



УДК 674.05; 620.17

Поступила 11.11.2014

А. В. АЛИФАНОВ, УО «Барановичский государственный университет»,
А. М. МИЛЮКОВА, Физико-технический институт НАН Беларуси,
В. В. ЦУРАН, УО «Барановичский государственный университет»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТОК

В статье приведены результаты исследований химического состава рубильных ножей зарубежных и отечественных производителей. Приведены результаты механических испытаний образцов с определением временного сопротивления, относительного удлинения, предела прочности при поперечном изгибе, прогиба из различных инструментальных сталей, подвергнутых термической обработке (закалке) и термомеханической обработке с низким отпускком. Даны рекомендации по использованию ТО и ТМО для исследованных сталей.

Results of researches of chemical composition of chipping knives of foreign and domestic producers are given in the article. Results of mechanical tests of samples with determination of temporary resistance, percentage elongation, ultimate strength at cross bending, bend from the various tool steels, subjected to heat treatment (tempering) and thermomechanical processing with low tempering, are given. Recommendations on use of TO and TMO for investigated steels are given.

В Беларуси имеется достаточно много деревообрабатывающих предприятий, производящих технологическую щепу, применяемую в целлюлозном производстве, для изготовления древесностружечных плит, а также в качестве топливного материала. Все эти предприятия оснащены рубильными машинами иностранного производства, рубильные ножи для которых также приходится приобретать за рубежом, используя для этого немалые бюджетные средства. Правительство республики поставило перед учеными и специалистами задачу – разработать технологию и освоить производство рубильных ножей на отечественных предприятиях.

Для изготовления ножей с заданными эксплуатационными характеристиками нужно использовать высоколегированные стали и определенные режимы термической или термомеханической обработки, обеспечивающие в готовых изделиях мелкодисперсную, однородную структуру и необходимое соотношение аустенита, мартенсита и карбидных включений. Это необходимо для обеспечения высокой прочности ножей в условиях ударных нагрузок и, что очень важно, сохранения высокой остроты режущего лезвия ножа в процессе эксплу-

атации. Главным препятствием для организации производства рубильных ножей на белорусских предприятиях является отсутствие необходимых знаний и опыта для проведения качественной термо- или термомеханической обработки (ТМО) легированных инструментальных сталей, обеспечивающих необходимые эксплуатационные свойства изделий (высокие показатели твердости, ударной



Рис. 1. Рубильный нож фирмы PILANA

Т а б л и ц а 1. Химический состав рубильного ножа № 1 фирмы PИLANA

Массовая доля легирующих элементов, %								
C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Ti	Mo	V
0,61745	1,09696	0,47425	3,88599	0,098898	0,27891	0,05037	0,70439	0,39998

Т а б л и ц а 2. Химический состав рубильного ножа № 2 фирмы PESSA

Массовая доля легирующих элементов, %								
C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Ti	Mo	V
0,824	0,691	0,286	1,023	0,189	0,267	0,012	—	0,002

Т а б л и ц а 3. Химический состав рубильного ножа № 3 СпецПромИнструмент

Массовая доля легирующих элементов, %								
C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Ti	Mo	V
0,907	0,678	0,285	1,070	0,147	0,185	0,020	—	0,002

вязкости, периода стойкости и др.). В литературных и коммерческих источниках сведения о режимах ТМО, считающиеся «ноу-хау», не приводятся. В связи с этим производителям технологической щепы приходится приобретать ножи за рубежом.

В ходе проведения исследований были рассмотрены несколько импортных ножей. Проведя спектральный анализ образцов импортных ножей фирм PИLANA (рис. 1), PESSA, СпецПромИнструмент, были получены результаты, приведенные в табл. 1–3.

Приведенному в табл. 1 химическому составу наиболее соответствует сталь 4X5MΦC, поставляемая из России.

Согласно табл. 2, наиболее соответствует приведенному химическому составу сталь 7XΦ, также поставляемая из России.

В наибольшей степени соответствует приведенному химическому составу в табл. 3 сталь 55X7BCMΦ (Россия).

