

УДК 674.05

**А. В. Алифанов<sup>1</sup>, А. М. Милюкова<sup>2</sup>, В. В. Цуран<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи<sup>2</sup> Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ

Приведены результаты исследований химического состава рубильных ножей зарубежных и отечественных производителей. Проанализированы марки сталей, наиболее часто применяемых для изготовления рубильных ножей отечественными производителями. Приведены результаты механических испытаний образцов из различных инструментальных сталей, подвергнутых термической обработке (закалке) и термомеханической обработке с низким отпускком.

**Ключевые слова:** термическая и термомеханическая обработка, период стойкости, ударные нагрузки, пластичность, упрочнение, рубильные ножи.

**Введение.** В Беларуси имеется достаточно много деревообрабатывающих предприятий, производящих технологическую щепу, которая применяется 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 Беларусь поставило перед учёными и специалистами задачу разработать технологию и освоить производство рубильных ножей на отечественных предприятиях.

**Основная часть.** Для изготовления ножей с заданными эксплуатационными характеристиками необходимо использовать высоколегированные стали и определённые режимы термической (далее — ТО) или термомеханической обработки (далее — ТМО), 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 эксплуатации. Главным препятствием для организации производства рубильных ножей на белорусских предприятиях является отсутствие необходимых знаний и опыта для проведения качественной ТО или ТМО легированных инструментальных сталей, обеспечивающих необходимые эксплуатационные свойства изделий (высокие показатели твёрдости, ударной 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.

Самая ответственная задача — это определение оптимальных режимов ТО для каждого вида ножей. В частности, необходимо путём правильно подобранного режима ТО достичь главной задачи — оптимального сочетания в рубильном ноже твёрдости и вязкости, чтобы он не терял остроту режущей кромки в течение длительного времени и выдерживал ударные нагрузки.

В ходе проведения исследовательской работы были рассмотрены несколько импортных ножей. После проведения спектрального анализа образцов импортных ножей фирм PILANA, PESSA и «СпецПромИнструмент» были получены определённые результаты (таблица 1).

Химическому составу образца № 1 фирмы PILANA наиболее соответствует сталь 4X5MФС, образца № 2 фирмы PESSA — сталь 7XФ, образца № 3 фирмы «СпецПромИнструмент» — сталь 55X7BCMФ.

Опытный образец рубильного ножа фирмы PILANA (рисунки 1 и 2) подвергался проверке на твёрдость в различных точках, а полученные шлифы изучались под микроскопом. Твёрдость ножа находилась в пределах 54...55 HRC. Измерения твёрдости других опытных образцов импортных ножей показали, что она также чаще всего находится в вышеуказанных пределах и одинакова как на всей поверхности ножа (режущая и крепёжная часть), так и во всём объёме ножа. Современные же ножи,

Т а б л и ц а 1 — Химический состав рубильных ножей

В процентах

Массовая доля легирующих элементов								
C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Ti	Mo	V
Рубильный нож № 1 фирмы PILANA								
0,617450	1,096960	0,474250	3,885990	0,098898	0,278910	0,050370	0,704390	0,399980
Рубильный нож № 2 фирмы PESSA								
0,824000	0,691000	0,286000	1,023000	0,189000	0,267000	0,012000	—	0,002000
Рубильный нож № 3 фирмы «СпецПромИнструмент»								
0,907000	0,678000	0,285000	1,070000	0,147000	0,185000	0,020000	—	0,002000

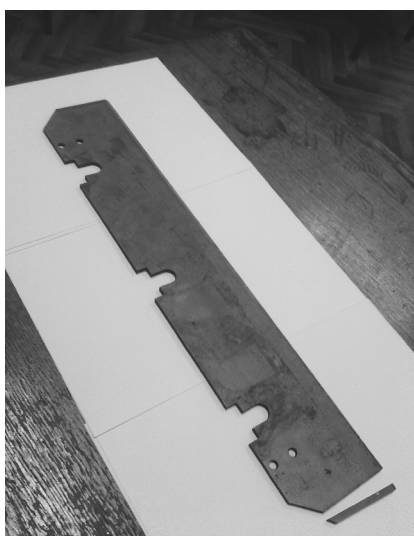


Рисунок 1 — Рубильный нож фирмы PILANA

которые в небольших количествах изготавливаются отечественными производителями, обычно имеют твёрдость 56...61 HRC. Это позволяет предположить, что проводить термическую обработку рубильных ножей с достижением максимальной твёрдости нецелесообразно, так как это незначительно влияет на износостойкость, однако увеличивает вероятность появления сколов и микротрещин, что ведёт к преждевременному разрушению ножа.

