mail: vladmet@tut.by

Раковец Антон Сергеевич – аспирант кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonrakovez@mail.ru

Карпович Семен Иванович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: mitm@belstu.by

Information about the authors

Karpovich Sergey Semenovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department “New Materials and Technologies”. Belarusian National Technical University (77, Partizanskiy Ave., 220107, Minsk, Republic of Belarus).

Rapinchuk Leonid Antonovich – Chief Mechanic. SFE “Novogrudsky Forestry” (45, Mitskevicha str., 231400, Novogrudok, Republic of Belarus).

Levitan Vladislav Borisovich – metallurgical engineer. PUE “Staleks” (10, Bekhtereva lane, 220021, Minsk, Republic of Belarus) E-mail: vladmet@tut.by

Rakovets Anton Sergeevich – PhD student, the Department of Materials Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonrakovez@mail.ru

Karpovich Semen Ivanovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher, the Department of Materials Science and Engineering of Technical Systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: KarpovichSI@belstu.by

Поступила 10.03.2019