Опытный образец, изготовленный из рубильного ножа фирмы PИLANA (рис. 2), подвергали проверке на твердость в различных точках, а полученные шлифы изучали на микроскопе мод. MMP-4. Твердость ножа находилась в пределах 54–55 HRC. Измерения твердости других опытных образцов импортных ножей показали, что она также чаще всего находится в указанных выше пределах и одинакова как на всей поверхности ножа (режущая часть, крепежная), так и во всем его объеме. Современные ножи, которые в небольших количествах изготавливаются отечественными производителями, обычно имеют твердость 56–61 HRC. Это позволяет сделать предположение, что проводить термическую обработку рубильных ножей с достижением максимальной твердости нецелесообразно, так как это незначительно влияет на из-



Рис. 2. Опытный образец, изготовленный из рубильного ножа фирмы PИLANA

носостойкость, однако увеличивает вероятность появления сколов и микротрещин, что ведет к преждевременному разрушению ножа.

Одним из наиболее важных свойств сталей, применяемых при изготовлении рубильных ножей, является пластичность. Она характеризуется относительным удлинением и временным сопротивлением. Для определения этих параметров в данной работе были использованы стандартные образцы (рис. 3).

Образцы были изготовлены с применением термомеханической обработки (ТМО) на оборудовании завода ОАО «БААЗ» (г. Барановичи). Образцы исследуемых сталей подвергали нагреву выше точки A_{c3} : для X12MΦ – 1070 °C; для У8А – 780; для 9XC – 870; для ХВГ – 850; для 65C2BA и 6XB2C – 820 °C, с последующей деформацией на молоте пневматическом ковочном мод. MB 412 и охлаждением в масле И20А. Далее заготовки подвергали низкотемпературному отпуску: для X12MΦ – 180 °C; для У8А – 150; для 9X, ХВГ, 65C2BA, 6XB2C – 150 °C с выдержкой 150 мин в печи шахтной отпускной термической ПН–32 [1]. Результаты испытаний образцов на разрыв приведены в табл. 4. Также были изготовлены образцы из сталей с традиционной ТО и испытаны на разрыв (табл. 5). Испытания проводили на разрывной машине с усилием 8 т. Машина для испытаний снабжена устройством, записывающим диаграмму растяжения.

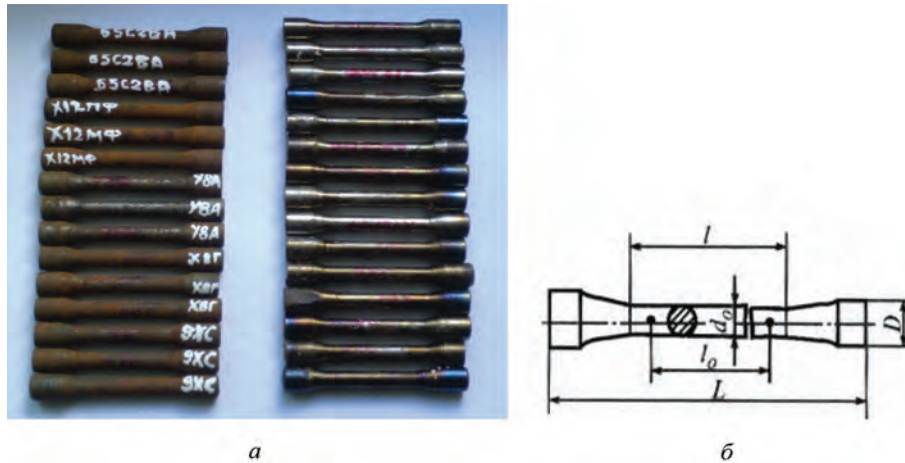


Рис. 3. Опытные образцы для испытаний на разрыв: а – общий вид опытных образцов; б – схематическое изображение готового образца

Значения временного сопротивления σ_b и относительного удлинения δ образцов после их ТМО и ТО (закалки) приведены в табл. 4, 5.

Кроме испытаний на разрыв, в данной работе были проведены испытания на трехточечный изгиб. Испытания образцов проводили согласно ГОСТ 14019-80 [2]. Для проведения испытаний на предприятии ОАО «БААЗ» (г. Барановичи) были изготовлены опытные образцы (рис. 4).

Испытания на трехточечный изгиб проводили в ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Беларуси на универсальной испытательной машине Н 150КУ. Это прибор (рис. 5) с сервоэлектромеханическим приводом для статических испытаний материалов на растяжение, сжатие, изгиб.

