

УДК 621.9:620.17

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ (ЧАСТЬ 1)**

**А. В. АЛИФАНОВ, В. В. ЦУРАН**

*Учреждение образования «Барановичский  
государственный университет», Республика Беларусь*

**Г. П. ГОРЕЦКИЙ, А. М. МИЛЮКОВА**

*Физико-технический институт Национальной  
академии наук Беларуси, г. Минск*

### **Введение**

В Беларуси высоко развита деревообрабатывающая промышленность. Широко используется переработка отходов древесины. Утилизация и переработка древесных отходов с целью применения вторичных ресурсов для производства новых изделий является одной из важнейших задач современных деревообрабатывающих предприятий. Для изготовления ножей с заданными эксплуатационными характеристиками необходимо использовать высоколегированные стали и определенные режимы термической (ТО) или термомеханической обработки (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 термо- или термомеханической обработки легированных инструментальных сталей, обеспечивающей необходимые эксплуатационные свойства изделий (высокие показатели твердости, ударной вязкости, периода стойкости и др.). В литературных и коммерческих источниках сведения о режимах ТО или ТМО, считающихся «ноу-хау», не приводятся. В связи с этим производителям технологической щепы приходится приобретать ножи за рубежом.

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

### **Анализ факторов, влияющих на физико-механические свойства инструмента из легированной стали**

На физико-механические свойства готовых инструментов, изготавливаемых из сталей, оказывает влияние большое количество факторов: химический состав, загрязненность посторонними включениями, технологическая наследственность, режимы ТО или ТМО, конструкционные особенности инструмента и др.

В связи с тем что для производства инструментов на белорусских предприятиях, как правило, используют готовый прокат в виде листов, полос, кругов, квадратов, приобретаемый чаще всего в России и других странах СНГ и обладающий определенной химической чистотой и физико-механическими свойствами, определяемыми условиями получения проката, в данной работе основное внимание уделялось ТО и конструкционным особенностям инструментов, т. е. тем факторам, которыми можно управлять в сложившихся условиях.

### **Общие сведения о термообработке инструментальных сталей**

#### ***Выбор оптимальной температуры закалки [1]***

Температура закалки сталей большинства марок определяется положением критических точек  $A_1$  и  $A_3$ .

Для углеродистых сталей температуру закалки можно определить по диаграмме железо–углерод. Обычно для доэвтектоидной стали она должна быть на 30–50 °С выше  $A_{c3}$ , а для заэвтектоидной стали – на 30–50 °С выше  $A_{c1}$ .

Наличие в структуре закаленной стали избыточного цементита полезно во многих отношениях. Например, включения избыточного цементита повышают износостойкость стали. Нагрев же выше  $A_{c3}$  нецелесообразен, так как он не повышает твердости, а наоборот, твердость несколько падает вследствие растворения избыточного цементита и увеличения остаточного аустенита; при таком нагреве растет зерно аустенита, увеличивается возможность возникновения больших закалочных напряжений, интенсивнее обезуглероживается сталь с поверхности и т. д.

Таким образом, оптимальной является закалка доэвтектоидной стали от температуры на 30–50 °С выше  $A_{c3}$ , а для заэвтектоидной стали – на 30–50 °С выше  $A_{c1}$ .

### **Основные требования к конструкции рубильных ножей**

Большое влияние на образование внутренних напряжений оказывает конструктивная форма деталей. От нее, не менее чем от выбора материала и технологического процесса, зависит качество термической обработки. Для создания рациональной, с точки зрения металловеда и термиста, формы детали конструктор должен руководствоваться следующими основными соображениями:

1. Следует по возможности избегать острых углов в деталях, так как они вызывают неравномерность охлаждения вследствие меньшей теплоотдачи и образования парового изолирующего мешка. Вместе с тем острые углы служат местом концентрации внутренних напряжений, а также рабочих напряжений во время службы детали. Закалочные трещины и трещины усталости начинают развиваться как раз от вершин углов, поэтому вместо углов необходимо делать плавные закругления, понижающие концентрацию напряжений.

2. Необходимо добиваться наибольшей равномерности сечения, делая при необходимости специальные сверления для выравнивания толщины деталей.

3. Следует избегать резких переходов от толстых сечений к тонким.

4. Следует избегать разнородных неуравновешенных сечений и глухих отверстий.

