

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ НОЖЕЙ КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ ЕВРОПЕЙСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И НОЖЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

¹Г.П. Горецкий, ¹А.Н. Давидович,
¹О.В. Кирило, ²Л.М. Давидович

¹ Физико-технический институт НАН Беларуси

² Белорусский национальный технический университет

Установлены особенности формирования микроструктуры стали 33ХС при формообразовании косилочных ножей методом электротермомеханической обработки. Проведен сравнительный анализ со структурными и механическими характеристиками ножей импортного производства.

Ключевые слова: микроструктура стали, механические свойства стали, электротермическая обработка

COMPARATIVE STRUCTURE ANALYSIS OF THE MOWING MACHINE KNIVES MADE BY EUROPEAN PRODUCERS AND THE KNIVES PRODUCED BY THE ELECTROTHERMOMECHANICAL TREATMENT TECHNOLOGY

¹G.P. Goretsky, ¹A.N. Davidovich,
¹O.V. Kirilo, ²L.M. Davidovich

¹ Physical-Technical Institute of NAS Belarus

² Belarusian National Technical University

Peculiarities of generation of steel 33XC microstructure during forming of the mowing machine knives by the electrothermomechanical treatment method have been determined. There has been carried out a comparative analysis of these knives and the structural and mechanical properties of the knives produced abroad.

Keywords: microstructure of steel, mechanical properties of steel, electrothermic treatment

E-mail: kavalfti@yandex.ru

Введение

Разработана специальная технология изготовления деталей сельскохозяйственной техники с высокими механическими характеристиками.

Повышение работоспособности деталей рабочих органов почвообрабатывающей, посевной и кормоуборочной техники является одной из актуальных проблем современного сельскохозяйственного машиностроения.

Анализ использования конструкционных материалов, последние 10–15 лет предприятиями Республики Беларусь и другими государствами СНГ, свидетельствует о применении недорогих марок сталей, а также традиционных методов термообработки. Твердость изделий составляет 35–48 HRC, прочность не превышает 900–1200 МПа, ударная вязкость — в пределах 0,2–0,6 МДж/м².

За рубежом детали рабочих органов машин получают преимущественно из более прочных борсодержащих мало- и среднеуглеродистых сталей с добавками молибдена, титана и других элементов. Применение таких сталей и специальных способов термической обработки позволило достичь повышенных эксплуатационных свойств. Детали упрочняются до твердости 48–52 HRC, прочности выше 1200 МПа и ударной вязкости — 0,80–0,85 МДж/м². Аналогами их в СНГ являются стали 30ГР, 40ГР, 30Г2Р и др.

Наряду с этим, западноевропейские фирмы разработали и реализовали наукоемкие технологии с применением новых материалов, а также лазерных и плазменных способов упрочнения деталей в сочетании со специальными процессами термической обработки: «Conit» — Kverneland, Норвегия; «Triplex» и «Dreilagenmaterial» — Huard, Франция; «Rabid» — Rabewerk, Германия; «Plasmabid» — Rabe, Германия; «Permanit» — Vogel & Noot, Австрия. Изделия, полученные с применением технологий «Conit» и «Triplex», обладают высокой конкурентоспособностью и наиболее соответствуют ударно-абразивным условиям эксплуатации.

Освоение в производственных условиях технологий получения сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники позволит обеспечивать сельхозпроизводителей изделиями собственного производства (взамен приобретения по импорту), по техническому уровню не уступающими лучшим мировым аналогам и выйти на внешние рынки.

Постановка задачи исследования

Целью работы является исследование технологических деформационных режимов процесса продольно-поперечной прокатки и электротермомеханической обработки, обеспечивающих получение на изделии профиля переменного сечения и высокопрочного состояния сталей за счет создания мелкозернистой структуры и термического упрочнения.

Задачей, решаемой в настоящем проекте, является создание комплексной технологии термопластической обработки изделий с заостренными лезвиями для кормоуборочной техники. Применение этой технологии для изготовления деталей типа ножей позволит получить изделия с повышенными эксплуатационными характеристиками в условиях абразивного воздействия и ударных нагрузок.

Новая технология позволит удешевить детали по сравнению с изготавливаемыми по традиционной технологии механической обработки, повысить производительность их изготовления и сделать производственный процесс более экологичным.

