



*The results of carried out investigations enabled to recommend for factory testing the production of chipping knives of steels, subjected to high-temperature thermomechanical processing, particularly 65S2VA u H12MF.*

*А. В. АЛИФАНОВ, А. М. МИЛЮКОВА, ФТИ НАН Беларуси,  
В. В. ЦУРАН, Барановичский государственный университет*

УДК 621.78.011:669.14.018.25

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ НОЖЕЙ ДЛЯ РУБКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ**

Благодаря наличию большого количества лесов в Республике Беларусь хорошо развита деревообрабатывающая промышленность. В последние 10–15 лет началось производство технологической щепы, применяемой для изготовления целлюлозы, бумаги, древесно-стружечных плит, топливных полуфабрикатов. Соответствующего оборудования в Беларуси не производится, поэтому было закуплено большое количество импортных рубильных машин в России и развитых европейских странах (Германии, Швеции, Чехии и других): МРП-40-1, МРНП-30Н, МРЗ-50ГБ, BRUKS, RAUT, VECOPLAN, PALLMANN и др. Естественно, что и рубильные ножи для этих машин в основном поставляются из-за рубежа, на что затрачиваются очень большие валютные средства, так как счет приобретаемых ножей идет на тысячи, а стоимость импортных ножей составляет от 50 до 480 евро в зависимости от размера ножа и фирмы-производителя. Только около 4% используемых ножей производится на белорусских предприятиях.

В связи с этим Первый заместитель Премьер-министра Республики Беларусь В. И. Семашко дал указание разработать отечественные прогрессивные технологические процессы изготовления ножей для рубки щепы и освоить их производство.

Импортные ножи изготавливаются из высоколегированных сталей отличного качества (твердость HRC 55–60), конструктивно подходят к импортному оборудованию по всем параметрам и по своим эксплуатационным характеристикам превосходят изделия отечественного производства. Однако вследствие своей высокой стоимости ножи эксплуатируются даже при затуплении, что нега-

тивно сказывается на производительности труда, качестве конечного продукта (например, щепы для гидролизно-целлюлозно-бумажного производства), энергопотреблении, а также приводит к преждевременному износу оборудования.

Конструкции ножей довольно просты для изготовления на стандартном технологическом оборудовании. Все технологические операции сводятся к вырубке или вырезке заготовки ножа из соответствующей полосы инструментальной стали, фрезерованию крепежных отверстий или пазов, заточке режущей кромки на одной из поверхностей, финишной обработке. Самая ответственная и наукоемкая операция – это термообработка, обеспечивающая необходимые свойства ножа (твердость, ударная вязкость, износостойкость).

Главным препятствием для организации производства рубильных ножей на белорусских предприятиях является отсутствие знаний и опыта для проведения качественной термической или термомеханической обработки (ТО или ТМО) легированных инструментальных сталей, обеспечивающей необходимые эксплуатационные свойства изделий (мелкозернистая, однородная структура, высокие показатели твердости, ударной вязкости, периода стойкости и др.). В литературных и коммерческих источниках сведения о режимах ТМО считаются «ноу-хау» и не приводятся.

Известно, что термомеханическая обработка – одно из прогрессивных методов упрочнения стали, при котором сохраняется достаточная пластичность, что очень важно для рубильных ножей, испытывающих большие ударные нагрузки. Это достигается путем совмещения пластической деформации и упрочняющей термической обработки

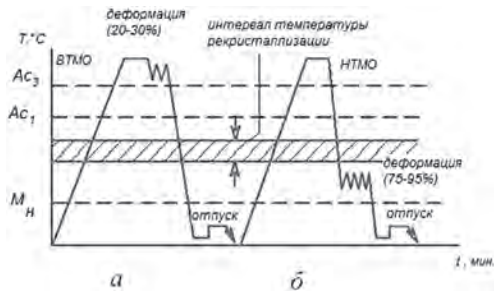


Рис. 1. Схема термомеханической обработки стали: а – высокотемпературная; б – низкотемпературная

(закалка и отпуск). При ТМО деформации подвергают сталь в аустенитном состоянии, а при последующем быстром охлаждении формирование структуры закаленной стали (мартенсита) происходит в условиях наклепа аустенита, в связи с чем и повышаются механические свойства стали. Пластическое деформирование при ТМО возможно осуществлять прокаткой, ковкой, штамповкой и другими способами обработки металлов давлением. Различают два способа термомеханической обработки – высокотемпературную (ВТМО) и низкотемпературную (НТМО) (рис. 1) [1].