### **Анализ влияния легирующих элементов на свойства инструментальных сталей**

Требования, предъявляемые к сталям, используемым для рубильных ножей, схожи с требованиями, предъявляемыми к пружинным сталям и сталям для холодной штамповки (HRC 50–62). Поэтому способы и режимы ТО для них необходимо назначать таким образом, чтобы получить оптимальное сочетание свойств: прочность, пластичность и вязкость.

Высокую стойкость и надежность рубильных ножей можно обеспечить, если для конкретных условий удастся получить оптимальное сочетание сопротивления стали

пластической деформации (твёрдость HRC 50–60), в том числе при повышенных температурах (теплостойкость), и хрупкому разрушению (вязкость). Заданный уровень твердости можно получить либо с помощью дисперсионного твердения после мартенситного превращения, либо в результате мартенситного превращения.

Для этого стали должны быть легированы элементами, имеющими большее химическое сродство к углероду, чем железо (Mn, Cr, Mo, W, V, Ti, Nb и др.), что позволяет образовать в них соответствующие карбиды. Такие элементы, как V, Ti, Nb, образуя карбид типа MeC, имеют две стадии легирования.

На первой стадии (для примера рассмотрим ванадий – V) при соотношении  $V/C \approx 1$  происходит слабое обогащение твёрдого раствора ( $\alpha$ ) легирующим элементом и связывание основной его доли в карбиды. При этом увеличивается количество карбидов легирующего элемента и снижается количество цементита.

На второй стадии ( $V/C > 1$ ) процесс характеризуется переходом от образования цементита  $Fe_3C$  к карбиду VC. Это характерно и для Ti, Nb, Cr. При этом снижается содержание углерода в феррите, диспергируется размер зерна феррита и других карбидов, а также активно обогащается твёрдый раствор легирующим элементом.

Для Mo на первом этапе первой стадии легирования, при соотношении  $Mo/C \approx 1$ , образуется  $Me_3C \rightarrow Me_{23}C_6$ . На второй стадии легирования, при соотношении  $Mo/C > 2$ , молибден переходит в твёрдый раствор.

Для хрома вторая стадия легирования стали наступает при соотношении  $Cr/C > 10$ .

На второй стадии легирования, когда легирующий элемент накапливается в феррите, свойства стали определяются свойствами феррита. Повышаются прочностные свойства, однако понижаются вязкость и хладостойкость.

Изменения в фазовом и структурном состояниях, происходящие на первой стадии легирования (уменьшение размеров карбидов, измельчение зерна и снижение содержания углерода в феррите), благоприятно сказываются на механических свойствах сталей: повышается их прочность и вязкость. Такое изменение свойств имеет место и при увеличении содержания легирующего элемента в пределах соотношения, отвечающего первой стадии.

Все это учитывается при обработке легированных сталей, и последующая ТО проводится для оптимизации свойств, отвечающих предъявляемым требованиям.

Легированные стали упрочняются путем мартенситного превращения при закалке. Однако предел упругости оказывается весьма низким, если при закалке были исключены процессы перераспределения атомов углерода в решетке мартенсита и в структуре стали фиксировалось большое количество остаточного аустенита. В обычных условиях закалки, когда во время ее проведения или после нее неизбежно протекают процессы диффузионного перераспределения атомов углерода, отмечается рост прочностных свойств. При этом чем мельче зерно и меньше количество остаточного аустенита, тем выше прочность. Типичные температуры закалки находятся в интервале 760–870 °C. Максимальные свойства изделия из легированной стали достигаются после отпуска при температуре в интервале 250–450 °C за регламентированное время, когда в структуре стали уже нет остаточного аустенита, а в результате распада мартенсита образовалось большое число карбидных частиц, когерентно связанных с матрицей, а дислокации образовали субструктуру полигонизационного типа. Количество остаточного аустенита необходимо регулировать температурой и временем выдержки при отпуске.

Если использовать изотермическую закалку на нижний бейнит, то можно получить более высокие свойства инструмента. Так, при равной твердости стали после обычной и изотермической закалки и отпуска в последнем случае достигаются более

высокие значения усталостной прочности и трещиностойкости. Изотермическая закалка имеет и ряд технологических преимуществ – меньше деформация изделий и меньше опасность возникновения закалочных трещин. Режимы изотермической закалки определяются для каждой марки стали индивидуально.

#### Разработка конструкций ножей и режимов ТО для различных рубильных машин

В Физико-техническом институте НАН Беларуси и Барановичском государственном университете разработана конструкторская документация и технологические процессы изготовления рубильных ножей для различных рубильных машин.

В зависимости от разновидности рубильных машин, на которых используются ножи, для их изготовления было предложено использовать инструментальную легированную сталь марки 6ХВ2С ГОСТ 5950–73, из которой изготавливают ножи для холодной резки металла, резбонакатные плашки, пуансоны и обжимные матрицы при холодной работе, штампы сложной формы, работающие с повышенными ударными нагрузками; сталь марки У8А ГОСТ 1435–74, применяемую для инструмента, работающего в условиях, не вызывающих разогрева режущей кромки: фрез, зенковок, топоров, стамесок, долот, пил продольных и дисковых, накатных роликов, кернеров, отверток, комбинированных плоскогубцев, боковых кусачек; сталь марки 9ХФ ГОСТ 5950–73, применяемую для производства рамных, ленточных, круглых строгальных пил; штемпелей при холодной работе; ножей при холодной резке металла, обрезных матриц и пуансонов при холодной обрезке заусенцев; кернеров.

Инструментальная легированная сталь марки 6ХВ2С относится к сталям повышенной прокаливаемости. Химический состав представлен в табл. 1. Режимы термической обработки применительно к стали 6ХВ2С определяются ГОСТ 5950–73 (оптимальная температура закалки 860–900 °С, среда закалки – масло) и обеспечивают твердость не менее HRC 57–62, а также механические свойства, представленные в табл. 2. Она также пригодна для изотермической закалки. Сталь прокаливается до 50–60 мм.

Таблица 1

#### Химический состав стали 6ХВ2С, %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	W	Cu
0,55–0,65	0,5–0,8	0,15–0,45	до 0,4	до 0,03	до 0,03	1–1,3	2,2–2,7	до 0,3

Таблица 2

#### Механические свойства стали 6ХВ2С, при $T = 20$ °С

Сортамент	Размер, мм	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Термообработка
Сталь	–	1770	1680	7	18	260	закалка 880 °С, масло, отпуск 450 °С, 2 ч

Сталь марки У8А относится к углеродистым сталям, но по значению предела упругости после закалки она не уступает легированным сталям. К недостаткам следует отнести низкую прокаливаемость, из-за низкой устойчивости переохлаждаемого аустенита закалку даже деталей малого сечения следует осуществлять при значительных скоростях охлаждения. Это приводит к получению высоких остаточных напряжений. Закаленные углеродистые стали отличаются малой устойчивостью против отпуска, поэтому повышенные температуры отпуска для увеличения пластических свойств и более полного снятия остаточных напряжений приводят к сильному понижению прочностных

свойств. Эти стали характеризуются повышенным значением температурного коэффициента модуля упругости и отличаются низкой теплостойкостью.

Режимы термической обработки применительно к стали марки У8А (табл. 3) определяются ГОСТ 1435–74 (оптимальная температура закалки 780–800 °С, среда закалки – вода) и обеспечивают твердость не менее HRC 60–63, а также механические свойства, представленные в табл. 4.

Таблица 3

## Химический состав стали У8А, %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,75–0,84	0,17–0,33	0,17–0,28	до 0,25	до 0,018	до 0,025	до 0,2	до 0,25

Таблица 4

Механические свойства стали У8А, при  $T = 20$  °С

Сортамент	Размер, мм	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Термообработка (температура критических точек)
Лента нагартованная, ГОСТ 2283–79	–	740–1180	–	–	–	–	$A_{c1} = 720$ $A_{r1} = 700$ $M_n = 245$
Лента отожженная, ГОСТ 2283–79	–	640–740	–	10–15	–	–	закалка 780 °С, вода, отпуск 150–220 °С, 2 ч

Сталь 9ХФ относится к низколегированным сталям. Химический состав (табл. 5) определен так, чтобы сохранить преимущества углеродистых сталей и снизить их недостатки: низкую закаливаемость и чувствительность к перегреву. Для предупреждения низкой закаливаемости она легируется Mn и Cr. Второй недостаток уменьшается при легировании Cr и V. Из-за лучшей закаливаемости эта сталь по сравнению с углеродистой получает более высокую, а главное, однородную твердость в тонких сечениях.

