

УДК 620.171.2

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ (ЧАСТЬ 2)

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

Организация производства отечественных ножей для рубки щепы на соответствующих предприятиях республики имеет большое практическое значение для деревообрабатывающей промышленности, так как в настоящее время почти вся номенклатура используемых ножей приобретается за рубежом, на что тратятся крупные суммы валютных средств.

В соответствии с поручением Первого заместителя Премьер-министра Республики Беларусь В. И. Семашко (Протокол № 34/12 пр. от 02.06.2012 г.) и приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь № 140 от 26.03.2013 г. в Физико-техническом институте НАН Беларуси и Барановичском государственном университете разрабатываются прогрессивные импортозамещающие технологические процессы изготовления ножей для рубки технологической щепы, применяемой в гидролизно-целлюлозно-бумажном и мебельном производстве.

Предварительные испытания опытных образцов рубильных ножей, полученных по разработанным технологиям, проведены в производственных условиях на различных деревообрабатывающих предприятиях, в том числе на ОАО «Витебскдрев».

Анализ основных видов термической обработки для изготовления опытных образцов рубильных ножей

Отжиг и нормализация [1]

Отжиг и нормализация обычно являются первоначальными операциями термической обработки (ТО), цель которых – либо устранить некоторые дефекты предыдущих операций горячей обработки (литья, пластической деформации и др.), либо подготовить структуру к последующим технологическим операциям (резание, закалка). Однако довольно часто отжиг и нормализация являются и окончательной ТО. Это бывает, когда после отжига или нормализации получают удовлетворительные с точки зрения эксплуатации детали свойства и не требуется их дальнейшее улучшение путем закалки и отпуска.

Нормализация – разновидность отжига; служит для некоторого повышения твердости и частичного устранения цементитной сетки на границах зерен в целях улучшения обрабатываемости заготовок метчиков, плашек, напильников. При нормализации охлаждение производится на спокойном воздухе, что создает несколько более быстрое охлаждение, чем при обычном отжиге. В случае нормализации превращение должно произойти в верхнем районе температур с образованием перлита, но при

несколько большем переохлаждении, что определяет различие свойств отожженной и нормализованной стали.

Основные цели отжига: перекристаллизация стали и устранение внутренних напряжений.

Обе эти задачи выполняются обычным полным отжигом, заключающимся в нагреве стали выше верхней критической точки с последующим медленным охлаждением. Ферритно-перлитная структура переходит при нагреве в аустенитную, а затем при охлаждении аустенит превращается обратно в феррит и перлит, т. е. происходит полная перекристаллизация.

Основная термическая обработка включает, как правило, закалку и последующий отпуск. Обеспечивает получение требуемых свойств по прочности, твердости, теплостойкости инструмента. Закалку условно можно разделить на два вида:

- 1) закалка с низким отпуском (получаемая структура стали – мартенсит отпуска);
- 2) закалка на мартенсит с последующим высоким отпуском для дисперсионного твердения (получаемая структура стали – мартенсит первичный, мартенсит отпуска, остаточный аустенит).

С целью уменьшения окисления и обезуглероживания стали [2] нагрев инструмента при закалке осуществляется различными способами: в соляных или свинцовых ваннах, электро- или газовых печах с защитной атмосферой, в вакуумных печах, токами высокой частоты. Наибольшее распространение для инструмента из высоколегированных сталей получил нагрев в соляных ваннах и вакуумных печах.

В связи с высоким коэффициентом теплоотдачи и в целях обеспечения равномерного прогрева заготовок по сечению, снижения внутренних напряжений и последующей деформации нагрев инструмента в соляных ваннах при закалке осуществляют ступенчато, в несколько этапов. Охлаждение инструментов после нагрева под закалку и выдержки (аустенитизации) осуществляется в жидкой среде (масле). Допускается охлаждение мелкогабаритного инструмента (диаметром или толщиной менее 3 мм) на воздухе.

Высокий отпуск производят перед окончательной термической обработкой для снятия внутренних напряжений после механической обработки заготовок или после проката. Высокому отпуску обычно подвергают заготовки из быстрорежущих сталей, изготавливаемых методами пластической деформации (секторным прокатом). Время выдержки заготовок инструмента зависит от их размера.