Рассмотрим химические составы различных марок сталей, рекомендуемых для изготовления отечественных рубильных ножей (таблица 2).

Проанализируем влияние на свойства вышеперечисленных сталей легирующих элементов, входящих в их состав [1]. Одним из основных легирующих элементов является хром. Он повышает твёрдость, износ- и коррозионную стойкость стали, увеличивает склонность к отпускной хрупкости, входит в состав сталей, предназначенных для азотирования. Твёрдость стали, при невысоком содержании в ней хрома, при отпуске снижается медленнее, чем в углеродистых сталях.

Никель у хромоникелевых инструментальных сталей повышает прочность, твёрдость, способствует сохранению вязкости, измельчению размеров зерна. Однако он повышает опасность образования остаточного аустенита, что ведёт к снижению твёрдости после закалки.

Вольфрам входит в состав многих инструментальных материалов, не только сталей, повышая пределы прочности, твёрдости, способствуя равномерному распределению карбидов, которые обладают хорошим сочетанием высокой твёрдости и теплопроводности. При низком содержании вольфрама (1,0...1,5%) и низкой температуре закалки (760...820°C) карбиды вольфрама не растворяются, что обеспечивает сохранение высокой твёрдости и износостойкости. Наличие вольфрама в сплавах уменьшает их пластичность, стали не обнаруживают способности к вторичной твёрдости, однако обладают достаточной устойчивостью к отпуску.

Молибден почти полностью устраняет опасность охрупчивания сталей при отпуске до температур 300 и 450...650°C.



Рисунок 2 — Опытный образец рубильного ножа фирмы PILANA

Т а б л и ц а 2 — Химический состав различных инструментальных сталей

Марка материала	Массовая доля легирующих элементов										
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	P	S	Cu	Ni
6ХС	0,650	0,800	0,300	1,200	0,200	0,150	0,200	0,030	0,030	—	—
9ХФ	0,750	0,500	0,950	0,400	—	—	—	0,030	0,030	—	—
9ХС	0,850...0,950	1,200...1,600	0,300...0,600	0,950...1,250	—	—	0...0,200	0...0,030	0...0,030	0...0,300	0...0,350
Р6М5	0,900	0,450	0,400	4,150	4,950	1,850	6,350	0,030	0,030	—	—
У8А	0,750...0,840	0,170...0,330	0,170...0,280	0,120...0,40	—	—	—	0...0,025	0...0,018	0,020...0,250	0,120...0,250
Х12МФ	1,450...1,650	0,100...0,400	0,150...0,450	11,000...12,500	0,400...0,600	0,150...0,300	—	0...0,030	0...0,030	0...0,030	0...0,350
65С2ВА	0,610...0,690	0,150...2,000	0,700...1,000	0...0,030	—	—	0,800...1,200	0...0,025	0...0,025	0...0,200	0...0,200
ХВГ	0,900...1,050	0,100...0,400	0,800...1,100	0,900...1,200	—	—	1,200...1,600	0...0,030	0...0,030	0...0,030	0...0,350

Ванадий повышает предел текучести, стойкость к отпуску, способствует измельчению зерна.

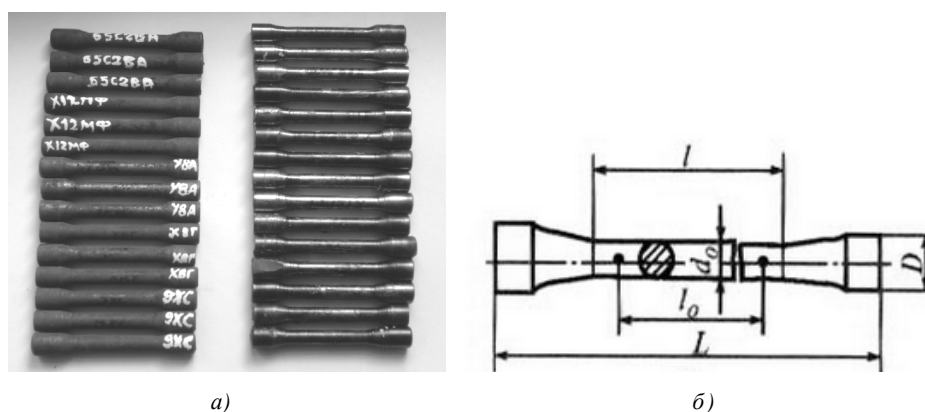
Легирующие элементы хром, никель, молибден, марганец существенно влияют на прокаливаемость стали в направлении уменьшения их влияния [1].

