

УДК 537.525.7:621.762

С. С. Карпович¹, А. К. Марачковский², С. П. Анацко², С. И. Карпович³¹Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ
²Мозырский опытный лесхоз³Белорусский государственный технологический университет**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЗАТОЧКИ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Заточку инструмента можно производить на разных стадиях его затупления, при этом переменными параметрами являются объем снимаемого металла при заточке, время и стоимость операции, продолжительность эксплуатации инструмента и стоимость выпускаемой продукции. Нахождение оптимального соотношения между этими параметрами увеличивает эффективность технологического процесса механической обработки в целом. Расчетным путем установлено наличие прямопропорциональной связи между радиусом затупления лезвия и толщиной снимаемого слоя при заточке. При работе инструмента в зоне аварийного износа увеличение радиуса округления лезвия происходит по экспансивной зависимости, что вызывает к непропорционально большому объему снимаемого металла в процессе заточки. Это ведет не только к удорожанию технологии заточки, но и к снижению ресурса инструмента.

Работоспособность инструмента зависит и от качества рабочей поверхности рабочего клина, и применения упрочняющих технологий. Установлен характер изменения микротвердости и шероховатости на образцах марок инструментальных сталей в процессе ионно-плазменного азотирования.

Ключевые слова: лезвийный инструмент, заточка, износ, сталь.

S. S. Karpovich¹, A. K. Marachkovskiy², S. P. Anatsko², S. I. Karpovich³¹Institute for Advanced Studies and Retraining for New Areas of Engineering,
Technology and Economy BNTU²Mozyr Experimental Forestry³Belarusian State Technological University**OPTIMIZATION OF TECHNOLOGY
OF SHARPENING THE CUTTING EDGE OF THE TOOL**

The sharpening tool can be produced at different stages of his bluntness, while variables are the amount of metal when sharpening, time and cost of operation, duration of operation of the instrument and the cost of production. The optimal ratio between these parameters increases the efficiency of the process of mechanical processing in General. The settlement established by the presence of the directly proportional relationship between the radius of bluntness of the blade and the thickness of a removed layer for sharpening. When the tool in the area of emergency wear increasing the radius of rounding of the blade occurs on the expansive subject that leads to a disproportionately large amount of metal when sharpening. This not only leads to a rise in sharpening technology, but also to reduce resource tool.

The efficiency of the tool depends on the quality of the working surface of the working wedge and application hardening technologies. The nature of changes in the microhardness and roughness of the sample grades of tool steels in the process of ion-plasma nitriding.

Key words: edge tools, sharpening, wear, steel.

Введение. Режущий инструмент периодически подвергают заточке с целью восстановления его начальной геометрии, а следовательно, работоспособности. Качество заточки определяет эффективность дальнейшей эксплуатации инструмента. Есть еще один фактор, который влияет как на стоимость операции заточки, так и на потенциальной ресурс инструмента. Этим параметром является удаляемый объем инструментального материала при заточке: чем он меньше, тем меньше затрачивается времени на выполнение операции и уменьшается ее стоимость. Минимальный объем снимаемого металла при заточке увеличивает расчетный

ресурс инструмента. Установление оптимальных параметров между величиной затупления и ресурсом инструмента имеет прикладное значение и влияет на снижение стоимости изготавливаемой продукции, что определяет ее конкурентоспособность на рынках сбыта.

Основная часть. Схемы износа лезвия инструмента зависят от многих факторов, внешне проявляются как микровыкрашивание лезвия и округление режущей кромки. Для дереворежущего стального инструмента вторая схема затупления наиболее характерна [1, 2]. Схематично форма затупления с округлением лезвия приведена на рис. 1.