Методика проведения исследований

В качестве материала для проведения исследования была использована конструкционная легированная сталь 33ХС, применяемая в сельскохозяйственном

машиностроении при изготовлении рабочих органов сельхозтехники, имеющей высокие прочность и вязкость.

Для проведения операций нагрева и термоциклической обработки был спроектирован и изготовлен индукционный нагреватель № БНТУ.296211, позволяющий производить нагрев плоской заготовки толщиной в диапазоне 4–8 мм до температуры 1200 °С со скоростью 50–150 °С/с. Для ускоренного охлаждения заготовок применяли пневморедуктор с системой подготовки сжатого воздуха.

Продольно-поперечную прокатку частей переменного профиля производили на прокатном стане ПМ 5.066 конструкции ФТИ НАН Беларуси.

Для проведения экспериментов была спроектирована и изготовлена специализированная технологическая оснастка № ФТИ 5.736.00.000 СБ.

ДюрOMETрические исследования проводились на приборе ТК-211 (Роквелл) по шкале С по ГОСТ 9013-59. Микроструктурный анализ проводился на оптическом микроскопе М1 CRO-200 с увеличением до x2000.

Технологические приёмы изготовления ножей

Особенностью конструкции ножевых элементов кормоуборочной техники является наличие лезвийной части с остро заточенной кромкой. Для получения таких деталей с высокими эксплуатационными характеристиками в условиях повышенного контактно-усталостного износа разработана и исследована комбинированная технология, основанная на методе продольно-поперечной прокатки листовой заготовки и электротермической обработки лезвийной части изделия. При этом вследствие особенностей пластического течения металла при продольно-поперечной прокатке периферийные слои заготовки приобретают большее удлинение по сравнению с центральными, в результате чего на торцах заготовки образуется лезвие. Последующая электротермообработка, в едином технологическом цикле, обеспечивает получение высокопрочного состояния металла с мелкозернистой структурой.

Основные операции при формообразовании таких плоских изделий с переменным профилем: индукционный нагрев, продольно-поперечная прокатка, объёмная штамповка, термоциклическая обработка, закалка, отпуск. Эти операции проводились на стали 33ХС при различных сочетаниях технологических приёмов перечисленных выше. Полученные данные по микроструктуре и твердости были сравнены с аналогичными показателями ряда импортных ножей фирм Balmet, Kuhn Rikon, Krone и Claas.

Результаты исследований

Общей характерной особенностью микроструктуры ножевых элементов является наличие направленности деформации в основном теле изделия, полученной на стадии металлургического передела — продольной прокатки листа. Эта особенность является общей как для импортных изделий, так и экспериментальных образцов, полученных при выполнении данной работы.

Ниже приведены микроструктуры сталей, подвергнутых соответствующей обработке при изготовлении экспериментальных ножей для сельскохозяйственной техники.

Ножи из стали 33ХС в исходном состоянии в виде прокатанной полосы или листа имеют мелкую перлитную структуру с ориентацией её вдоль направления прокатки (рис. 1).

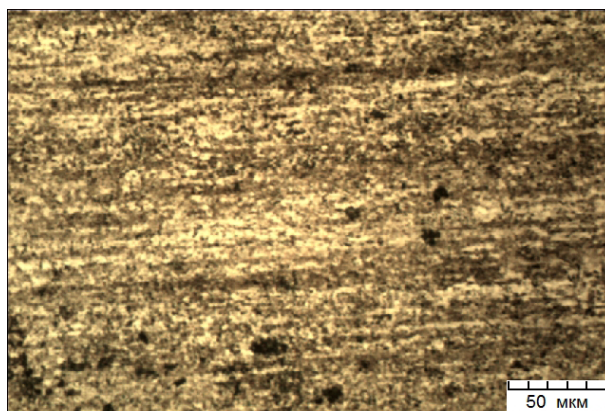


Рис. 1. Микроструктура в срединной части образца 33ХС (недеформированная)

После продольно-поперечной прокатки, термоциклической обработки (870–715 °С) и закалки (рис. 2) лезвийная часть ножа имеет мартенситную структуру с крупными и мелкими карбидными выделениями.