Таблица 5

## Химический состав стали 9ХФ, %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Cu
0,8–0,9	0,1–0,4	0,3–0,6	до 0,4	до 0,03	до 0,03	0,4–0,7	0,15–0,3	до 0,3

Режимы термической обработки применительно к стали 9ХФ определяются ГОСТ 5950–73 (оптимальная температура закалки 850–880 °С, среда закалки – масло) и обеспечивают твердость не менее HRC 61, а также механические свойства, представленные в табл. 6.

Таблица 6

Механические свойства стали 9ХФ, при  $T = 20$  °С

Сортамент	Размер, мм	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Термообработка (температура критических точек)
Лента отожженная, ГОСТ 2283–79	0,1–4	930	–	–	–	–	$A_{c1} = 700$ , $M_n = 215$ закалка 850 °С, масло, отпуск 200 °С

**Производственные испытания рубильных ножей на ОАО «Ивацевичдрев»**

В соответствии с договором № 2012/117 от 07.06.2013 г. на ОАО «Ивацевичдрев» были проведены производственные испытания опытных образцов ножей для рубки щепы модели ФТИ5.001.1671 длиной 460 мм (рис. 1). В Физико-техническом институте НАН Беларуси и Барановичском государственном университете была разработана конструкторская документация и внедрены технологические процессы изготовления ножей. Для изготовления использовалась сталь 6ХВ2С.

Испытания проводились в цехе рубки щепы по программе и методике ФТИ 0.316 ПМ «Ножи для рубки щепы».



Рис. 1. Опытный образец ножа для рубки щепы ФТИ5.001.1671

В результате испытаний ножи обеспечили получение технологической щепы по ГОСТ 15815–83 [3], период стойкости при переработке окоренной древесины хвойных пород (сосны) без металлических и минеральных включений влажностью не ниже 50 % при температуре не ниже минус 10 °С составил 400 мин. Рубка велась до затупления режущей кромки ножа.

По мере затупления ножей весь комплект демонтировался и подвергался перезаточке в цехе предприятия. Перезаточка ножей (демонтаж ножей) включает наладку заточного оборудования, контроль режимов заточки, контроль точности установки ножей на рубительную машину. Было произведено пять перезаточек. Результаты испытаний ножей заносились в протокол.

Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанные ножи к использованию на деревообрабатывающих предприятиях.

В дальнейшем планируется провести опытные испытания рубильных ножей из сталей 9ХФ и У8А на деревообрабатывающих предприятиях Беларуси.

**Заключение**

В результате выполнения работы проведен анализ влияния легирующих элементов на свойства инструментальных сталей после ТО. Рубильные ножи подвергаются большим ударным нагрузкам и поэтому должны обладать оптимальным сочетанием твердости и вязкости. Заданный уровень твердости можно получить с помощью дисперсионного твердения или в результате мартенситного превращения. Для этого стали должны быть легированы элементами, имеющими большее химическое сродство к углероду, чем железо (Mn, Cr, Mo, W, V, Ti, Nb и др.), что позволяет образовать в них соответствующие карбиды. Рассмотрены различные варианты структурно-фазовых превращений под влиянием определенных легирующих элементов и температурных режимов, позволяющие получать необходимое сочетание твердости и вязкости.

В качестве базовой выбрана сталь марки 6ХВ2С, которая по результатам проведенных исследований структуры и механических свойств различных легированных сталей показала наилучшие результаты. Результаты проведения производственных

испытаний рубильных ножей на ОАО «Ивацевичидрев», изготовленных из стали 6ХВ2С, позволяют рекомендовать ее к использованию при изготовлении рубильных ножей для деревообрабатывающих предприятий.

#### **Литература**

1. Гуляев, А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. – М. : *Металлургия*, 1966. – 480 с.
2. *Технологические методы обеспечения надежности деталей машин* / И. М. Жарский [и др.]. – Минск : *Выш. шк.*, 2010. – 336 с.
3. ГОСТ 15815–83. *Щепа технологическая. Технические условия.* – Введ. 01.01.1983. – М. : *Изд-во стандартов*, 1983. – 11 с.

*Получено 06.01.2015 г.*