



УДК 620.171

**А.В. Алифанов^{1,2}, А.М. Милюкова¹,
В.В. Цуран², Н. В. Бурносав¹**

¹Государственное научное учреждение
«Физико-технический институт НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь

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

E-mail: alifanov_aav@mail.ru, annart@mail.ru

Дата поступления: 21.10.2016

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭФФЕКТИВНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Аннотация

Исследованы свойства основных марок легированных сталей, используемых российскими, немецкими и другими производителями дереворежущего инструмента. Выявлены их структуры, химический состав, механические свойства. К особенностям процесса обработки древесины относится высокая скорость резания и наличие ударных нагрузок. Поэтому должно быть оптимальное сочетание твердости, приводящей к повышению хрупкости инструмента, и ударной вязкости, обеспечивающей отсутствие выкрашивания лезвий и образования трещин. К одним из эффективных методов увеличения стойкости ножей является использование упрочняющих технологий. Разработаны режимы упрочняющей термомеханической и магнитно-импульсной обработки дереворежущих ножей. Результаты исследований рекомендуются к практическому использованию.

Ключевые слова: легированная сталь, структура, химический состав, дереворежущий инструмент, твердость, ударная вязкость, упрочнение.

Введение

В Республике Беларусь практически отсутствует сырьевая база для производства инструментальных сталей, что предопределяет их рациональное использование путем повышения износостойкости и увеличения ресурса использования за счет применения упрочняющих технологий.

В Физико-техническом институте НАН Беларуси разработана новая технология повышения прочностных свойств стальных изделий, как закаленных, так и не закаленных, путем воздействия сильным импульсным электромагнитным полем, которая обеспечивает повышение стойкости упрочненных стальных изделий до 3 раз.

Преимуществом магнитно-импульсной обработки по сравнению с известными методами упрочнения является то, что геометрические параметры упрочнённых изделий не меняются; не требуются дополнительная термообработка, вакуумное, гальваническое и другое дорогостоящее оборудование, финишные операции; сам процесс

отличается низким энергопотреблением, высокой производительностью, экологической чистотой.

Основная часть

Зарубежные изготовители ножей для рубительных машин используют легированные стали высокого качества, имеющие гораздо большую стоимость, чем, например, аналогичные стали, выпускаемые в России. При получении таких ответственных изделий, как рубильные ножи, подвергающихся большим ударным нагрузкам, фирмы-изготовители разрабатывают свои специальные методы термо- или термомеханической обработки, благодаря чему добиваются получения в готовых изделиях мелкодисперсной, однородной структуры, необходимого соотношения аустенита, мартенсита и карбидных включений. Все это и позволяет изготавливать дереворежущие (рубильные) ножи с высокими эксплуатационными характеристиками.

На деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь (ОАО «Ивацевичдрев», ОАО «Минскдрев», ЗАО «Холдингвая компания «Пинскдрев», ОАО «Барановичдрев», ОАО «ФанДОК», ОАО «Витебскдрев», ЗАО «Молодечномебель» и др.) подобраны образцы (20 шт.) отработавших рубильных ножей импортного производства (Германия, Чехия, Иран, Россия) для рубильных машин, используемых при получении технологической щепы.

Из полученных ножей методом электроэрозионной резки вырезаны образцы для изготовления шлифов для металлографических и дюраметрических исследований. Проведен химический анализ изготовленных образцов, по которому установлены марки стали, из которых они изготовлены. Исследованы механические свойства образцов (твердость, ударная вязкость) по стандартным методикам [1, 2]. На основании проведенных исследований подобраны российские аналоги сталей для изготовления ножей для рубки щепы, которые представлены в сводной таблице 1.

Твердость в основном зависит от содержания углерода, дисперсионного твердения, количества остаточного аустенита и др. Таким образом, задаваемая твердость может быть достигнута с помощью оптимизации химического состава, термообработки (закалка в зависимости от балла зернистого перлита), правильного выбора температуры и продолжительности отпуска.

При выборе марки стали для производства изделий предполагается наличие определенной связи между ее свойствами и показателями работоспособности инструмента. Важно установить соответствие механических свойств стали основным показателям: работоспособности инструмента, технологическим свойствам, форме и способу изготовления инструмента (штампруемость, обрабатываемость), стоимости и дефицитности материала (стали).

Одной из важных характеристик инструментальных сталей является вязкость, характеризующая сопротивление образованию трещин и разрушению под действием ударных нагрузок (обычно выражается величиной ударной вязкости, МДж/м²).

При высокой вязкости в сочетании с высокой прочностью предупреждается образование сколов (выкрашивание) и трещин. Наряду с определенными внешними факторами на вязкость сталей влияет множество внутренних факторов: химический состав, загрязняющие примесные компоненты, количество и качество включений, степень пластической деформации, величина зерен аустенита, количество, распределение, дисперсность карбидов и других фаз, внутренние напряжения. Авторами установлено, что на вязкость сталей, помимо термообработки, существенно изменяющей структуру, важное влияние оказывает технология их изготовления, а также способ выплавки и горячего деформирования.

В Физико-техническом институте НАН Беларуси и Барановичском государственном университете разработаны новые импортозамещающие технологии изготовления рубильных ножей различных конфигураций, включающие оптимальные режимы термической обработки, а также термомеханической и магнитно-импульсной упрочняющих обработок [3].

После анализа химического состава и механических свойств сталей, приведенных в таблице 1, а также проведения исследований по определению механических свойств этих сталей [4, 5], для изготовления опытных образцов рубильных ножей была выбрана легированная сталь 6ХВ2С. Одной из целей работы было также получение высококачественных рубильных ножей из относительно дешевых сталей типа У8А с применением некоторых упрочняющих технологий.

При изготовлении ножей использовали оптимальные режимы упрочняющей магнитно-импульсной обработки (МИО) и термомеханической обработки (ТМО). Исследованы механические свойства изготовленных ножей (твердость, ударная вязкость) по методикам в соответствии с ГОСТ 9013, ГОСТ 9454 [1, 2]. Твердость ножей находится в интервале 50-57 HRC, ударная вязкость – 12-20 Дж/см², что соответствует лучшим образцам импортных рубильных ножей.

Химический состав и свойства сталей, из которых изготовлены импортные ножи рубительных машин

| № образца | Страна-производитель, фирма | Марка стали | Аналогичная марка стали | Массовая доля легирующих элементов, % | | | | | | | | | | Твердость, HRC | Ударная вязкость, Дж/см ² |
|-----------|-----------------------------|-------------|---|---------------------------------------|---------|-----------|-----------|--------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------------|--------------------------------------|
| | | | | C | Si | Mn | Cr | Cu | Ni | S | P | Mo | W | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1, 11 | Германия | Din, 1.3355 | X6BФ | 0,48 | 0,82 | 0,46 | 7,96 | 0,07 | 0,26 | - | 0-0,025 | 1,10 | - | 52,0–54,0 | 17 |
| 2, 16 | Чехия, Pilana | Din 1.3355 | 7X3 8X3 6XC 75XM 75XCMФ75XMФ | 0,65–0,80 | 1,09 | 0,47 | 3,88 | - | 0,28–0,3 | - | - | 0,71 | - | 59,0–60,0 | 19 |
| 3, 17 | Россия, | 65Г | 70, У8А, 70Г 60С2А 9ХС 50ХФА 60С2 55С2 Din66Mn4 | 0,71 | 0,28 | 1,04 | 0,08 | 0,07 | 0,04 | - | - | - | - | 54,0–56,0 | 16 |
| 4, 18 | Иран | Din 1.2344 | 4X5MФC | 0,39 | 0,84 | 0,41 | 7,56 | 0,07 | 0,23 | - | - | 1,20 | - | 52,0–54,8 | 18 |
| 5, 19 | Россия | У8А | Din 1.1525 C80W1 | 0,75–0,84 | 0,28 | 0,17–0,28 | 0,23 | 0,17 | 0,12–0,25 | 0-0,018 | 0-0,025 | 0,02 | - | 57,0–59,0 | 19 |
| 6 | Россия, ГМЗ | 65С2ВА | 60С2А 60С2ХА PN65S2WA | 0,61–0,69 | 1,7 | 0,7–1 | 0,30 | 0,20 | 0–0,2 | 0-0,025 | 0-0,025 | - | 0,9 | 59,0–60,0 | 15 |
| 7 | Россия | ХВГ | 9ХС, ХГ, 9ХВГ ХВСГ ШХ15СГ Din 1.2419 WNr 105WCr6 | 0,9–1,05 | 0,1–0,4 | 0,8–1,1 | 0,9–1,2 | 0,30 | 0-0,35 | 0-0,03 | 0-0,03 | 0,2 | 1,33 | 57,0–59,0 | 11 |
| 8 | Россия | 9ХС | ХВГ ХВСГ WNr 150Cr14 90CrSi | 0,85–0,95 | 1,2–1,6 | 0,3–0,6 | 0,95–1,25 | 0,20 | 0-0,35 | 0-0,03 | 0-0,03 | - | 0,1 | 59,0–60,0 | 15 |
| 9 | Россия | X12MФ | X6BФ X12Ф1 X12BM Din 1.2379 | 1,48 | 0,40 | 0,33 | 11,8 | 0,26 | 0,30 | - | - | 0,53 | - | 56,0–58,0 | 13 |
| 10, 13 | Россия, Станкодеталь | 6ХС | Din 60MnSi4 | 0,6–0,7 | 0,6–1 | 0,15–0,45 | 1–1,3 | до 0,3 | до 0,4 | до 0,03 | до 0,03 | до 0,2 | до 0,2 | 60,0–61,0 | 13 |
| 12, 15 | Россия | 5ХНВС | Din55NiCrMoV6 | 0,5–0,6 | 0,6–0,9 | 0,3–0,6 | 1,3–1,6 | до 0,3 | 0,8–1,2 | до 0,03 | до 0,03 | - | - | 52,0–54,0 | 18 |
| 13, 14 | Россия | 6ХГМНФТ | - | 0,5–0,6 | 0,6–0,9 | 0,3–0,6 | 1,3–1,6 | до 0,3 | 0,8–1,2 | до 0,03 | до 0,03 | - | - | 59,0–60,0 | 19 |
| 20 | Россия | 6ХВ2С | 6Х3ФC 5ХВ2СФ DIN17350 WNr 60WCrV7 55WCrV8 | 0,55–0,65 | 0,5–0,8 | 0,15–0,45 | 1–1,3 | до 0,3 | до 0,4 | до 0,03 | до 0,03 | 0,6–0,9 | 2,2–2,7 | 60,0–63,0 | 20 |

Исследование структурно-фазового состава образцов, вырезанных из ножей, показало, что они имеют структуру нижнего бейнита, что повысило вязкость стали. Материал опытных ножей, упрочненных ТМО, имеет текстурированную мелкодисперсную структуру с выделенными мелкими карбидами (рис. 1, а), а образцы, упрочненные МИО – имеют уплотненный поверхностный слой (рис. 1, б), что обеспечивает высокие прочностные свойства ножей в обоих случаях.

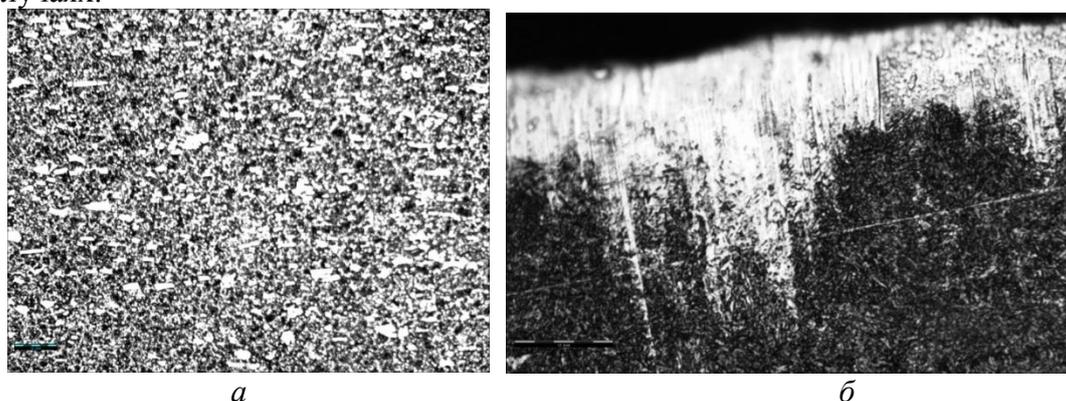


Рисунок 1. Микроструктура стали У8А: а – упрочненной ТМО, б – упрочненной МИО

Повышение прочности стальных ножей после ТМО объясняется тем, что в результате деформации из 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 более мелкодисперсная, однородная структура, чем при обычной термообработке.

Испытания опытных партий ножей, изготовленных из сталей марок У8А и 6ХВ2С, проводили в производственных условиях на различных деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь и России. После испытаний ножей исследовали характер их износа и изменения геометрических параметров, проведены замеры радиуса затупления по всей длине в трех сечениях, который находится в интервале 50–60 мкм.

Анализ результатов проведенных исследований износа ножей показал, что изготовление ножей с применением предлагаемых упрочняющих технологий позволяет снизить интенсивность износа и затупления режущих кромок ножей по сравнению с ножами, изготовленными с применением только термообработки, причем при помощи МИО высокие эксплуатационные свойства изделия (стойкость), не уступающие ножам из высоколегированных сталей,

можно получить, используя дешевые углеродистые стали (например, У8А).

На рисунке 2 представлены магнитно-импульсные установки с различными электрофизическими характеристиками, изготовленные в Физико-техническом институте НАН Беларуси (г. Минск). Они имеют различные технические характеристики: максимальная запасаемая энергия 6–12 кДж, максимальное зарядное напряжение 5,5–6 кВ, емкость накопителя 450–750 мкФ, оснащаются плоскими и цилиндрическими индукторами для обработки изделий различной формы. Для обработки плоских деревообрабатывающих ножей использовали плоские индукторы.

Технология упрочнения готовых стальных деревообрабатывающих ножей путем воздействия сильным импульсным электромагнитным полем обеспечила повышение их периода стойкости в зависимости от марки стали в 1,5–3 раза.

Преимуществом магнитно-импульсной обработки по сравнению с известными методами упрочнения является то, что геометрические параметры упрочнённых изделий не меняются, не требуются дополнительная термообработка, вакуумное, гальваническое и другое дорогостоящее оборудование, финишные операции, сам процесс отличается низким энергопотреблением, высокой производительностью, экологической чистотой.



Рисунок 2. Оборудование, изготовленное в Физико-техническом институте НАН Беларуси для упрочняющей магнитно-импульсной обработки

Анализ рынка зарубежных поставщиков сталей показывает, что со стороны западных фирм идет демпинговая война с российскими производителями, в результате чего ножи западного производства продаются дешевле российских, хотя недавно (2012-2014 гг.) было наоборот. Поэтому белорусские потребители все чаще выбирают изделия западных фирм.

Отсюда можно сделать вывод, что российские производители инструментальных сталей, чтобы выиграть навязанную Западом конкурентную борьбу, должны также снизить цены на выпускаемые стали.

Заключение

В результате проведенных исследований механических свойств импортных дереворежущих (рубильных) ножей установлено, что хотя твердость и является важнейшей характеристикой инструментальных сталей, не всегда следует добиваться ее повышения, поскольку при росте твердости зачастую снижаются прочность металла. При определенных соотношениях вязкости и твердости предупреждается образование трещин и сколов (выкрашивание), значительно повышается период стойкости ножей. Наряду с внешними факторами (прежде всего свойствами обрабатываемых древесных материалов, параметрами процесса рубки), на прочность стальных ножей влияет множество внутренних факторов материала: химический состав, загрязняющие примесные компоненты, количество и качество инородных включений, соотношение аустенита, мартенсита, цементита, а также дисперсность и однородность структуры, остаточные внутренние напряжения. Это значит, что на прочность сталей, помимо термообработки, существенно изменяющей структуру, важное влияние оказывает технология изготовления изделий. Стали, не обладающие достаточной вязкостью, нельзя использовать для изготовления инструмента, работающего при значительных динамических нагрузках (например, при рубке мерзлой древесины).

Проведенные исследования позволяют утверждать, что российские производители инструментальных сталей могли бы насытить белорусский рынок доступными

по цене марками сталей для производства дереворежущего инструмента. Однако, маркетинговый анализ рынка сталей, предлагаемых в Республике Беларусь, показывает, что цены на инструментальную сталь из Германии оказываются ниже цен российских производителей.

Результаты исследований могут быть положены в основу международного сотрудничества по поставке высоколегированных сталей для инструментального производства.

Библиографический список

1. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. – Введ. 01.01.1969. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1989. – 11 с.
2. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. – Введ. 01.01.1979. – М.: ИПК издательство стандартов, 1989. – 9 с.
3. Алифанов А.В., Милюкова А.М., Цуран В.В. Разработка импортозамещающей технологии изготовления рубильных ножей для производства технологической щепы / Перспективные материалы и технологии: коллективная монография, гл. 25. В 2т. Т1 / под ред. В.В. Клубовича. – УО «ВГТУ», Витебск, 2015. – С.277–299.
4. Алифанов А.В., Милюкова А.М., Цуран В.В. Исследование химического состава и механических свойств рубильных ножей зарубежного производства // Литье и металлургия. – 2015. – №1 (78). – С. 105–113.
5. Милюкова, А.М. Исследование физико-механических свойств и проведение производственных испытаний рубильных ножей, изготовленных по импортозамещающим технологиям / А.М. Милюкова, Н.В. Бурносков, В.В. Цуран // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки: материалы X Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16-18 сентября 2015г. – Минск, 2015. – Т.2 – С 221 – 228.