Инструмент из высоколегированных инструментальных сталей обычно подвергается двух- или трехкратному отпуску. Отпуск производят при температурах 150–300 °С с выдержкой в течение 1 ч. Однако довольно распространен и сокращенный отпуск, осуществляемый при более высоких температурах и уменьшенной выдержке. В последнем случае следует тщательно контролировать режим отпуска (температуру и время выдержки). Охлаждение после каждого нагрева – до комнатной температуры. Отпуск инструмента из других инструментальных сталей (ГОСТ 5950–73) чаще всего однократный.

Отпуск – термическая операция, состоящая в нагреве заготовки ниже температуры превращения для получения структурно более устойчивого состояния.

Возможные дефекты, возникающие при закалке рубильных ножей

Неправильно проведенная закалка может вызвать различные дефекты. Наиболее распространенные из них: недостаточная твердость, мягкие пятна, повышенная хрупкость, обезуглероживание и окисление поверхности и, наконец, коробление, деформации и трещины [1]–[3].

Коробление, деформации и трещины являются следствием внутренних напряжений. Медленное охлаждение при закалке в районе мартенситного превращения –

самый эффективный способ уменьшения напряжений и устранения дефектов этого вида. Мелкие детали, так же как и простые по форме, без острых углов и резких переходов, менее склонны к короблению. Поэтому при конструировании придание детали технологичной формы является важным способом уменьшения этого вида дефекта. Более сложные по форме детали целесообразнее изготавливать из легированных, закаливаемых в масле сталей, чем из углеродистых, закаливаемых в воде.

При ступенчатой закалке рихтовку и правку склонных к короблению изделий осуществляют после извлечения их из закалочной ванны, т. е. тогда, когда сталь проходит интервал мартенситного превращения. Металлы в момент протекания фазовых превращений обладают аномально высокой пластичностью, что и используется в процессах правки после ступенчатой закалки.

Недостаточная твердость закаленной детали объясняется недогревом (низкая температура в печи, недостаточная выдержка при правильной температуре в печи) или недостаточно интенсивным охлаждением. В первом случае мартенсит не обладает достаточной твердостью (не содержит достаточно углерода); во втором не переохлаждается до мартенситного превращения, и структура полностью или частично состоит из продуктов перлитного распада аустенита (троостит, сорбит).

Повышение температуры печи или удлинение выдержки в первом случае устраняет пониженную твердость закаленных деталей. Во втором случае следует применять более интенсивное охлаждение, т. е. во время закалки деталь должна более энергично контактировать с охлаждающей жидкостью.

Образование мягких пятен также является следствием недостаточного прогрева или недостаточно интенсивного охлаждения. Методы устранения указаны выше.

Иногда мягкие пятна появляются из-за неоднородности исходной структуры, например, скоплений феррита. В этих местах при нагреве до температуры закалки может сохраниться феррит или получиться аустенит с недостаточной концентрацией углерода. Естественно, что в этих местах даже при правильно проведенной закалке твердость недостаточная. Этот дефект устраняет нормализация.

Повышенная хрупкость – дефект, обычно появляющийся в результате закалки от излишне высоких температур (более высоких, чем необходимо), при которых происходит значительный рост зерен аустенита. Дефект обнаруживается механическими испытаниями по излому или по микроструктуре. Устраняют этот дефект повторной закалкой от нормальных для данной стали температур.

Окисление и обезуглероживание поверхности часто происходит при нагреве в пламенных или электрических печах без контролируемой защитной атмосферы. Поэтому дают припуск на шлифование, что удорожает и усложняет технологию изготовления таких деталей. Устранить этот дефект поможет печь с контролируемой защитной атмосферой (соляные ванны).

Для изготовления рубильных ножей с заданными эксплуатационными характеристиками была выбрана сталь 6ХВ2С. Определены режимы термической обработки, обеспечивающие в ножах мелкодисперсную, однородную структуру и необходимое соотношение троостомартенсита и карбидных включений. Для получения рубильных ножей применялась ТО в защитной атмосфере для уменьшения окислительных процессов, причем интервалы закалочных температур были узкие. Для сохранения необходимой вязкости стали закалку проводили в растворе солей.