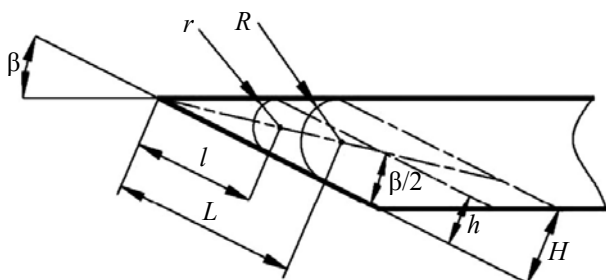


Рис. 1. Расчет влияния радиуса округления лезвия на толщину снимаемого слоя при заточке

Здесь r – начальный радиус округления лезвия; R – радиус округления после затупления; l – расстояние от геометрической вершины лезвия до центра радиуса округления r ; L – расстояние от геометрической вершины лезвия до центра радиуса округления R ; h – толщина снимаемого слоя металла при затуплении радиусом r ; H – толщина снимаемого слоя металла при затуплении радиусом R ; β – угол заострения инструмента.

Проведем расчет влияния размеров радиуса округления лезвия на толщину снимаемого слоя для восстановления первоначальных угловых параметров инструмента.

Расстояние от вершины угла заточки до оси округления лезвия при радиусе округления r равняется l , а при радиусе R составляет L , что соответствует

$$l = \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}, \quad L = \frac{R}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}.$$

Синус угла заточки β соответственно

$$\sin \beta = \frac{h}{l} = \frac{h \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{r} \quad \text{и} \quad \sin \beta = \frac{H}{L} = \frac{H \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{R}.$$

В этих условиях толщина снимаемого слоя при заточке

$$h = \frac{r \sin \beta}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \quad \text{и} \quad H = \frac{R \sin \beta}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}.$$

Из этих соотношений определяются радиусы округления лезвия.

Соотношение радиусов округления лезвия с необходимой толщиной снимаемого слоя для восстановления первоначальной формы лезвия составляет

$$\frac{r}{R} = \frac{r \sin \beta \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} R \sin \frac{\beta}{2}} = \frac{h}{H}.$$

Приведенная зависимость логично указывает на наличие прямопропорциональной связи между радиусом затупления лезвия и толщиной снимаемого слоя при заточке для восстановления начальной геометрии рабочей зоны инструмента. При увеличении радиуса округления лезвия в два раза необходимо при передней заточке удалить в два раза больший объем металла. При этом нужно учитывать, что известная классическая зависимость величины затупления лезвийного инструмента состоит из трех зон – приработки, зоны нормального, монотонного износа и зоны ускоренного аварийного износа (рис. 2). В процессе износа инструмента образуются объемы переработанного сырья, где V_1 – объем переработанного сырья в зоне приработки; V_2 – объем переработанного сырья в зоне нормального износа; V_3 – объем переработанного сырья в зоне аварийного износа.

Если сопоставить в масштабе величины переработанного сырья до начала аварийного износа инструмента получим $V_1 + V_2 = 7 + 33 = 40$ условных единиц, при работе в аварийной зоне $V_3 = 10$ условных единиц. При этом радиус округления лезвия в начальной точке нормального износа – $R_1 = 10$ условных единиц, в конце зоны нормального износа $R_2 = 25$ условных единиц. Процентное увеличение радиуса округления составляет

$$\Delta R = \frac{25 - 10}{10} 100 = 250\%.$$

При работе в зоне аварийного износа это соотношение будет равняться

$$\Delta R = \frac{35 - 25}{25} 100 = 40\%.$$

Отношение величины затупления лезвия к объему переработанного сырья до зоны аварийного износа равняется

$$\Delta V_2 = \frac{40}{250} = 1,6.$$

В условиях аварийного износа отношение величины затупления лезвия к объему переработанного сырья соответственно

$$\Delta V_3 = \frac{10}{40} = 0,25.$$

Различие в интенсивности затупления инструмента в зоне аварийного износа составляет

$$\frac{\Delta V_2}{\Delta V_3} = 6,4.$$

Это указывает, что на одну единицу объема переработанного сырья в зоне аварийного из-

носа интенсивность затупления лезвия увеличивается больше чем в 6 раз.