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 (рисунок 3).

Образцы были изготовлены на оборудовании ОАО «БААЗ» (Барановичи). Образцы исследуемых сталей с применением ТМО подвергались нагреву выше точки  $A_{с3}$ , а именно: для Х12МФ — 1 070°C; для У8А — 780°C; для 9ХС — 870°C; для ХВГ — 850°C; для 65С2ВА — 820°C, с последующей деформацией на молоте пневматическом ковочном модели МВ-412 и охлаждением в масле. Далее заготовки подверглись низкотемпературному отпуску: для Х12МФ — 180°C; для У8А — 150°C; для 9ХС — 150°C; для ХВГ — 150°C; для 65С2ВА — 150°C, с выдержкой 200 мин в печи шахтной отпускной термической ПН-32. Также были изготовлены образцы из сталей с традиционной ТО. Испытания проводились на разрывной машине, снабжённой устройством, записывающим диаграмму растяжения.

Приведены значения временного сопротивления и относительного удлинения образцов после их ТМО и обычной закалки (таблица 3). Проанализировав результаты, можно сделать выводы, что ТМО значительно изменяет временное сопротивление и относительное удлинение образцов по сравнению с ТО. В некоторых образцах значение увеличилось от 0,3 до 2,0 раз. Однако при максимальном увеличении временного сопротивления (в 1,5...2,0 раза) разрушение имело хрупкий характер, в то время как при увеличении значений в 0,3...0,5 раза разрыв носил более пластичный характер (значение составляло 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 твёрдости в процессе работы в лезвии ножа образуются микротрещины и сколы, что недопустимо.

Известно, что ТМО является одним из прогрессивных методов упрочнения стали, при котором сохраняется достаточная пластичность. Это достигается путём совмещения пластической деформации и упрочняющей ТО (закалка и отпуск). При ТМО деформации подвергают сталь в аустенитном состоянии, а при последующем быстром охлаждении формирование структуры закалённой стали (мартенсита) происходит в условиях



а) — общий вид опытных образцов; б) — схематическое изображение готового образца

Рисунок 3 — Опытные образцы для испытаний на разрыв

Т а б л и ц а 3 — Результаты испытаний на разрыв образцов, подвергнутых ТМО и ТО (закалке) с низким отпуском

Номер образца	Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>		Относительное удлинение образца $\delta$ , %	
		ТМО	ТО	ТМО	ТО
1	X12MФ	2 020	1 630	<4	<1
2		2 130	1 700	<6	<1
3		1 980	1 590	<4	<1
1	У8А	2 000	730	<1	<2
2		1 850	940	<1	<2
3		1 860	910	<1	<2
1	9ХС	940	790	<4	<1
2		970	950	<1	<1
3		910	810	<2	<2
1	ХВГ	1 040	760	<4	<1
2		1 120	730	<1	<2
3		980	1 020	<1	<1
1	65С2ВА	2 360	2 080	8	<1
2		2 320	2 120	6	<1
3		2 420	1 770	<1	<1

наклёпа аустенита, в связи с чем и повышаются механические свойства стали. Пластическое деформирование при ТМО возможно осуществить прокаткой, ковкой, штамповкой и другими способами обработки металлов давлением. Различают два способа ТМО — высокотемпературную (ВТМО) и низкотемпературную (НТМО) [2].