Таблица 4. Результаты испытаний образцов на разрыв, подвергнутых термомеханической обработке (ТМО) с низким отпуском

Номер образца	Марка стали	Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	Относительное удлинение образца δ , %
1	X12MФ	2020	<4
2		2130	<6
3		1980	<4
1	У8А	2000	<1
2		1850	<1
3		1860	<1
1	9ХС	940	<4
2		970	<1
3		910	<2
1	ХВГ	1040	<4
2		1120	<1
3		980	<1
1	65С2ВА	2360	8
2		2320	6
3		2420	<1
1	6ХВ2С	2410	<4
2		2640	<1
3		2280	6

Для определения упругих свойств испытываемых образцов и максимального прогиба к образцам прикладывалась нагрузка до полного их разрушения (рис. 6).

Методика проведения испытаний была выбрана согласно ГОСТ 25.604-82 [3].

С помощью данного метода испытаний возможно определить:

а) предел прочности при изгибе – отношение максимального изгибающего момента в момент разрушения образца к моменту сопротивления сечения при изгибе;

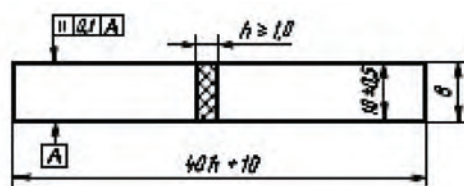
б) модуль упругости при нагружении образца в пределах пропорциональности прогиба от нагрузки;

Таблица 5. Результаты испытаний образцов на разрыв, подвергнутых термической обработке (закалке) с низким отпуском

Номер образца	Марка стали	Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	Относительное удлинение образца δ , %
1	X12MФ	1630	<1
2		1700	<1
3		1590	<1
1	У8А	730	<2
2		940	<2
3		910	<2
1	9ХС	790	<1
2		950	<1
3		810	<2
1	ХВГ	760	<1
2		730	<2
3		1020	<1
1	65С2ВА	2080	<1
2		2120	<1
3		1770	<1
1	6ХВ2С	2240	<1
2		2310	<1
3		2160	<1



а



б

Рис. 4. Опытные стальные образцы: а – вид образцов, изготовленных из различных сталей до разрушения; б – чертеж образца



Рис. 5. Универсальная испытательная машина H 150KU



Рис. 6. Испытываемый образец под плавно нарастающей нагрузкой

в) зависимость прогиба от нагрузки при нагружении образца вплоть до разрушения.

При установлении зависимости прогиба от нагрузки образец нагружали с заданной постоянной скоростью, непрерывно записывая прогиб и нагрузку вплоть до разрушения образца, а при определении предела прочности записывали максимальную нагрузку, предшествующую разрушению образца.

Полученные результаты приведены в табл. 6.

На рис. 7 показаны зависимости прогиба от нагрузки при плавном нагружении образцов из сталей X12MФ, У8А, 9ХС, ХВГ, 65С2ВА, 6ХВ2С вплоть до разрушения.

Из рисунка видно, что ТМО значительно изменяет временное сопротивление и относительное удлинение образцов по сравнению с ТО. В некоторых образцах значение σ_b увеличилось от 0,3 до 2 раз. Однако при максимальном увеличении временного сопротивления (в 1,5–2,0 раза) разрушение носило хрупкий характер ($\delta < 1$), в то время как при увеличении значений σ_b в 0,3–0,5 раз, разрыв носил более пластичный характер ($\delta = 6–8$). Для изготовления рубильных ножей этот параметр, характеризующий пластические свойства стали, является важным, так как обеспечивает прочность ножей в условиях ударных нагрузок. При слишком высокой твердости в процессе работы в лезвии

Таблица 6. Результаты испытаний образцов, подвергнутых ТО и ТМО на трехточечный изгиб