При ВТМО сталь нагревают выше точки  $A_{c3}$ , пластически деформируют при этой температуре (степень деформации 20–30%) и закалывают. 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 закалывают. В обоих случаях после закалки следует низкий отпуск. ВТМО можно подвергать любые стали, а НТМО – только стали с повышенной устойчивостью переохлажденного аустенита (легированные стали).

По сравнению с обычной закалкой после ТМО механические свойства стали получаются более высокими. Наибольшее упрочнение достигается после НТМО ( $\sigma_B = 2800\text{--}3300$  МПа,  $\delta = 6\%$ ), в то

же время после обычной закалки и низкого отпуска предел прочности  $\sigma_B$  не превышает 2000–2200 МПа и  $\delta = 3\text{--}4\%$  [1]. Однако необходимость осуществлять процесс НТМО при степени деформации 75–95% очень усложняет этот вид обработки в производственных условиях.

При термомеханической обработке 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. В работе [2] показано, что после ВТМО образцов, изготовленных из инструментальной стали Х6ВФ, с трехкратной ковкой исходного прутка карбидная неоднородность по сечению поковки соответствовала 1–3 баллам, в то время, как у исходных прутков – 6 баллам.

Целью данной работы было определение наиболее подходящих марок сталей для изготовления отечественных рубильных ножей с использованием метода ВТМО. Использовали образцы из следующих марок сталей: Х12МФ, У8А, 9ХС, ХВГ, 65С2ВА. В табл. 1, 2 приведен химический состав этих сталей.

При получении опытных образцов применяли как термическую обработку, так и высокотемпературную термомеханическую обработку. Опытные образцы изготавливали на оборудовании завода ОАО «Барановичский автоагрегатный завод». Образцы исследуемых сталей подвергали нагреву выше точки  $A_{c3}$  (рис. 1): Х12МФ – 1070 °С; У8А – 780; 9ХС – 870; ХВГ – 850; 65С2ВА – 820 °С с последующей деформацией на молоте пневматическом ковочном мод. МВ 412 (рис. 2) и охлаждением в масле марки И20А.

Далее заготовки подвергали низкотемпературному отпуску при температурах: Х12МФ – 180 °С; У8А – 150; 9ХС – 150; ХВГ – 150; 65С2ВА – 150 °С

Таблица 1. Химический состав стали Х12МФ

Марка материала	Массовая доля легирующих элементов, %									
	С	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	S	P	V	Mo
Х12МФ	1,45–1,65	0,1–0,4	0,15–0,45	11–12,5	0–0,3	0–0,35	0–0,03	0–0,03	0,15–0,3	0,4–0,6

Таблица 2. Химический состав инструментальных сталей

Марка материала	Массовая доля легирующих элементов, %									
	С	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	S	P	W	
У8А	0,75–0,84	0,17–0,33	0,17–0,28	0,12–0,4	0,2–0,25	0,12–0,25	0–0,018	0–0,025	–	
9ХС	0,85–0,95	1,2–1,6	0,3–0,6	0,95–1,25	0–0,3	0–0,35	0–0,03	0–0,03	0–0,2	
ХВГ	0,9–1,05	0,1–0,4	0,8–1,1	0,9–1,2	0–0,3	0–0,35	0–0,03	0–0,03	1,2–1,6	
65С2ВА	0,61–0,69	0,15–2	0,7–1	0–0,3	0–0,2	0–0,2	0–0,025	0–0,025	0,8–1,2	



Рис. 2. Получение опытных образцов с применением высокотемпературной термомеханической обработки: *а* – процесс деформации заготовки на пневматическом ковочном молоте; *б* – образец заготовки, полученной при ковке

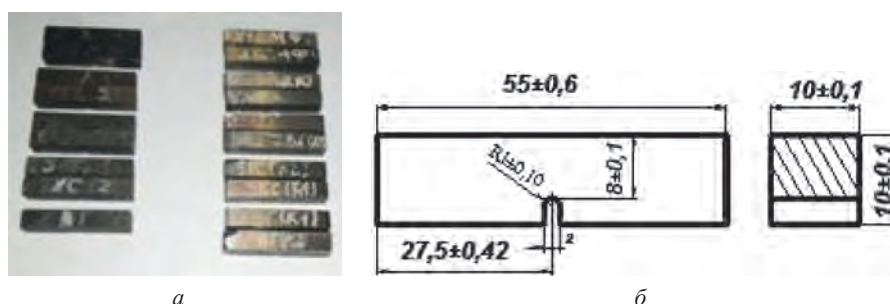


Рис. 3. Опытные стальные образцы для определения их ударной вязкости: *а* – вид образцов, изготовленных из различных сталей; *б* – чертеж образца

Таблица 3. Режимы термической обработки образцов

У8А	ХВГ	9ХС	Х12МФ	65С2ВА
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
Нагрев и выдержка 5–8 мин				
Вода (из воды на масло)	масло	масло	масло	масло
Отпуск ПН-32				
220 °С	220 °С	220 °С	220 °С	220 °С
150 мин	150 мин	150 мин	180 мин	150 мин

с выдержкой 150 мин в печи шахтной отпускной термической ПН-32.