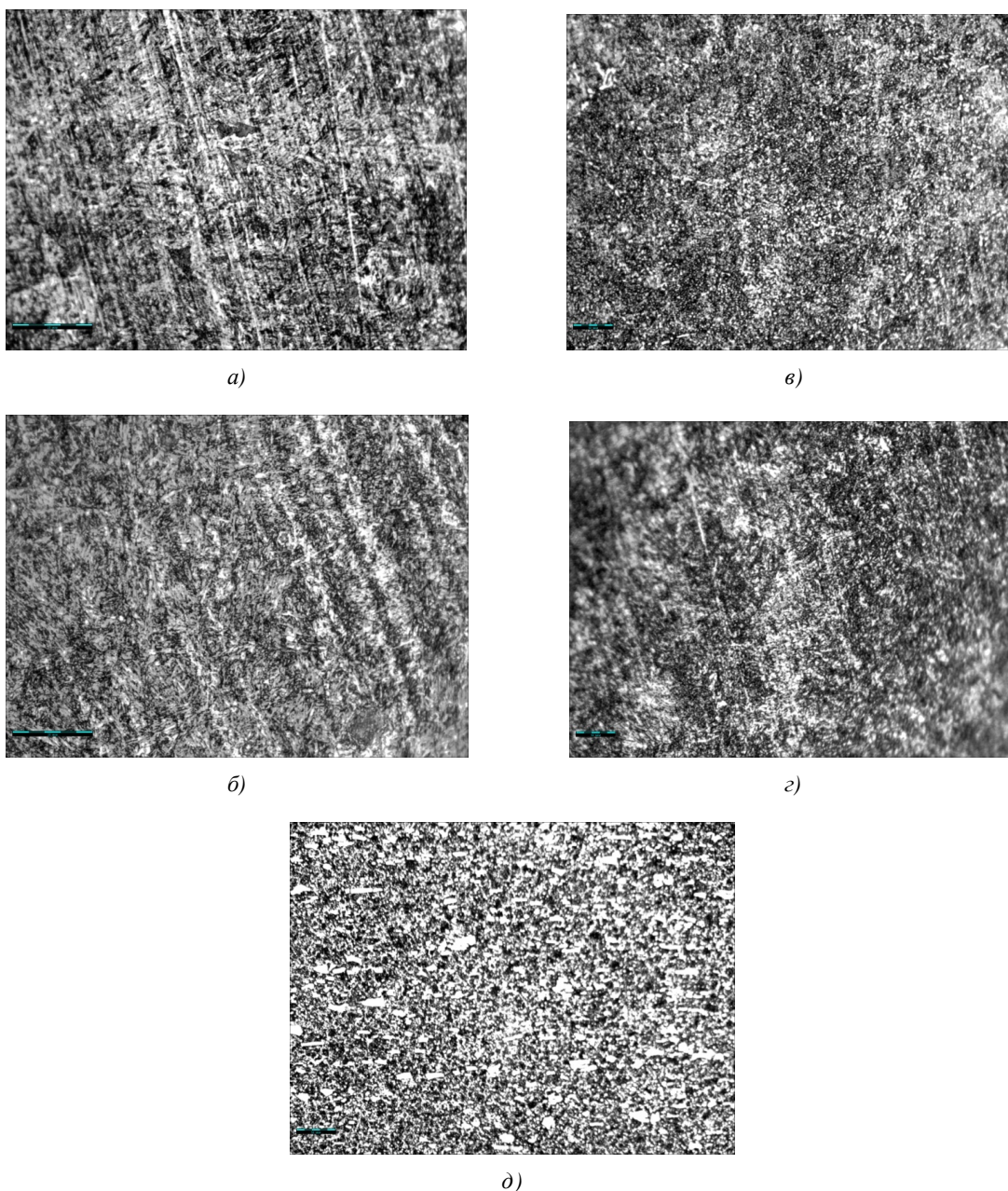
При ВТМО сталь нагревают выше точки  $A_{c3}$  пластически деформируют при этой температуре (степень деформации 20...30%) и закаляют. При НТМО сталь нагревают выше точки  $A_{c3}$ , охлаждают до температуры относительной устойчивости аустенита, но ниже температуры рекристаллизации, пластически деформируют при этой температуре (степень деформации 75...95%) и закаляют. В обоих случаях после закалки следует низкий отпуск. Процессу ВТМО можно подвергать любые стали, НТМО — только стали с повышенной устойчивостью переохлаждённого аустенита (легированные стали).

