

УДК 621.9; 674.05

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОВЕДЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИМ ТЕХНОЛОГИЯМ

¹А.М. Милюкова, ¹Н.В. Бурносков, ²В.В. Цуран

¹Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Учреждение образования «Барановичский государственный университет», г. Барановичи, Беларусь

Рубильные ножи подвергаются большим ударным нагрузкам и поэтому должны обладать оптимальным сочетанием твердости и вязкости. В качестве базовых выбраны марки сталей 6ХВ2С и У8А, которые в результате ранее проведенных исследований структуры и механических свойств различных легированных сталей показали наилучшие результаты. Были изготовлены опытные партии рубильных ножей для проведения производственных испытаний. Результаты проведения производственных испытаний рубильных ножей на ОАО «Минскдрев» позволяют рекомендовать их к промышленному использованию на соответствующих деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь.

Chipping knives are subject to greater impact and therefore should have the optimum combination of hardness and toughness. As a base selected steels and 6HV2S U8A that as a result of previous studies of the structure and mechanical properties of various alloy steels, showed the best results. Were make experimental batches chipper knives for production testing. The results of the testing of chipper knives at JSC "Minskdrrev" made of steel and 6HV2S U8A allow them to recommend to the industrial use of wood on the relevant enterprises of the Republic of Belarus.

Введение

Организация производства отечественных ножей для рубки щепы на соответствующих предприятиях Республики Беларусь имеет большое практическое значение для деревообрабатывающей промышленности, так как в настоящее время почти вся номенклатура используемых ножей для импортных рубильных машин приобретается за рубежом, на что тратятся крупные суммы валютных средств.

В Физико-техническом институте НАН Беларуси и Барановичском государственном университете разработаны прогрессивные импортозамещающие технологические процессы изготовления ножей для рубки технологической щепы, применяемой в гидролизно-целлюлозно-бумажном и мебельном производстве.

Одним из препятствий для организации производства рубильных ножей на белорусских предприятиях является отсутствие необходимых знаний и опыта для проведения качественной термической (ТО) или термомеханической обработки (ТМО) легированных инструментальных сталей, обеспечивающей необходимые эксплуатационные свойства изделий (высокие показатели твердости, ударной вязкости, периода стойкости и др.). В связи с этим производителям технологической щепы приходится приобретать импортные ножи за рубежом.

Для разработки технологий изготовления рубильных ножей были исследованы образцы импортных ножей с целью определения химического состава материала, из которого они изготовлены, структуры, механических свойств изделий. Осуществлен выбор наиболее доступных анало-

гичных марок сталей, а затем разработаны эффективные режимы ТО и ТМО, обеспечивающие заданные эксплуатационные характеристики ножей.

Исследования влияния режимов термической и термомеханической обработки на механические свойства и структуру образцов из различных марок сталей

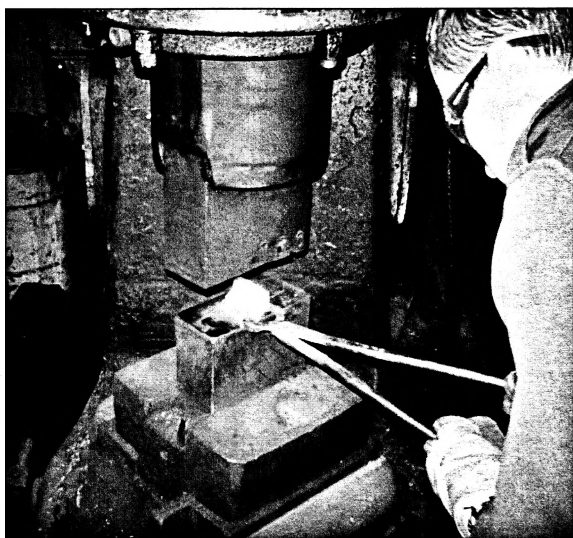
При ТМО стали повышение прочности объясняется тем, что в результате деформации аустенита происходит дробление его зерен. При последующей закалке из такого аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, что положительно сказывается на пластических свойствах и вязкости стали.

Целью данной работы было определение наиболее подходящих марок сталей для изготовления отечественных рубильных ножей с использованием метода ТМО. Использовались образцы из следующих марок сталей, которые по химическому составу и свойствам аналогичны импортным сталям [1]: X12MФ, У8А, 9ХС, ХВГ, 65С2ВА, 6ХВ2С.

При получении опытных образцов в данной работе применялись как ТО, так и ТМО. Опытные образцы изготавливались на оборудовании завода ОАО «БААЗ» г. Барановичи. Образцы исследуемых сталей подвергались нагреву выше точки С3, а именно: для X12MФ – 1030 °С; для У8А – 790 °С; для 9ХС – 870 °С; для ХВГ – 820 °С; для 65С2ВА – 850 °С, для 6ХВ2С – 850 °С, с последующей деформацией на молоте пневматическом ковочном модели МВ 412 (рис. 1) и охлаждением в масле марки И20А, или из воды на масло (сталь У8А) (табл. 1).

Далее заготовки подверглись низкотемпературному отпуску, а именно для X12MФ – 180 °С; для У8А – 150 °С; для 9ХС – 150 °С; для ХВГ – 150 °С; для 65С2ВА – 150 °С; 6ХВ2С – 150 °С, с выдержкой 150 мин. в печи шахтной отпускной термической ПН-32.

Для проведения сравнительных испытаний были изготовлены образцы из тех же марок сталей без использования ТМО. Они подвергались традиционным режимам термической обработки (табл. 1).



а



б

Рис. 1. Получение опытных образцов с применением термомеханической обработки:

а – процесс деформации заготовки на пневматическом ковочном молоте;

б – образец заготовки, полученной при ковке

Для проверки способности материала сопротивляться ударным нагрузкам и выявления склонности к хрупкому разрушению проводились испытания на ударную вязкость с использованием маятникового копра модели ИО 5003-0,3 с номинальным запасом энергии в 300 Н·м. (ЗАО «Атлант БСЗ» г. Барановичи). В табл. 2 представлены результаты проведенных испытаний.

При сравнении результатов испытаний, приведенных в табл. 2 можно сделать вывод, что для сталей, подвергнутых ТМО, ударная вязкость повышается в 1,7–2,0 раза, причем твердость при этом сохраняется, либо несущественно снижается на 1–3 единицы HRC по сравнению с образцами, подвергнутыми только термообработке (табл. 3).

Табл. 1

Режимы термической обработки образцов

У8А	ХВГ	9ХС	Х12МФ	65С2ВА	6ХВ2С
Закалка – оборудование СВС (соляная электрованна: кальций хлористый технический 43–47 % ГОСТ 450; соль поваренная 52–55 % ГОСТ 13830);					
790–800 °С	820–850 °С	850–880 °С	подогрев 650–700 °С закалка 1000–1030 °С	850–870 °С	850–880 °С
Нагрев и выдержка 5–8 мин					
Вода (из воды на масло)	масло	масло	масло	масло	масло
Отпуск ПН-32					
150 °С	150 °С	150 °С	180 °С	150 °С	150 °С
150 мин	150 мин	150 мин	150 мин	150 мин	150 мин

Табл. 2

Результаты испытаний образцов на ударную вязкость

№ образца	Марка стали	Работа, затрачиваемая на разрушение образца; Дж/см ²	
		после ТО	после ТМО
1	Х12МФ	10,5	16,5
2		12,8	19,9
1	У8А	6,0	12,9
2		8,5	10,7
1	9ХС	4,7	4,5
2		5,6	4,4
1	ХВГ	9,8	9,2
2		11,5	12,5
1	65С2ВА	12,6	27,3
2		14,8	17,4
1	6ХВ2С	13,2	23,8
2		15,1	28,4

Табл. 3

Результаты измерения твердости опытных образцов

Марка стали	Твердость образцов с применением ТО (HRC)	Твердость образцов с применением ТМО (HRC)
Х12МФ	57-59	56-57
У8А	58-60	56-59
9ХС	60-61	54-56
ХВГ	58-60	55-56
65С2ВА	58-60	56-58
6ХВ2С	58-60	55-57

Причина повышения ударной вязкости при ТМО заключается в том, что из деформированного аустенитного зерна образуется более мелкие пластины мартенсита. В какой-то степени на упрочнение влияет и то, что при деформации дробится блочная структура аустенита и углерод выделяется в виде дисперсных карбидов [1–3].

Во всех случаях ТМО эти превращения происходят вследствие деформации.

Из результатов проведенных исследований физико-механических свойств установлено, что наилучшие результаты показали образцы из сталей, подвергнутых ТМО, в частности – 65С2ВА (ударная вязкость 17,4–27,3 Дж/см², твердость

HRC 55–57), 6ХВ2С (ударная вязкость 23,8–28,4 Дж/см², твердость HRC 55–57).

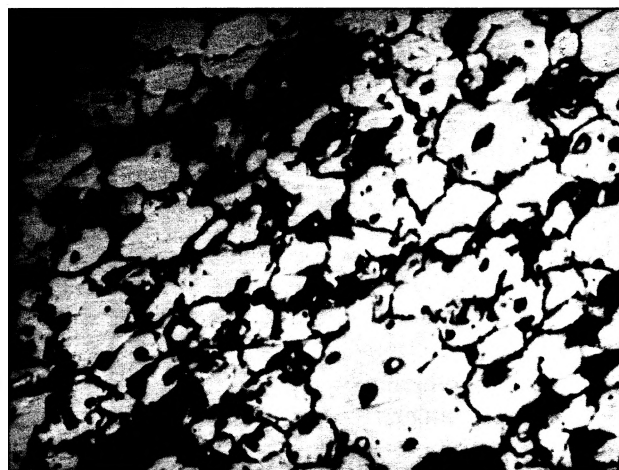
Проведены исследования микроструктур образцов исследуемых марок сталей. В качестве примера на рис. 2 приведены микроструктуры двух марок стали (из-за ограниченного объема статьи) после ТО и ТМО, из которых видно, что в результате ТМО структура приобретает более однородный мелкодисперсный характер.

Кроме испытаний на ударную вязкость были проведены испытания стальных образцов на растяжение и на трехточечный изгиб. В результате проведенных испытаний на растяжение [4], можно сделать вывод, что ТМО значительно повышает временное сопротивление σ_b и относительное удлинение образцов по сравнению с ТО. В некоторых образцах значение σ_b увеличилось до 2 раз. Однако, при максимальном увеличении вре-

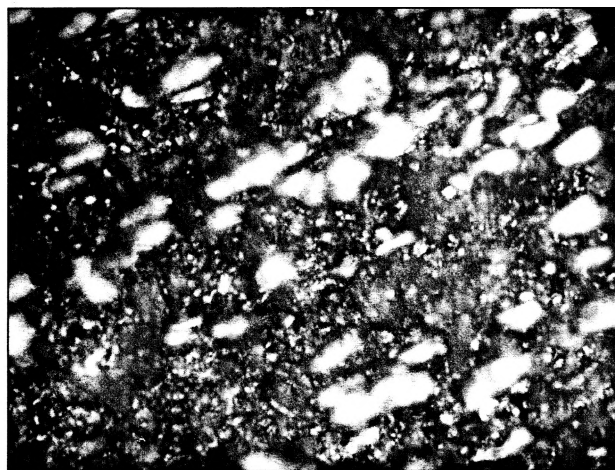
менного сопротивления (в 1,5–2 раза) разрушение имело хрупкий характер ($\delta < 1$). В то время как при увеличении значений σ_b в 1,3–1,5 раза разрыв носил более пластичный характер ($\delta = 6–8$). Для изготовления рубильных ножей этот параметр, характеризующий пластические свойства стали, является важным, т.к. обеспечивает прочность ножей в условиях ударных нагрузок. При слишком высокой твердости в лезвии ножа в процессе работы образуются микротрещины и сколы, что недопустимо.

Испытания на трехточечный изгиб [5] проводились в ГНУ «Институт порошковой металлургии» (г. Минск) на универсальной испытательной машине Н 150КУ.

Для определения упругих свойств испытываемых образцов и максимального прогиба, к образцам прикладывалась нагрузка до полного их разрушения.



а



б



в



z

Рис. 2. Микроструктура образцов стали, $\times 1000$:
а – X12MФ при ТМО, б – X12MФ при ТО, в – 65С2ВА при ТМО, z – 65С2ВА при ТО

На рис. 3 представлены графики зависимости прогиба от нагрузки при плавном нагружении образцов из сталей X12МФ, У8А, 9ХС, ХВГ, 65С2ВА, 6ХВ2С вплоть до разрушения.

При сравнении результатов испытаний, приведенных на графиках, можно сделать вывод, что наилучшие результаты показали марки сталей: У8А с пределом прочности при поперечном изгибе $\sigma_B^H = 2866,4\text{--}3238,1$ МПа и прогибом в интервале

0,57–1,18 мм; 65С2ВА с пределом прочности при поперечном изгибе $\sigma_B^H = 1725,2\text{--}2350,9$ МПа и прогибом в интервале 0,48–0,67 мм; 6ХВ2С с пределом прочности при поперечном изгибе $\sigma_B^H = 1959,9\text{--}2445,9$ МПа и прогибом в интервале 0,54–0,79 мм. Рубильные ножи подвергаются большим ударным нагрузкам и поэтому должны обладать оптимальными сочетанием твердости и вязкости.

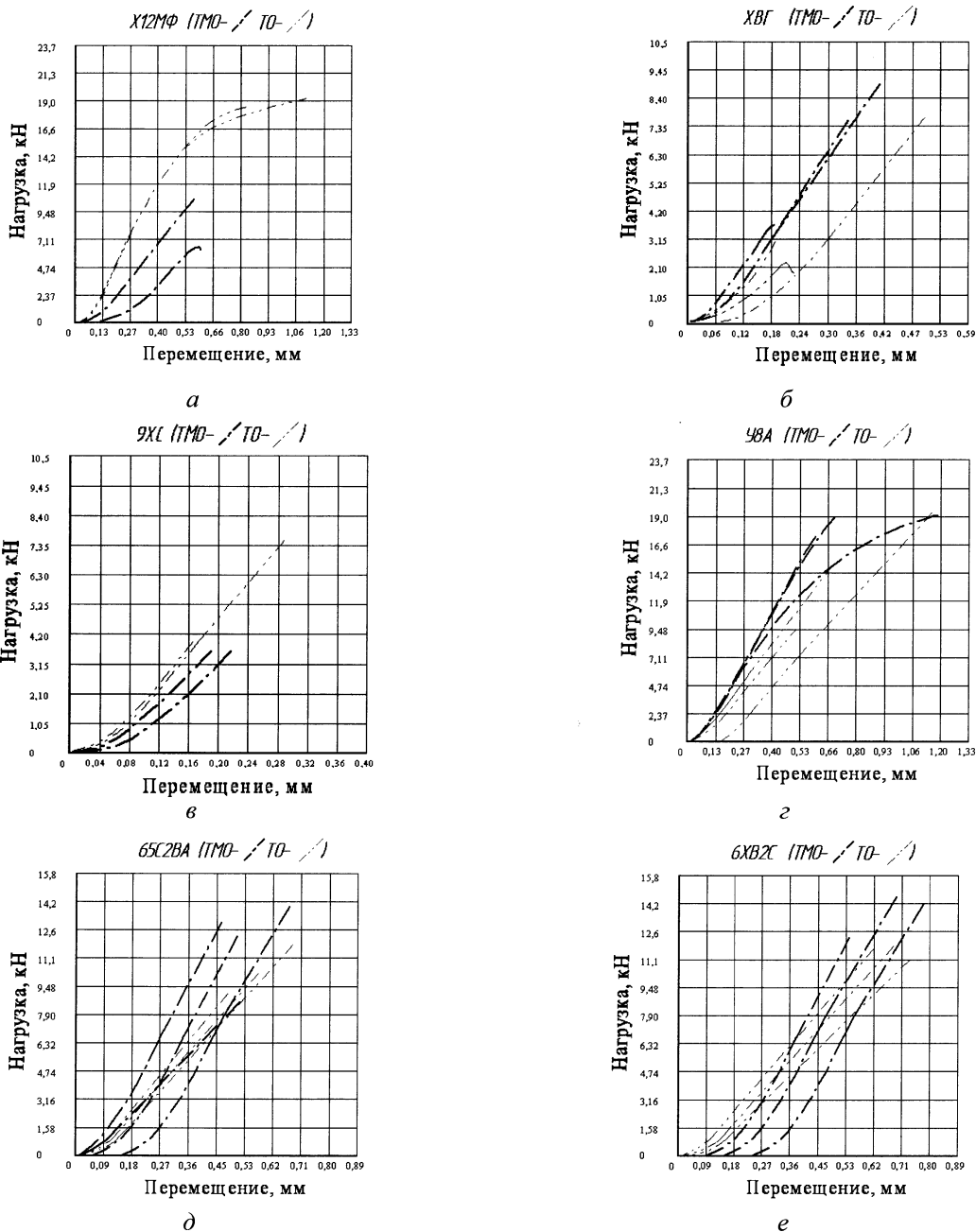


Рис. 3. Графики зависимости прогиба от нагрузки при плавном нагружении образца вплоть до разрушения: а — для стали X12МФ; б — для стали ХВГ; в — для стали 9ХС; г — для стали У8А; д — для стали 65С2ВА; е — для стали 6ХВ2С

Учитывая результаты всех проведенных исследований сталь 6ХВ2С и сталь У8А приняты в качестве базовых для изготовления опытных партий рубильных ножей.

Производственные испытания опытных партий рубильных ножей на ОАО «Минскдрев»

В соответствии с договором №2013/119 от 30.05.13г. с ОАО «Минскдрев» в октябре-ноябре 2014 года были проведены производственные испытания опытных партий рубильных ножей ФТИ5.001.1674 (рис. 4) на рубильной машине МРГ-20. Ножи были изготовлены на опытном производстве в Физико-техническом институте НАН Беларуси по разработанной конструкторской и технологической документации. Одна часть ножей была изготовлена из стали 6ХВ2С с применением обычной термообработки и низкотемпературного отпуска, другая часть ножей изготовлена из стали У8А с применением вышеприведенной термомеханической обработки.