Испытания ножей для рубильных машин на ОАО «Витебскдрев»

Рубильные ножи, изготавливаемые для проведения испытаний, должны соответствовать ГОСТ 17342–81 [4]. Перед проведением испытаний древесное сырье тщательно проверяется на отсутствие минеральных, металлических и других включений. Через каждые 2 ч работы необходимо проводить контроль состояния рубильных

ножей на наличие трещин, забоин, сколов, замеры величины износа режущей кромки (радиуса режущей кромки по всей длине не менее, чем в трех сечениях методом слепков). В результате испытаний рубильные ножи должны обеспечивать получение технологической щепы, соответствующей ГОСТ 15815–83 [5]. Установленный период стойкости ножей при переработке окоренной древесины хвойных пород без металлических и минеральных включений, влажностью не ниже 50 %, при температуре не ниже -10°C , должен составлять не менее 360 мин. Процесс рубки щепы ведется до затупления режущей кромки ножей. По мере затупления весь комплект ножей демонтируется и подвергается перезаточке в цехе предприятия. Результаты испытаний ножей (отработанное время до очередной перезаточки, радиус изношенной режущей кромки) заносятся в протокол, где учитывается и количество переработанной древесины.

Любая рубильная машина должна соответствовать паспортным данным и нормам точности по требованиям ГОСТ, и ее необходимо подготовить к проведению испытаний на геометрическую точность следующим образом:

– биение ножевого вала должно быть не более 0,02 по всей длине (не менее трех плоскостей).

– неперпендикулярность оси ножевого вала к направлению подачи материала – не более 5° на 1000 мм.

– непараллельность оси ножевого вала плоскости контрножа – не более 0,1 мм на 1000 мм.

При выявленных отклонениях от нормируемых величин выявить причины и устранить их (зазор в подшипниках, изгиб вала).

Подготовка рубильных ножей к испытаниям: проверка на соответствие конструктивным параметрам машины; установка рубильных ножей при контроле точности установки, зазоров с контрножом.

В соответствии с договором с ОАО «Витебскдрев» № 2013/118 от 28.06.2013 г. проведены испытания опытных образцов ножей ФТИ5.001.1675 длиной 700 мм (1 комплект) для рубильной машины МРН-100 (Россия), которые были изготовлены на филиале ЗАО «Атлант»-БСЗ (рис. 1).



Рис. 1. Опытные образцы ножей для рубки щепы ФТИ5.001.1675

В результате испытаний ножи обеспечили получение технологической щепы по ГОСТ 15815–83, период стойкости при переработке древесины хвойных (сосна) составил 400 мин. Рубка велась до затупления режущей кромки ножа или выхода из строя контрножа. Произведено 7 перезаточек.

Результаты испытаний позволяют рекомендовать опытные ножи ФТИ5.001.1675 из стали 6ХВ2С к использованию на деревообрабатывающих предприятиях.

Исследования ножей для рубительных машин после проведения предварительных испытаний

Исследования механических свойств

Из испытанных образцов ножей методом электроэрозионной резки вырезаны образцы, представленные на рис. 2, для изготовления шлифов для металлографических и дюраметрических исследований. Исследованы механические свойства образцов (твердость, ударная вязкость) по стандартным методикам [6], [7].



Рис. 2. Шлифы из опытных образцов ножей

Результаты исследований показали, что твердость образцов находится в интервале 50–54 HRC, ударная вязкость – 13–17 Дж/см².

Исследования структурно-фазовых превращений

Проведен металлографический анализ образцов, полученных из испытанных рубильных ножей из стали 6ХВ2С, микроструктуры которых представлены на рис. 3.