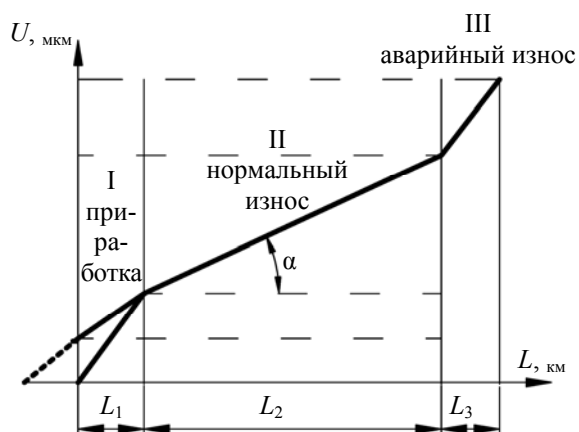


Рис. 2. Износ режущего инструмента

На рис. 2 длина пути резания L_1 соответствует зоне начального износа; L_2 – зоне нормального износа; L_3 – зоне аварийного износа. Затупление инструмента в зоне аварийного износа происходит по экспансивной зависимости, т. е. при небольшом объеме переработанного сырья затупление инструмента осуществляется в ускоренном режиме, что, в свою очередь, при последующей заточке требует снятия непропорционально большего объема металла, а это удорожает технологию заточки инструмента. Потенциальный ресурс инструмента в зоне аварийного износа, определяемый количеством заточек, в этом случае значительно снижается. Помимо этого негативного фактора, затупление инструмента влечет к увеличению энергоемкости процесса резания затупившимся инструментом, увеличению силовых параметров воздействия на рабочие агрегаты, возрастает уровень вибрации и уменьшаются сроки эксплуатации оборудования в целом [3, 4].

Представляется целесообразным прекращать эксплуатацию ножей рубильных машин до начала аварийного износа инструмента [5]. По нашим наблюдениям, это соответствует объему переработанной древесины при заготовке щепы до 400 м^3 , после чего ножи должны сниматься с эксплуатации и направляться на заточку вне зависимости от степени затупления. Для непрерывного цикла работы требуется три комплекта инструмента. При этом снижение расчетного годового потребления инструмента следует ожидать в 1,5–1,6 раза, снижаются энергозатраты при производстве щепы и следует ожидать продления срока эксплуатации оборудования. При такой схеме эксплуатации инструмента возрастает количество переточек, но эти затраты компенсируются суммарными преимуществами предлагаемой технологии.

Обеспечение необходимого качества инструмента и сохранение его рабочих показателей в процессе эксплуатации во многом зависят от качества поверхностей в зоне лезвия [6, 7].

Одним из путей улучшения эксплуатационных показателей лезвийного инструмента является технология формирования на рабочих поверхностях изделий упрочняющих покрытий [8]. Одной из таких технологий является азотирование [9]. Азотирование, помимо увеличения твердости и износостойкости, существенно повышает коррозионную стойкость обработанных изделий. Технология азотирования имеет еще одно преимущество – позволяет осуществлять замену высоколегированных сталей на более дешевые, средне- и низколегированные с сохранением высоких эксплуатационных показателей деталей, инструмента [10, 11].

Для определения эффективности азотирования на дереворежущем инструменте были изготовлены 5 комплектов ножей из стали 9ХС [12] для оцилиндровки бревен. Из этих сталей были сделаны образцы, проведена их термическая обработка, включая низкий отпуск. Твердость образцов составила $\text{HRC} \approx 58$. Измерение твердости проводили на твердомере DuraJet 10 (Австрия) и микротвердомере Duramin (фирма Struers, Дания). Шероховатость поверхности измерялась на профилографе-профилометре SurfTest SJ-210 (фирма Mitutoyo, Япония). Аналогичные измерения на тех же образцах были проведены после ионно-плазменного азотирования на режимах: $T = 385^\circ\text{C}$, $P = 260 \text{ Па}$, подача азота – 33 л/ч, водорода – 5 л/ч, время азотирования – 12 ч. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Твердость и шероховатость образцов из стали 9ХС до и после ионно-плазменного азотирования