По сравнению с обычной закалкой, после ТМО механические свойства стали получаются более высокими. Наибольшее упрочнение достигается после НТМО ( $\sigma_B$  равно 2 800...3 300 МПа,  $\delta$  — 6%), после обычной закалки и низкого отпуска предел прочности  $\sigma_B$  не превышает 2 000...2 200 МПа, а относительное удлинение  $\delta$  составляет 3...4%.

При ТМО стали повышение прочности стали объясняется тем, что в результате деформации аустенита происходит дробление его зёрен. При последующей закалке из аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, что положительно сказывается на пластических свойствах и вязкости стали [3].

Приведём результаты металлографического анализа образцов, полученных из рубильных ножей (стали У8А, 9ХС, 65С2ВА, ХВГ, Х12МФ) после их производственных испытаний (рисунок 4).

В результате ТМО образцов из различных марок сталей дисперсность карбидов возрастает, и они располагаются внутри феррита, повышая прочность бейнита (см. рисунок 4). По этой причине сталь имеет более высокую пластичность, что важно для режущих элементов, работающих с ударными нагрузками (см. таблицу 3). Стали со структурой нижнего бейнита, как правило, обладают большей вязкостью, чем после закалки на мартенсит с последующим отпуском на равную твёрдость по всему объёму.



*a* — образцы №№ 5, 19 (сталь У8А); *б* — образец № 6 (сталь 65С2ВА); *в* — образец № 7 (сталь ХВГ);  
*г* — образец № 8 (сталь 9ХС); *д* — образцы №№ 10, 13 (сталь 6ХС)

**Рисунок 4 — Микроструктура образцов сталей, полученных из отработанных ножей. ×250**

Повышенная прочность бейнита обусловлена малым размером ферритных кристаллов, дисперсными выделениями карбидов, повышенной плотностью дислокаций, закреплённых атомами углерода и искажением решётки феррита из-за пресыщенности его углеродом и легирующими элементами.

Микроструктура образцов отработанных ножей имеет мелкодисперсный, однородный характер, обеспечивающий высокие прочностные свойства данных изделий (см. рисунок 4). Такую микроструктуру можно получать путём применения специальных режимов ТО или ТМО для каждой марки стали.

**Заключение.** Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы: 1) выбор инструментальной стали для изготовления рубильных ножей должен проводиться с учётом твёрдости, ударной вязкости, а также необходимой пластичности инструментального материала; 2) ТО инструментальных сталей не стоит проводить с достижением максимальной твёрдости, так как на повышение износостойкости это влияет незначительно, однако увеличивает вероятность появления сколов и микротрещин, что ведёт к преждевременному разрушению ножа; 3) наиболее целесообразно при ТМО использовать стали, временное сопротивление которых повышается на 30...50%, тогда пластичность остаётся в пределах  $\delta < 6$ . Для изготовления рубильных ножей этот параметр является очень важным, так как обеспечивает, наряду с твёрдостью, высокие прочностные показатели; 4) термообработка должна обеспечивать в стали мелкодисперсный, однородный характер, обуславливающий высокие прочностные свойства рубильных ножей.

#### Список цитируемых источников

1. Повышение эксплуатационных показателей ножей рубильных машин при заготовке топливной щепы и результаты их производственных испытаний / Д. С. Карпович [и др.] // Тр. БГТУ. Сер. 2, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. — 2013. — № 2. — С. 202—204.
2. Балховитинов, Н. Ф. Металловедение и термическая обработка / Н. Ф. Балховитинов. — М. : Машгиз, 1961. — 462 с.
3. Афанасьев, П. С. Станки и инструменты деревообрабатывающих предприятий / П. С. Афанасьев. — М. : Лесная пром-сть, 1968. — 496 с.

Материал поступил в редакцию 26.05.2014 г.

The results of studies of the chemical composition chipper knives foreign and domestic manufacturers. Analyzed grades most commonly used for the manufacture of chipper knives domestic producers. The results of mechanical testing of samples from different tool steels subjected to heat treatment (quenching), and thermomechanical processing with a low tempering.

**Key words:** diffusion, alloying elements, plastic deformation, phase transitions, magnet and pulse treatment, the reinforcing effect.