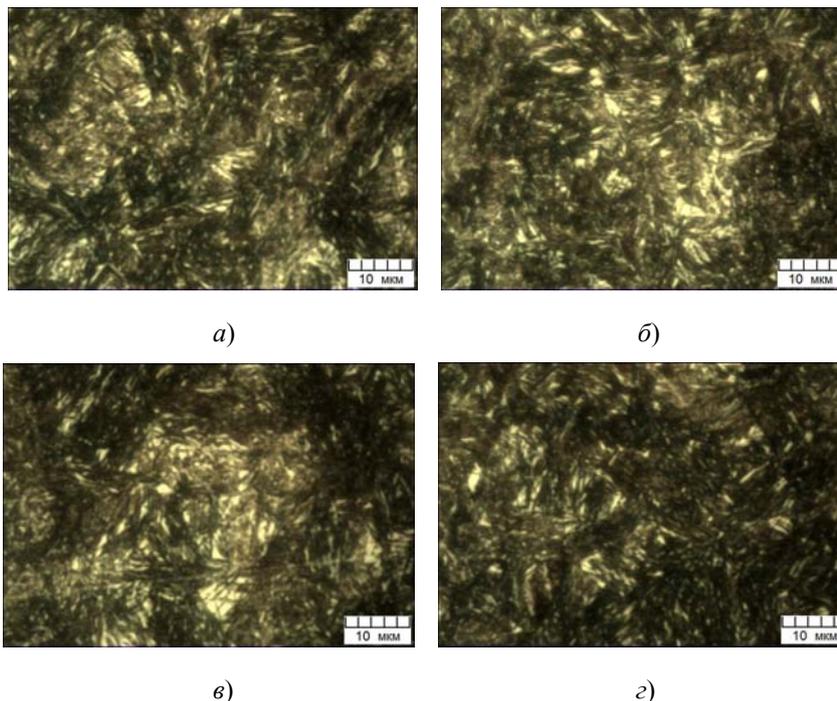


Рис. 3. Микроструктура образцов ножей из стали 6ХВ2С, полученных из испытанных ножей

Закалку ножей производили на нижний бейнит (с температуры 980 °С в селитровую ванну (расплав 55 % KNO₃ + 45 % NaNO₂ + 0,2–0,3 % воды) с температурой 350 °С). В нем дисперсность карбидов возрастает по сравнению с верхним, и они располагаются внутри феррита, повышая прочность бейнита. По этой же причине он имеет более высокую пластичность, что важно для режущих элементов, работающих

с ударными нагрузками. Стали со структурой нижнего бейнита, как правило, обладают большей вязкостью, чем после закалки на мартенсит с последующим отпуском на равную твердость.

На всех представленных фотографиях (рис. 3, *a–z*) видно, что микроструктура образцов ножей имеет мелкодисперсный, однородный характер, с выделенными мелкими карбидами, обеспечивающий высокие прочностные свойства данных изделий.

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

Заключение

Благодаря анализу основных видов термической обработки, применяемых к сталям, поставляемым на белорусский рынок из стран СНГ, были определены режимы ТО, обеспечивающие в опытных образцах ножей из стали 6ХВ2С мелкодисперсную, однородную структуру и необходимое соотношение троостомартенсита и карбидных включений. Для получения инструмента из высоколегированной инструментальной стали применили ТО в защитной атмосфере для уменьшения окислительных процессов, причем интервалы закалочных температур были выбраны очень узкие. Для сохранения необходимой вязкости стали закалку проводили в растворе солей.

В результате проведенных производственных испытаний рубильных ножей и исследований механических свойств вырезанных из них образцов установлено, что хотя твердость и является важнейшей характеристикой инструментальных сталей, не всегда следует добиваться ее очень высоких значений, поскольку при росте твердости зачастую снижаются прочность и вязкость металла. 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. Это значит, что на вязкость сталей, помимо термообработки, существенно изменяющей структуру, важное влияние оказывает технология изготовления, а также способ выплавки и горячего деформирования. Стали, не обладающие достаточной вязкостью, нельзя использовать для изготовления инструмента, работающего при значительных динамических нагрузках (например, при рубке мерзлой древесины). Исследованы механические свойства образцов (твердость, ударная вязкость) по стандартным методикам (ГОСТ 9013–59, ГОСТ 9454–78). Твердость образцов из стали 6ХВ2С находится в интервале 50–54 HRC, ударная вязкость – 13–17 Дж/см².

Исследования структурно-фазовых изотермических превращений сталей, из которых были изготовлены ножи, показали, что они имеют структуру нижнего бейнита, что повысило вязкость стали.

Литература

1. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов / И. И. Новиков. – М. : Металлургия, 1986. – 480 с.
2. Темлянцев, М. В. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением : монография / М. В. Темлянцев, Ю. Е. Михайленко. – М. : Теплотехник, 2006. – 200 с.
3. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин / И. М. Жарский [и др.]. – Минск : Выш. шк., 2010. – 336 с.

4. ГОСТ 17342–81. Ножи для рубительных машин. Технические условия. – Введ. 11.03.1981. – М. : Госкомитет СССР по стандартам, 1983. – 8 с.
5. ГОСТ 15815–83. Щепя технологическая. Технические условия. – Введ. 01.01.1983. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 11 с.
6. ГОСТ 9013–59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. – Введ. 01.01.1969. – М. : Гос. ком. СССР по стандартам, 1989. – 11 с.
7. ГОСТ 9454–78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. – Введ. 01.01.1979. – М. : ИПК изд-во стандартов, 1989. – 9 с.

Получено 06.01.2015 г.