В результате проведения испытаний установлено, что все ножи, изготовленные из стали 6ХВ2С с применением только термообработки, соответствуют требованиям производства и обеспечили получение технологической щепы необходимого качества. При этом период стойкости всех испытанных ножей составил не менее 440 мин, что выше установленного периода стойкости при переработке окоренной древесины хвойных пород без металлических и минеральных включений влажностью не ниже 50 % при температуре не ниже -10°C и составляющего 420 мин.

Рубка велась до затупления режущей кромки ножа. По мере затупления ножей весь комплект,

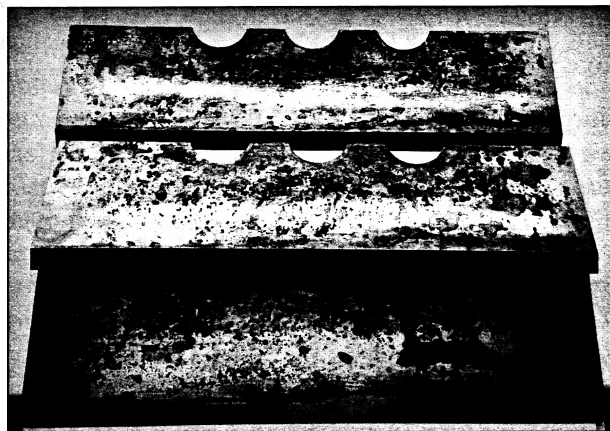


Рис. 4. Опытные образцы ножей ФТИ5.001.1674 для рубки щепы

установленный на конкретной рубильной машине, демонтировался и подвергался перезаточке. Все комплекты опытных партий ножей подвергались перезаточке не менее 5 раз. Результаты испытаний ножей заносились в протоколы и в акты испытаний.

Испытания ножей из стали У8А, подвергнутых ТМО, также показали высокие эксплуатационные характеристики (период стойкости до первой перезаточки составил не менее 440 мин, что соответствует периоду стойкости ножей из стали 6ХВ2С, изготовленных с применением ТО, и превышает установленный период стойкости (420 мин).

Полученные результаты испытаний рубильных ножей представляют большой практический интерес, так как стойкость ножей, изготовленных из относительно дешевой углеродистой стали У8А и подвергнутых ТМО, не уступают стойкости ножей из высоколегированной и более дорогой стали 6ХВ2С, подвергнутых обычной термообработке. Это открывает перспективу для значительной экономии средств, затрачиваемых на изготовление рубильных ножей.

Заключение

В результате проведенных исследований механических свойств установлено, что хотя твердость и является важнейшей характеристикой инструментальных сталей, не всегда следует добиваться ее очень высоких значений, поскольку при росте твердости зачастую снижаются прочность и вязкость металла. При определенных соотношениях вязкости и твердости предупреждается образование трещин и сколов (выкрашивание) значительно повышается период стойкости ножей. Стали, не обладающие достаточной вязкостью, нельзя использовать для изготовления инструмента, работающего при значительных динамических нагрузках (например, при рубке мерзлой древесины). В данной работе в качестве базовых были выбраны стали 6ХВ2С и У8А.

В связи с вышеуказанным, большое внимание уделялось определению механических свойств ножей, полученных с применением термической и термомеханической обработок. Исследовались механические свойства образцов (твердость, ударная вязкость, сопротивление изгибу) по стандартным методикам. Например, вязкость образцов ножей, полученных с применением ТМО (сталь 6ХВ2С), в пределах 23,8–28,4 Дж/см², а твердость – 55–57 HRC. Ударная вязкость в указанных пределах значительно выше рекомен-

дуемого нижнего предела 8 Дж/см², а твердость соответствует средней твердости импортных рубильных ножей. Однако, результаты испытаний на трехточечный изгиб исследуемых ножей по сравнению с образцами ножей, изготовленных с применением только термической обработки, показали увеличение прочности при поперечном изгибе в среднем на 20 %, что показывает эффективность воздействия упрочняющих технологий с применением ТМО на исследуемые рубильные ножи. Производственные испытания ножей, изготовленных из относительно дешевой стали У8А с применением ТМО, показали, что их стойкость соответствует стойкости ножей, изготовленных из дорогостоящей стали 6ХВ2С после традиционной ТО.

Повышение прочности стальных образцов после ТМО объясняется тем, что в результате деформации из деформированного аустенитного зерна образуются более мелкие пластинки мартенсита. Кроме того, при деформации дробится блочная структура аустенита и углерод выделяется в виде дисперсных карбидов. При ТМО образуется бо-

лее мелкодисперсная, однородная структура, чем при обычной термообработке.

В результате проведенных производственных испытаний установлено, что для изготовления высококачественных рубильных ножей, применяемых при производстве технологической древесной щепы, можно рекомендовать высоколегированную сталь 6ХВ2С с применением традиционной термообработки и низкотемпературного отпуска.

Большой практический интерес представляют результаты испытаний рубильных ножей, изготовленных из гораздо более дешевой углеродистой стали У8А с применением термомеханической обработки, которые показали стойкость, не уступающую ножам из стали 6ХВ2С.

По результатам проведенных испытаний все ножи, изготовленные по технологиям, разработанным в Физико-техническом институте НАН Беларуси и УО «БарГУ», могут быть рекомендованы для использования и на других деревообрабатывающих предприятиях республики, производящих технологическую щепу.

Список использованных источников

1. Рекомендации по выбору материалов для ножей рубильных машин / А.В. Алифанов [и др.] // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2014. – Вып.2 (166). – С. 185–187.
2. Алифанов, А.В. Влияние ТМО на механические свойства инструментальных сталей, применяемых при изготовлении ножей для рубки технологической щепы / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, В.В. Цуран // Литье и металлургия. – 2013. – №1(69). – С. 127–131.
3. Алифанов, А.В. Определение оптимальных режимов термической и термомеханической обработки рубильных ножей / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, В.В. Цуран // Вестник БарГУ. Сер. Технические науки – 2014. – Вып.2. – С. 17–22.
4. Алифанов, А.В. Сравнительный анализ механических характеристик сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей, получаемых термической и термомеханической обработок / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, В.В. Цуран // Литье и металлургия. – 2014. – № 4. – С. 74–80.
5. Алифанов, А.В. Исследование механических свойств легированных сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей, методом трехточечного изгиба / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, В.В. Цуран // Технологии, экономика и право: актуальные проблемы и инновации: сборник материалов международной научно-практической конф., Барановичи, 20 ноября 2014г. / редкол.: А.В. Никишова [и др.] – Барановичи: РИО БарГУ, 2014. – 199. – С. 91–95.