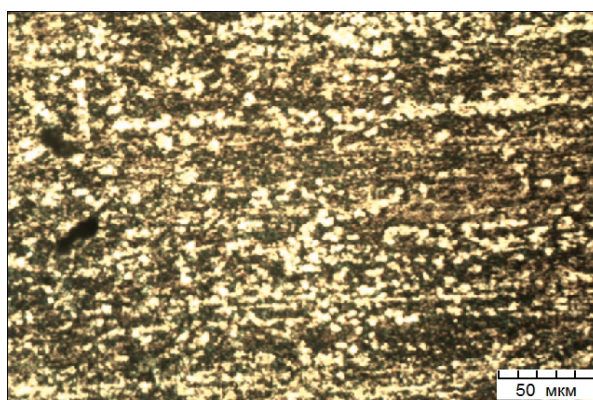


Рис. 2. Микроструктура лезвийной части образца 33ХС (прокатка, ТЦО, закалка)

Изменение последовательности проведения термопластических операций, а именно — прокатка, закалка, ТЦО при тех же степенях деформации (ϵ) тела ножа — 15–20 % и лезвийной части — 80–90 % приводит к значительному диспергированию структуры. На следующих двух рисунках представлена структура различных частей ножа из стали 33ХС. Особенно дисперсной структура образуется на острие лезвия (рис. 3, 4).

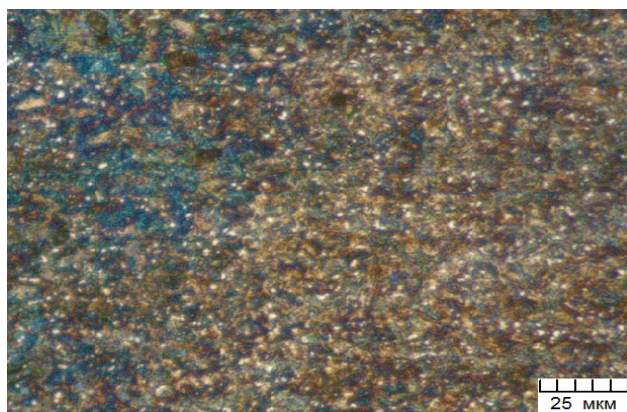


Рис. 3. Микроструктура в срединной части лезвия ножа 33ХС (прокатка, ТЦО, закалка)

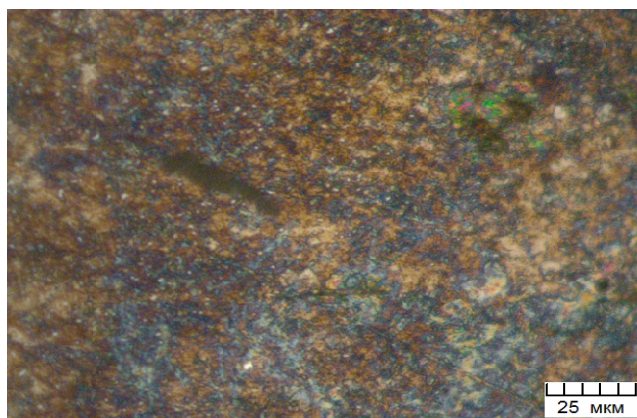


Рис. 4. Микроструктура у острия лезвия ножа 33XС (прокатка, ТЦО, закалка)

Технологии изготовления и термообработки импортных ножей не публикуются, но можно предположить, что их также прокатывают, поэтому для сравнений их прочностных характеристик проведен микроструктурный анализ и замер твердости.

Микроструктура лезвийной части ножа фирмы Valmet (рис. 5, 6) представляет собой мартенсит отпуска. Причём отпуск — высокотемпературный, так как произошло выделение большого количества дисперсных карбидов. Сохраняется также строчность карбидов по направлению прокатки. Высокий отпуск используется, чтобы сохранить достаточную пластичность.

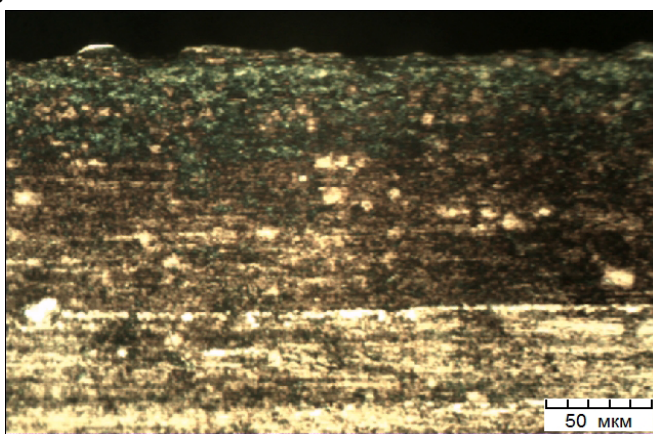


Рис. 5. Микроструктура ножа фирмы Valmet (острие лезвия)

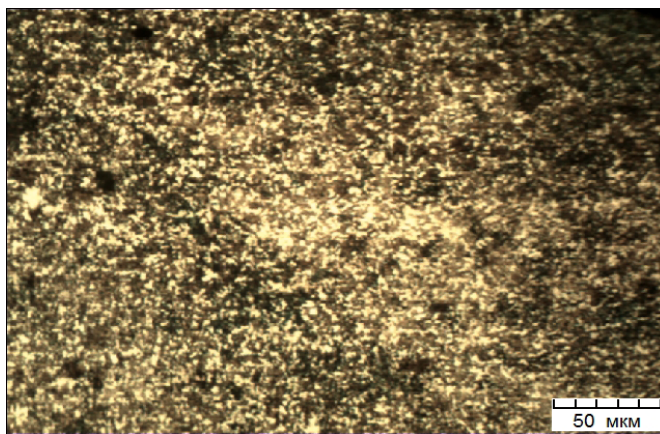


Рис. 6. Микроструктура ножа фирмы Valmet (начало лезвия)

Микроструктура лезвийной части фирмы Kuhn Rikon (рис. 7, 8) также состоит из мартенсит отпуска с достаточно большим количеством дисперсных карбидов.

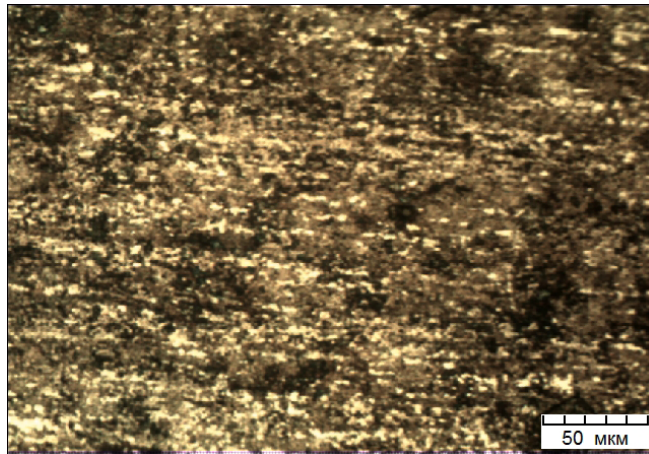


Рис. 7. Микроструктура ножа фирмы Kuhn Rikon (начало лезвия)

Особенно мелкие карбиды образуются на острие лезвия (рис. 8).

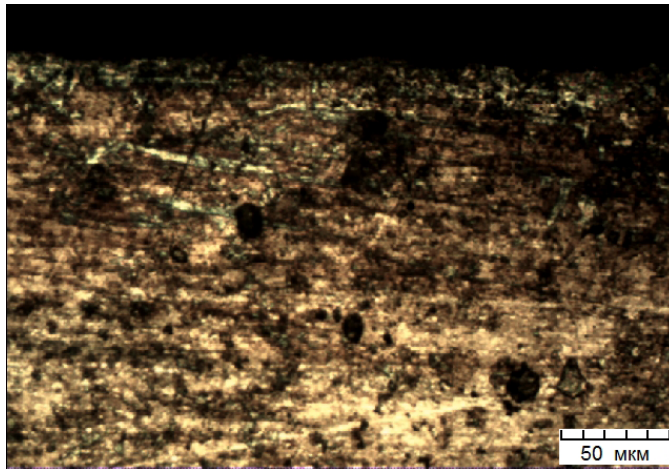


Рис. 8. Микроструктура ножа фирмы Kuhn Rikon (острие лезвия)

Аналогичную структуру имеют ножи фирмы Claas и Krone (рис. 9, 10).

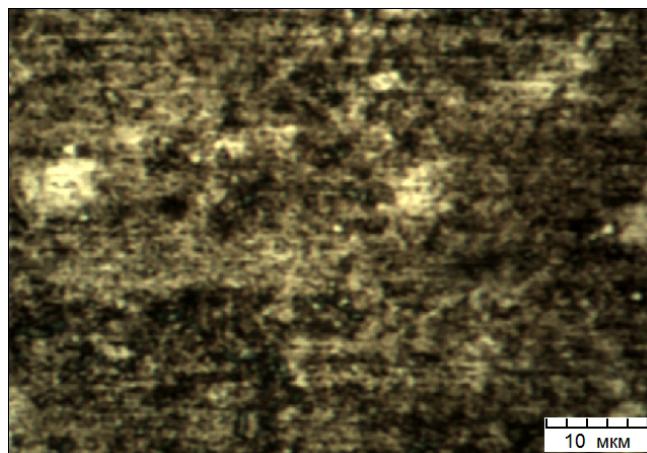


Рис. 9. Микроструктура ножа фирмы Claas (острие лезвия)

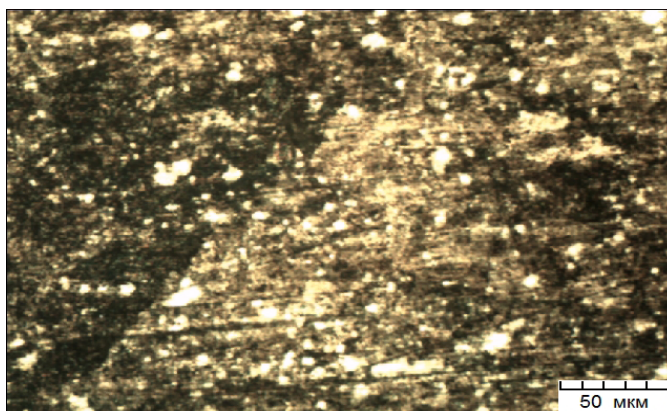


Рис. 10. Микроструктура ножа фирмы Claas (начало лезвия)

Следует отметить довольно крупные выделения карбидов на начальной части лезвий ножей (рис. 11).

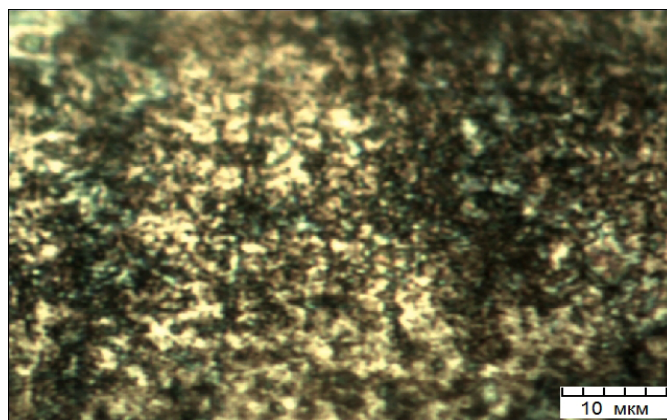


Рис. 11. Микроструктура ножа фирмы Krone (начало лезвия)

Данные по механическим свойствам косилочных ножей импортного производства и ножей, изготовленных по разработанной технологии, представлены в табл. 1.

Табл. 1

Механические свойства образцов сталей различных фирм

Образцы сталей различных фирм	Твёрдость, HRC	Предел прочности, σ_b , МПа	Угол изгиба, α , после приложения нагрузки, 25 кН
33ХС	46–48	1 600	135
Balmet	45–47	1 510	150
Kuhn Rikon	48–50	1 650	160
Krone	43–45	1 470	135
Claas	50–52	1 700	разрушен

Как видно из таблицы, твёрдость ножей различных производителей отличается в пределах HRC 7–9, наиболее твёрдыми являются ножи фирмы Claas. Ножи из стали 33ХС имеют среднее значение среди этих показателей.

Для определения пластичности были проведены испытания на изгиб с определением остаточной деформации — угла изгиба в соответствии с ИСО 5718:2002(Е). Нож изгибали в специальном приспособлении и после снятия нагрузки измеряли угол изгиба и проверяли целостность ножа на наличие микро- и макротрещин.

Наибольшие значения угла изгиба показали ножи фирмы Кроне и ножи из стали 33ХС, обработанные по исследуемой технологии. Эти ножи одинаково изогнулись до значений $\alpha = 135^\circ$ (рис. 12).

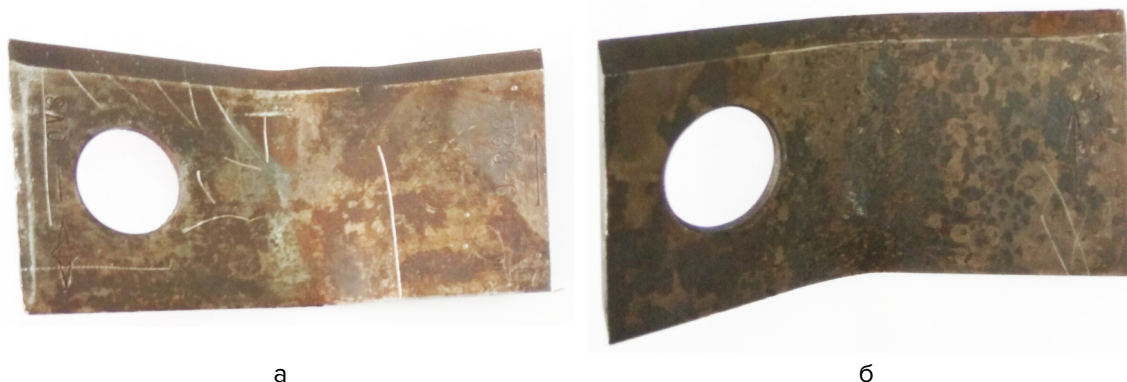


Рис. 12. Нож Krone и нож из стали 33ХС:
а — нож Кроне; б — нож из стали 33ХС

Однако, следует заметить, что нож из стали 33ХС имел толщину 3,5 мм, тогда как нож Krone — 4 мм, т.е. на 12,5 % толще. Это говорит о том, что нож из стали 33ХС прочнее. И в том и в другом случае следов трещин на поверхности этих образцов не обнаружено, что свидетельствует о высокой пластичности этих материалов.

Нож фирмы Claas разрушился в процессе испытаний. Однако, этот нож длительное время был в эксплуатации и на момент испытаний уже имел усталостные трещины, о чём свидетельствует фотография излома (рис. 13).



Рис. 13. Разрушившийся нож фирмы Claas

Нож фирмы Valmet изогнулся до значений $\alpha = 150^\circ$, а нож Kuhn Rikon оказался наиболее стойким к приложению нагрузки и изогнулся только на угол 160° . Впрочем, различные способности выдерживать изгибающую нагрузку, возможно, вызваны различной конструкцией режущих лезвий ножей (рис. 14).

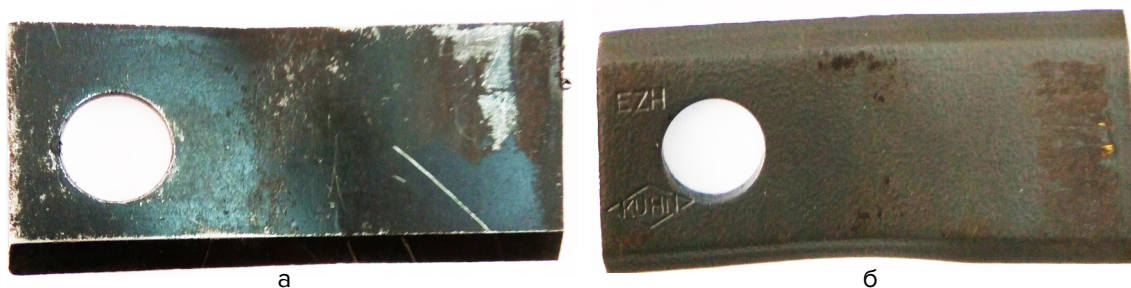


Рис. 14. Внешний вид ножей после изгибающей нагрузки 25 кН:
а — нож фирмы Valmet; б — нож фирмы Kuhn Rikon

Партия ножей из стали 33ХС прошла полевые испытания в 2016 году в хозяйствах Брестской области и получила высокую оценку заказчиков — наработка ножей составила до 6 Га при стандартных требованиях к наработке — 4 Га.

Сравнительный структурный анализ ножей импортного производства фирм Балмет, Кюн, Клаас и Кроне показал близкое сходство структуры и механических свойств с результатами, полученными в данной работе.

Заключение

Показано, что для ножевых элементов кормоуборочной техники можно использовать низколегированные стали типа 33ХС, 38ХС. При использовании комплексной технологии: термоциклирования (715–870 °С), продольно-поперечной прокатки при температуре 1000 °С с различной степенью деформации тела ножа (15–20 %) и лезвия ножа (80–90 %) можно получить режущие элементы с высокой эксплуатационной стойкостью, не уступающей стойкости ножей многих зарубежных фирм.

Статья поступила в редакцию 21.04.17