№ партии	До азотирования			
	HRC	HV ₂₅	Ra вдоль	Ra поперек
1	58,5	782	0,22	0,42
2	58,2	818	0,31	0,39
3	58,4	837	0,3	0,44
№ партии	После азотирования			
1	57	1036	0,19	0,31
2	57,3	1048	0,21	0,33
3	57	1100	0,21	0,33
№ партии	Изменение, %			
1	–	32	13	26
2	–	28	32	15
3	–	31	30	25

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы.

Твердость образцов после азотирования по Роквеллу уменьшилась в среднем на $HRC \approx 1$, что составляет 1,7%. Поверхностная твердость по Виккерсу возросла до $HV_{25} \approx 230$, что составляет увеличение на $\approx 30\%$.

Шероховатость поверхности образцов вдоль следов шлифования меньше в сравнении с поперечным направлением как до, так и после азотирования, в среднем на $Ra \approx 0,1$.

Азотирование снижает шероховатость в продольном направлении на $Ra \approx 0,11$, в поперечном на $Ra \approx 0,13$, что в процентном отношении составляет уменьшение шероховатости в среднем на 23%.

Аналогичные измерения после ионно-плазменного азотирования на тех же режимах проведены на рубильных ножах производства Германии из стали следующего химического состава $C = 0,9\%$, $Cr = 7,8\%$, $Si = 0,76\%$, данные измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Твердость и шероховатость образцов из стали производства Германии до и после ионно-плазменного азотирования

№ партии	До азотирования			
	HRC	HV ₂₅	Ra вдоль	Ra поперек
1	57	819	0,28	0,38
2	552	690	0,32	0,37
3	56	793	0,34	0,34
№ партии	После азотирования			
	HRC	HV ₂₅	Ra вдоль	Ra поперек
1	58	965	0,44	0,40
2	55	846	0,48	0,47
3	57	1025	0,49	0,45
№ партии	Изменение, %			
	HRC	HV ₂₅	Ra вдоль	Ra поперек
1	–	18	60	5
2	–	23	50	30
3	–	29	44	32

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы.

После ионно-плазменного азотирования твердость металла основы сохранилась на том же уровне. Микротвердость поверхности HV_{25} возросла в среднем на 23%. Шероховатость поверхности образцов увеличилась в двух взаимно перпендикулярных направлениях в пределах 22–51%.

Существенным отличием при ионно-плазменном азотировании второй партии образцов было увеличение их шероховатости, а тенденция увеличения поверхностной микротвердости сохраняется. При тех же режимах азотирования единственным отличием было применение образцов из другой марки стали с содержанием хрома 8%, такие стали относят к классу полу-

тепlostойких. Возможно, это является причиной увеличения шероховатости поверхности образцов. Вопрос влияния тепlostойкости сталей при азотировании на изменение шероховатости требует дальнейшего изучения.

Аналогичные измерения после ионно-плазменного азотирования на тех же режимах проведены на образцах из стали X12MФ, данные измерений приведены в табл. 3.

Таблица 3

Твердость и шероховатость образцов из стали X12MФ до и после ионно-плазменного азотирования

№ партии	До азотирования			
	HRC	HV ₂₅	Ra вдоль	Ra поперек
1	55	809	0,295	0,348
2	53	738	0,206	0,394
3	56	914	0,204	0,311
4	56	837	0,260	0,350
5	54	861	0,307	0,394
6	56	880	0,156	0,390
№ партии	После азотирования			
	HRC	HV ₂₅	Ra вдоль	Ra поперек
1	54,2	1058	0,330	0,407
2	52,1	1079	0,213	0,435
3	54,5	1162	0,231	0,341
4	54,6	1123	0,300	0,386
5	52,5	1230	0,338	0,507
6	55,3	1148	0,185	0,444
№ партии	Изменение, %			
	HRC	HV ₂₅	Ra вдоль	Ra поперек
1	–	30	10	17
2	–	46	16	13
3	–	27	13	9,6
4	–	34	15	10
5	–	42	10	28
6	–	30	18,5	10

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы.

Твердость образцов из стали X12MФ после ионно-плазменного азотирования, проведенного на тех же режимах, что и на предыдущих партиях, сохраняет тенденцию к небольшому снижению в среднем с $HRC = 55$ до $HRC = 53,8$. Микротвердость поверхности увеличилась HV_{25} в пределах 27–46%. Шероховатость поверхности измерялась в двух взаимно перпендикулярных направлениях – вдоль и поперек корпуса. Величина шероховатости увеличилась в пределах 10–18,5% и 10–28%.

При разработке технологии изготовления инструмента необходимо учитывать свойства инструментального материала [13, 14], особенности обрабатываемого материала [15], технологию проектирования и изготовления инструмента [16], что в совокупности обеспечивает

работоспособность и конкурентоспособность инструмента.

Заключение. Даже кратковременная работа инструмента в зоне аварийного износа не рекомендуется. Эксплуатация инструмента в этой зоне ведет к перерасходу инструментального материала в процессе заточки, увеличению энергозатрат на производство единицы

выпускаемой продукции и в совокупности к увеличению ее стоимости. Работоспособность режущего инструмента определяется не только свойствами инструментального материала, но физико-механическими свойствами поверхностного слоя, в первую очередь, твердостью, шероховатостью, антифрикционными и коррозионными свойствами.

Литература

1. Моисеев А. В. Явления, сопровождающие износ дереворежущего инструмента // Совершенствование конструкции дереворежущих инструментов, методов их подготовки и эксплуатации. 1973. Вып. 7. С. 103–112.
2. Бершадский А. Л., Цветкова Н. И. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 303 с.
3. Карпович С. С., Пискунова О. Ю., Карпович С. И. Рациональные схемы заточки лезвийного инструмента с упрочняющим покрытием // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 311–314.
4. Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Жигало Н. И. Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск: Выш. шк., 1981. 560 с.
5. Моисеев А. В. Комплексные исследования явлений, вызывающих износ дереворежущего инструмента // Механическая технология древесины. 1974. Вып. 4. С. 126–136.
6. Ульянов А. А. Оптимизация поверхностных слоев инструментальных сталей для повышения износостойкости дереворежущих элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / А. А. Ульянов, Брянск: Брянский гос. инж.-технол. акад., 2001. 151 с.
7. 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.
8. Вершина А. К., Агеев В. А. Ионно-плазменные защитно-декоративные покрытия. Гомель: ИММС НАН Беларуси. С. 65–71.
9. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка. М.: Металлургия, 1984. 359 с.
10. Новиков И. И. Металловедение: в 2 т. М.: Металлургия, 2009. 287 с.
11. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 647 с.
12. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1989. С. 339.
13. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1978. 508 с.
14. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты. М.: Высш. шк., 1971. 344 с.
15. Морозов В. Г. Справочник. Дереворежущий инструмент. М.: Лесная пром-сть, 1988. 339 с.
16. Шагун В. И. Режущий инструмент. Проектирование. Производство. Эксплуатация. Минск: НПО «Пион», 2002. 496 с.

References

1. Moiseev A. V. [Phenomena accompanying the wear of the cutting tool]. *Sovershenstvovaniye konstruktsii derevorezhushchikh instrumentov, metodov ikh podgotovki i ekspluatatsii* [Improving the design of woodcutting tools, methods of their preparation and operation], 1973, no. 7, pp. 103–112 (In Russian).
2. Bershadskiy A. L., Tsvetkova N. I. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1975. 303 p.
3. Karpovich S. S., Piskunova O. Yu., Karpovich S. I. A rational scheme for sharpening the cutting edge of the tool with a reinforcing coating. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 311–314 (In Russian).
4. Yashcheritsyn P. I., Eremenko M. L., Zhigalo N. I. *Osnovy rezaniya materialov i rezhushchiy instrument* [The basics of cutting materials and cutting tools]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1981. 560 p.
5. Moiseev A. V. A comprehensive study of the phenomena of wear of wood cutting tool. *Mekhanicheskaya tekhnologiya drevesiny* [Mechanical technology of wood], 1974, no. 4, pp. 126–136 (In Russian).
6. Ul'yanov A. A. *Optimizatsiya poverkhnostnykh sloeyv instrumental'nykh staley dlya povysheniya iznosostoykosti derevorezhushchikh elementov. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Optimizatsiya poverkhnostnykh sloev instrumental'nykh staley dlya povysheniya iznosostoykosti derevorezhushchikh elementov. Abstract of thesis cand. of techn. sci. Abstract of thesis kand. techn. nauk]. Bryansk, 2001. 151 p.

7. Latushkina S. D., Karpovich D. S., Gapanovich O. I., Zhizhchenko A. G., Emel'yanov A. V., Emel'yanov V. A., Sen'ko S. F. *Rezhushchiy instrument* [Cutting tool]. Patent BY, no. 20121066, 2013.
8. Vershina A. K., Ageev V. A. *Ionno-plazmennyye zashchitno-dekorativnyye pokrytiya* [Ion-plasma protective-decorative coatings]. Gomel', IMMS NAN Belarusi Publ., pp. 65–71.
9. Lakhtin Yu. M. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka* [Metal science and heat treatment]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 359 p.
10. Novikov I. I. *Materialovedeniye* [Materials science]. Moscow, Metallurgiya Publ., 2009. 287 p.
11. Gulyaev A. P. *Metallovedeniye* [Metal science]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 647 p.
12. *Marochnik staley i splavov* [Marochnik steels and alloys]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1989. 339 p.
13. Geller Yu. A. *Instrumental'nyye stali* [Tool steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 508 p.
14. Grube A. E. *Derevorezhushchiye instrumenty* [Woodcutting tools]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 1971. 344 p.
15. Morozov V. G. *Spravochnik. Derevorezhushchiy instrument* [Reference. Wood cutting tool]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1988. 339 p.
16. Shagun V. I. *Rezhushchiy instrument. Proyektirovaniye. Proizvodstvo. Eksploatatsiya* [Cutting tool. Design. Production. Operation]. Minsk, NPOO "Pion" Publ., 2002, 496 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). E-mail: KarpovichSI@belstu.by

Марачковский Андрей Константинович – директор. Мозырский опытный лесхоз (247760, г. Мозырь, ул. Интернациональная, 168, Республика Беларусь). E-mail: mozles@mail.ru

Анашко Сергей Петрович – главный механик. Мозырский опытный лесхоз (247760, г. Мозырь, ул. Интернациональная, 168, Республика Беларусь). E-mail: mozles@mail.ru

Карпович Семен Иванович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры материаловедения и технологии металлов. 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. Institute for Advanced Studies and Retraining for New Areas of Engineering, Technology and Economy BNTU (77, Partizanskiy Ave., 220107, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: KarpovichSI@belstu.by

Marachkovskiy Andrey Konstantinovich – Director. Mozyr Experimental Forestry (168, Internatsional'naya str., 247760, Mozyr', Republic of Belarus). E-mail: mozles@mail.ru

Anatsko Sergey Petrovich – Chief mechanic. Mozyr' Experimental Forestry (168, Internatsional'naya str., 247760, Mozyr', Republic of Belarus). E-mail: mozles@mail.ru

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

Поступила 20.04.2017