Одним из наиболее важных показателей работоспособности и долговечности ножей, служащих для рубки древесной щепы, является ударная вязкость. Поэтому было принято решение определять ударную вязкость всех исследуемых образцов. Для этого из заготовок, полученных с использованием ВТМО, были изготовлены опытные образцы (рис. 3).

Для проведения сравнительных испытаний были изготовлены такие же образцы из тех же марок сталей механическим способом (без использования ВТМО). Они подвергались традиционным режимам термической обработки (табл. 3)

В зависимости от характера действия внешних нагрузок, напряженного состояния, конструктив-

ных особенностей и температуры одна и та же деталь из определенного материала может разрушаться вязко или хрупко. Известны случаи хрупкого разрушения под действием ударной нагрузки металлов, обладающих высокими пластическими свойствами.

Для проверки способности материала сопротивляться ударным нагрузкам и выявления склонности к хрупкому разрушению проводят испытания на удар.

Ударные испытания различают:

а) по виду деформации – на изгиб, растяжение, сжатие, кручение, срез;

б) по скорости нагружения – обычные (4–7 м/с), скоростные (100–300 м/с) и сверхскоростные (выше 300 м/с);

в) по числу ударов – одним ударом или повторными ударами;

г) по температуре испытания.

Наиболее широкое применение получил способ испытания при ударном изгибе образцов прямоугольного сечения с надрезом посередине. Наличие надреза способствует более хрупкому разрушению материала, что вызывает излом образца даже при пластичном материале. Кроме того, разрушению надрезанного образца способствует концентрация напряжений. Основным стандартный образец типа Менаже, согласно ГОСТ 9454-78, должен иметь размеры, указанные на рис. 3, б.

В результате испытания определяется ударная вязкость материала, представляющая собой работу, затраченную на ударный излом образца, отнесенную к площади поперечного сечения в месте надреза.

Стали, применяемые для изготовления деталей, работающих при динамических нагрузках, должны иметь ударную вязкость не менее 8–10 Дж/см<sup>2</sup> [3].

Ударные испытания на изгиб проводятся на маятниковых копрах. В работе использовали маятниковый копер мод. ИО 5003-0,3 с номинальным запасом энергии в 300 Н•м (ЗАО «Атлант БСЗ», г. Барановичи).

Подъем и возврат маятника в крайнее верхнее положение (фиксация заданного угла зарядки маятника) осуществляются автоматически с помощью подъемного пневматического устройства. В табл. 4 и 5 приведены результаты проведенных испытаний.

При сравнении результатов испытаний, приведенных в табл. 4 и 5, можно сделать вывод, что для сталей, подвергнутых ВТМО, ударная вязкость повышается в 0,7–2,0 раза, причем твердость при этом или сохраняется, или несущественно снижается на 1–3 ед. HRC по сравнению с образцами, подвергнутыми только термообработке (табл. 6).

Причина упрочнения и повышенной ударной вязкости при ВТМО заключается в том, что из деформированного аустенитного зерна образуются 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. Во всех случаях ВТМО эти превращения происходят в результате деформации.

На рис. 4 и 5 показаны структуры образцов, изготовленных из стали Х12МФ, подвергнутых традиционной термообработке (рис. 4) и ВТМО (рис. 5). Из рисунков видно, что при ВТМО образуется более мелкодисперсная, однородная струк-

Т а б л и ц а 4. Результаты испытаний образцов на ударную вязкость, подвергнутых термической обработке (закалке) с низким отпускком

Номер образца	Марка стали	Работа, затрачиваемая на разрушение образца, Дж/см <sup>2</sup>
1	Х12МФ	10,5
2		12,8
1	У8А	6,0
2		8,5
1	9ХС	4,7
2		5,6
1	ХВГ	9,8
2		11,5
1	65С2ВА	12,6
2		14,8

Т а б л и ц а 5. Результаты испытаний образцов на ударную вязкость, подвергнутых ВТМО с низким отпускком

Номер образца	Марка стали	Работа, затрачиваемая на разрушение образца, Дж/см <sup>2</sup>
1	Х12МФ	16,5
2		19,9
1	У8А	12,9
2		10,7
1	9ХС	4,5
2		4,4
1	ХВГ	9,2
2		12,5
1	65С2ВА	27,3
2		17,4

Т а б л и ц а 6. 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

тура, чем при обычной термообработке. Сталь Х12МФ выбрана в связи с тем, что на ее образцах изменения структуры носят наиболее выраженный характер.

Результаты проведенных испытаний позволили рекомендовать для проведения производственных испытаний изготавливать рубильные ножи из сталей, подвергнутых ВТМО, в частности, 65С2ВА (ударная вязкость 17,4–27,3 Дж/см<sup>2</sup>, твердость HRC 56–58) и Х12МФ (ударная вязкость 16,5–19,9 Дж/см<sup>2</sup>, твердость HRC 56–57), соответствующие показатели ударной вязкости которых (как главного критерия оценки) значительно превосходят эти показатели других исследованных сталей.

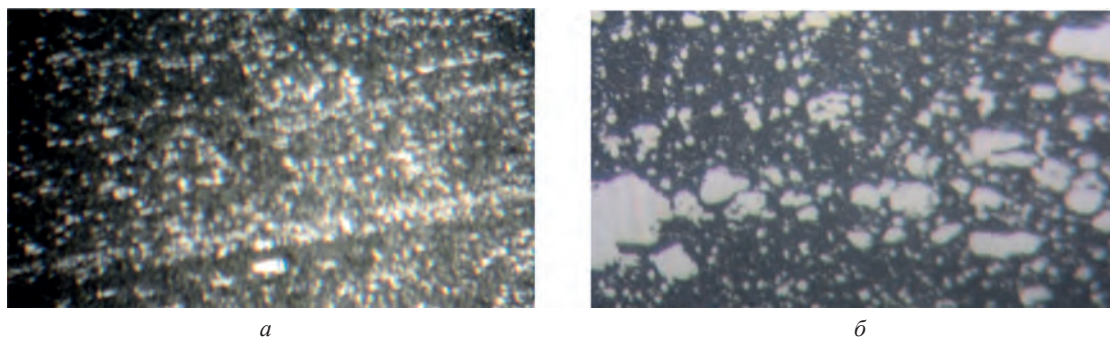


Рис. 4. Структура образца из стали X12MФ с традиционными режимами ТО: *а* – х63; *б* – х360

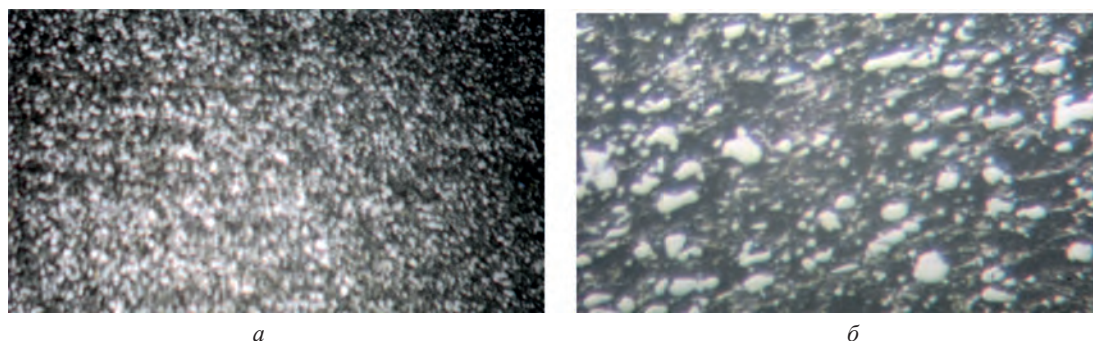


Рис. 5. Структура образца из стали X12MФ с применением VTMO: *а* – х63; *б* – х360

Как показывает опыт использования импортных рубильных ножей на белорусских предприятиях, наилучшие показатели по периоду стойкости показывают ножи, твердость которых находится в

пределах HRC 55–58, ударная вязкость – в пределах 15–30 Дж/см<sup>2</sup>. Этим показателям соответствуют и рекомендуемые стали 65С2ВА и X12MФ после VTMO.

### Литература

1. Болховитинов Н. Ф. *Металловедение и термическая обработка*. М.: Машгиз, 1961.
2. Алифанов А. В., Захаревич Л. В., Макушок Е. М., Оленин Л. Д. *Технологические процессы пластического деформирования в машиностроении*. Мн.: Наука и техника, 1989.
3. Гуляев А. П. *Металловедение*. М.: Металлургия, 1966.