Номер образца	b , мм	h , мм	l , мм	F_{\max} , Н	σ_B^H , МПа
1. X12мф (ТО)	10,13	4,68	25	19129,5	3233,21
2. X12мф (ТО)	10,24	4,67	25	18148,5	3047,46
1. X12мф (ТМО)	10,33	4,80	25	10398,6	1638,41
2. X12мф (ТМО)	9,52	4,74	25	6974,9	1222,86
1. У8А (ТО)	10,23	4,67	25	19129,5	3215,33
2. У8А (ТО)	10,08	4,67	25	9535,3	1626,57
3. У8А (ТО)	10,1	4,67	25	15009,3	2555,27
1. У8А (ТМО)	10,02	4,68	25	16775,1	2866,40
2. У8А (ТМО)	10,01	4,69	25	18933,3	3224,61
3. У8А (ТМО)	10,02	4,69	25	19031,4	3238,09
1. ХВГ (ТО)	10,89	4,67	25	7730,3	1220,58
2. ХВГ (ТО)	11,19	4,67	25	3031,3	465,80
3. ХВГ (ТО)	10,41	4,68	25	2913,6	479,20
1. ХВГ (ТМО)	10,34	4,68	25	7622,4	1262,14
2. ХВГ (ТМО)	10,32	4,69	25	9015,4	1489,33
3. ХВГ (ТМО)	10,32	4,69	25	3610,1	596,38
1. 65С2ВА (ТО)	10,17	4,66	25	10791,0	1832,32
2. 65С2ВА (ТО)	10,27	4,86	25	8279,6	1279,97
3. 65С2ВА (ТО)	9,82	4,68	25	11870,1	2069,58
1. 65С2ВА (ТМО)	10,34	4,68	25	12949,2	2144,18
2. 65С2ВА (ТМО)	10,14	4,71	25	12164,4	2027,88
3. 65С2ВА (ТМО)	10,33	4,25	25	8583,8	1725,16
4. 65С2ВА (ТМО)	10,13	4,70	25	14028,3	2350,88
1. 6ХВ2С (ТО)	10,41	4,68	25	11467,3	1886,07
2. 6ХВ2С (ТО)	10,34	4,69	25	11654,2	1921,53
3. 6ХВ2С (ТО)	10,32	4,69	25	11103,5	1834,28
1. 6ХВ2С (ТМО)	10,34	4,68	25	11836,2	1959,89
2. 6ХВ2С (ТМО)	10,24	4,68	25	14628,6	2445,92
3. 6ХВ2С (ТМО)	10,33	4,69	25	14201,2	2343,74
1. 9ХС (ТО)	10,81	4,69	25	7416,4	1169,64
2. 9ХС (ТО)	10,95	4,67	25	4012,3	630,05
1. 9ХС (ТМО)	10,38	4,69	25	3570,8	586,49
2. 9ХС (ТМО)	10,37	4,68	25	3561,0	587,94

Примечание: b, h – ширина и высота образца соответственно, мм; l – расстояние между опорами, мм; F_{\max} – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н; σ_B^H – предел прочности при поперечном изгибе, МПа.

ножа образуются микротрещины и сколы, что недопустимо.

При сравнении результатов испытаний (табл. 6 и рис. 7) можно сделать вывод, что наилучшие результаты у сталей У8А с пределом прочности при поперечном изгибе $\sigma_B^H = 2866,4\text{--}3238,1$ МПа и прогибом в диапазоне 0,57–1,18 мм; 65С2ВА с пределом прочности при поперечном изгибе $\sigma_B^H = 1725,2\text{--}2350,9$ МПа и прогибом в диапазоне 0,48–0,67 мм; 6ХВ2С с пределом прочности при поперечном изгибе $\sigma_B^H = 1959,9\text{--}2445,9$ МПа и прогибом в диапазоне 0,54–0,79 мм. Рубильные ножи подвергаются большим ударным нагрузкам и поэтому

должны обладать оптимальными сочетанием твердости и вязкости.

Исследования также показали, что применение ТМО повышает механические свойства практически всех опытных образцов по сравнению с обычной термообработкой. Однако для принятия решения о практическом применении ТМО при изготовлении рубильных ножей необходимо соотносить стоимость ТМО и реально получаемую стойкость ножей. Возможно, для некоторых конструкций ножей целесообразно применять ТМО, а для других – достаточно ограничиться обычной ТО.

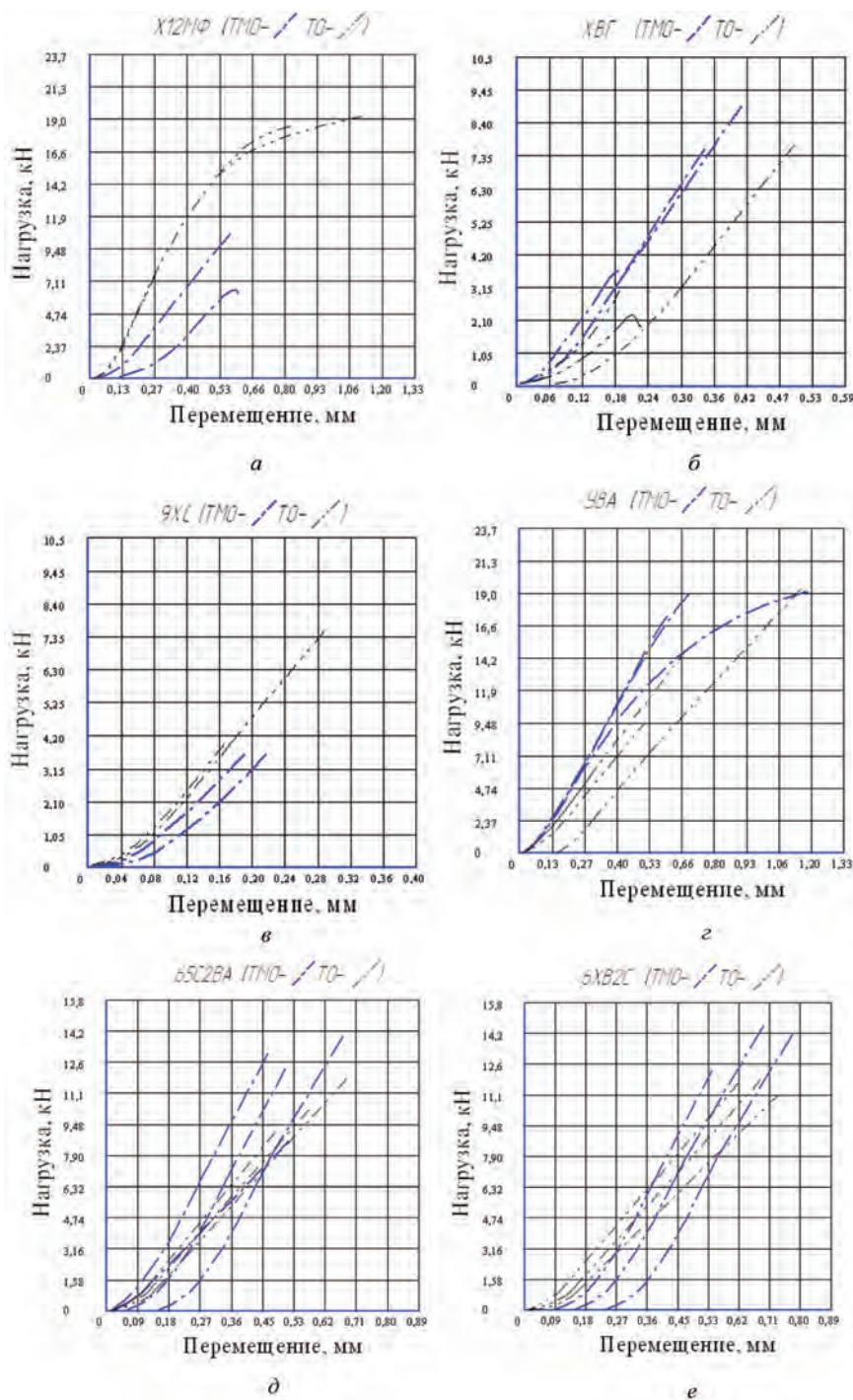


Рис. 7. Зависимость прогиба от нагрузки при плавном нагружении образца вплоть до разрушения: а – для стали X12MF; б – для стали ХВГ; в – для стали 9ХС; г – для стали У8А; д – для стали 65С2ВА; е – для стали 6ХВ2С

Выводы

1. Выбор инструментальной стали для изготовления рубильных ножей должен проводиться с учетом твердости, ударной вязкости, а также необходимой пластичности инструментального материала.

2. Термическую обработку инструментальных сталей не стоит проводить с достижением максимальной твердости, так как это незначительно влияет на повышение износостойкости, однако

увеличивает вероятность появления сколов и микротрещин, что ведет к преждевременному разрушению ножа.

3. Наиболее целесообразно при ТМО использовать стали, временное сопротивление которых повышается на 30–50%, тогда пластичность остается в пределах $\delta < 6$. Для изготовления рубильных ножей этот параметр является очень важным, так как обеспечивает наряду с твердостью высокие прочностные показатели.

4. Для некоторых сталей при использовании ТМО предел прочности при поперечном изгибе и прогиб значительно возрастают по сравнению с традиционными режимами ТО, что может значительно увеличить работоспособность рубильных ножей.

Литература

1. А л и ф а н о в, 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.
2. ГОСТ 14019–80. Металлы. Методы испытания на изгиб.
3. ГОСТ 25.604–82. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов).