

УДК 674.05:620.16

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.174

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СУЧКОРЕЗНЫХ НОЖЕЙ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Г.А. Пилюшина¹, канд. техн. наук; ResearcherID: [H-1699-2019](#),

ORCID: [0000-0002-2422-0919](#)

Е.А. Памфилов¹, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [H-1866-2019](#),

ORCID: [0000-0002-1522-7246](#)

Е.В. Шевелева², канд. техн. наук; ResearcherID: [H-2080-2019](#),

ORCID: [0000-0002-1763-6932](#)

¹Брянский государственный технический университет, бул. 50-летия Октября, д. 7, г. Брянск, Россия, 241035; e-mail: gal-pi2009@yandex.ru, eramfilov@yandex.ru

²Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: elshev78@yandex.ru

Удаление сучьев со стволов заготавливаемой древесины является первым этапом процесса превращения ее в готовую продукцию, на котором необходимо стремиться к достижению максимальной эффективности использования сырья и повышению качества получаемого сортимента. При этом качественная очистка и минимизация повреждений стволов деревьев во многом обусловлены надежной работой сучкорезно-протаскивающих устройств лесозаготовительных машин, осуществляющих процессы удаления сучьев и технологического перемещения древесины. При эксплуатации сучкорезно-протаскивающего механизма происходит интенсивное затупление сучкорезных ножей, в результате чего силы, затрачиваемые на срезание сучьев, возрастают, процесс стабильного резания нарушается. Происходит неполное срезание, а при увеличении давления на ножи – зарезание их в ствол и выламывание сучьев, что снижает качество заготавливаемой древесины и приводит к дальнейшему изнашиванию срезающих устройств. Износ ножей происходит вследствие действия сложной совокупности механических, химических, температурных и иных факторов и приводит к изменению геометрических параметров режущих кромок ножей. Для повышения качества обрезки сучьев и снижения при этом энергозатрат необходимо выполнить оценку влияния геометрических и физико-химических параметров срезающих ножей на их износостойкость, что позволит теоретически обосновать рациональную геометрию режущего клина и требования к физико-химическим характеристикам рекомендуемых материалов. Анализ силового взаимодействия режущего клина с перерезаемым сучком показал, что уже в начале контакта на лезвие срезающего ножа действует ударная изгибающая нагрузка, которая в случае достижения пиковых значений нередко приводит к износу путем выкрашивания достаточно крупных микрообъемов режущей кромки. При этом износ сучкорезных ножей происходит преимущественно за счет развития микротрещин, которые образуются в результате антиплоской деформации при приложении напряжений, и зависит от параметров хрупкого разрушения материалов. Кроме того, изнашивание усугубляется контактом с загрязненной и влажной, а в зимний период и мерзлой древесиной, что обуславливает интенсификацию коррозионно-механических процессов в прикромочных зонах лезвий ножей. Решение задачи повышения износостойкости сучкорезных ножей возможно обеспечить путем оптимизации геометрических параметров ножевого клина и формированием в поверхностном слое благоприятных физико-механических характеристик, позволяющих минимизировать интенсивность изнашивания. Для этого экспериментально определены целесообразные геометрические параметры ножевого клина. Предложено для изготовления сучкорезных ножей использовать сложнелегированную хромоникелевую сталь и рациональные режимы ее термической обработки. В качестве поверхностной

обработки рекомендовано их электродеформационное упрочнение, позволяющее оптимизировать шероховатость и формировать необходимые напряжения сжатия в прикромочных зонах для обеспечения высокой износостойкости сучкорезных ножей.

Для цитирования: Пилошина Г.А., Памфилов Е.А., Шевелева Е.В. Повышение износостойкости сучкорезных ножей многооперационных лесозаготовительных машин // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 174–184. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.174

Ключевые слова: заготовка древесины, сучкорезные ножи, трение, износостойкость, геометрия режущего клина, триботехнические параметры, электродеформационная обработка.

Введение

Удаление сучьев с древесного ствола является одной из наиболее трудоемких и энергозатратных операций лесозаготовок. Для ее выполнения применяются сучкорезные машины или многооперационные харвестеры. В режущих устройствах этих машин преимущественно используются жесткие ножи, срезающие сучья без образования стружки. При этом процесс удаления сучьев осуществляется путем протягивания ствола срезанного дерева между заточенными сучкорезными ножами вследствие принудительного надвигания хлыстов на ножи со скоростью 2,5...4,0 м/с при тяговом усилии подающих вальцов 25...30 кН [3, 12, 14, 15]. Чтобы воспринять такие нагрузки материал ножей должен обладать повышенной прочностью и твердостью, иметь высокую сопротивляемость выкрашиванию и разрушению при воздействии на них динамических нагрузок. При этом сама перерабатываемая древесина должна оказывать (по возможности) малое сопротивление внедрению ножа при перерезании волокон удаляемых сучьев.

Выполненный ранее анализ работоспособности ножевых устройств [2, 4–6] показал, что для увеличения скорости обрезки сучьев и снижения усилия протаскивания ствола необходимо минимизировать силы резания и трения, действующие на передней и задней поверхностях режущего клина и определяемые физико-механическими характеристиками древесины и угловыми параметрами режущих устройств.

При этом геометрические параметры сучкорезных ножей изменяются в процессе работы вследствие изнашивания, которое является результатом действия сложной совокупности механических, химических, температурных и иных факторов, сопровождающих процесс фрикционного взаимодействия ножей и перерезаемой древесины. Достижимое качество обрезки сучьев существенно зависит от формы ножей и усилий их прижима к стволу, а также от угловых параметров заточки режущего клина. При затуплении ножей сучья удаляются не полностью, наблюдаются вырывы древесины у основания сучков, возникают задиры и зарезание ножей в древесину ствола. По данным исследований [5], при затуплении сучкорезных ножей на 13 % от первоначального геометрического состояния брак заготовленной древесины достигает 50 % от общего количества полученных сортиментов, производительность машины снижается на 21 %, эксплуатационный расход топлива возрастает на 31 %.

На интенсивность изнашивания ножей значительное влияние оказывают условия заготовки сортимента, так как контакт ножей зачастую происходит с влажной древесиной, загрязненной минеральными частицами почвы, а в зимний период – с мерзлой древесиной. Это обуславливает интенсификацию коррозионно-механических процессов в прикромочных зонах лезвий сучкорезных ножей [11, 13].

С учетом вышесказанного актуальным является повышение износостойкости ножевых устройств. Решение этой проблемы возможно путем оптимизации геометрических параметров и формирования в поверхностном слое сучкорезных ножей благоприятных физико-механических характеристик, что позволит обеспечить повышение производительности и снизить энергозатраты при перерезании сучьев за счет минимизации сил резания и трения, действующих на передней и задней поверхностях режущего клина.

Создание целесообразных значений физико-химических характеристик формируемого поверхностного слоя материала возможно путем выбора рационального материала для ножей и эффективной упрочняющей обработки, которая позволит оптимизировать остаточное напряженное состояние функционального поверхностного слоя ножей и минимизировать в них наличие структурных дефектов, в частности микротрещин.

Цель настоящей статьи – уточнение условий фрикционно-механического взаимодействия срезающих ножей с древесиной, позволяющих обосновать оптимальные (рациональные) значения макро- и микрогеометрических характеристик изнашиваемых поверхностей и требования к выбору рекомендуемых конструкционных материалов, обладающих высокими триботехническими параметрами, а также к назначению способов и режимов упрочняющего воздействия на поверхностный слой режущих элементов.

*Характер нагружения и основы повышения
износостойкости ножевых устройств для бесстружечного удаления
сучьев с заготавливаемых деревьев*

Основными функциональными элементами сучкорезного механизма лесозаготовительных машин являются профильные ножи, имеющие клиновидную заточку, форму кромки которых желательно задавать так, чтобы они плотнее охватывали ствол дерева в зонах разных диаметров [6, 12, 15, 16, 21]. Анализ процесса изнашивания сучкорезных ножей показал, что для решения задачи повышения их износостойкости необходимо наличие информации о характере сил, действующих в зоне контакта ножей с древесиной срезаемых сучьев.

Установлено, что усилие, необходимое для срезания сучьев, зависит от породы дерева, диаметра и угла вставания сучка, а также от состояния режущего инструмента, параметров его заточки и физико-химических характеристик используемых конструкционных материалов. Для срезания сосновых или еловых сучьев диаметром $d_c = 6...7$ см требуется усилие 20...25 кН, а березовых – 25...30 кН [17]. При этом максимальное усилие достигается в момент прохождения ножа вблизи середины сучьев.

Основными составляющими усилия резания являются: силы внедрения в материал, действующие на лезвие; силы отжима, прилагаемые к передней грани; силы упругости древесины на задней поверхности; силы трения между поверхностями реза и древесиной. При этом по данным [1] максимальное усилие срезания сучка F_{\max} в зависимости от d_c и породы дерева может быть определено по эмпирической формуле, справедливой при $d_c > 0,04$ м:

$$F_{\max} = 315 \cdot 10^4 \cdot d_c^2 \cdot a_{\Pi} \cdot a_{\delta} \cdot a_3 \cdot a,$$

где a_{Π} – коэффициент, учитывающий породу дерева (для сосны – 1,0; ели – 1,3; березы – 1,8); a_{δ} – коэффициент, учитывающий величину угла резания; a_3 – коэффициент, учитывающий степень затупления реза; a – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства (для сучьев – 0,35).

Усилие резания пропорционально поперечному сечению срезаемых сучьев, а усилия резания, воспринимаемые ножами верхнего и нижнего уровней, рассчитываются по следующим формулам [5]:

$$F_{\text{в}} = 0,6 F_{\text{max}} i; \quad F_{\text{н}} = 0,3 F_{\text{max}} i,$$

где i – наибольшее количество одновременно срезаемых сучьев среднего диаметра.

Максимальное усилие F_{max} действует на ножи кратковременно, поэтому именно его необходимо учитывать при создании моделей нагружения срезающих устройств многооперационных лесозаготовительных машин. Кроме того, важнейшим фактором нагружения срезающих ножей является усилие прижима каждого ножа к поверхности ствола дерева:

$$F_{\text{пр}} = 2F_{\text{от}} \sin \frac{\varphi}{2},$$

где $F_{\text{от}}$ – силы отжима ножей; φ – угол охвата ствола режущей кромкой.

Усилие отжима отжима можно определить по формуле

$$F_{\text{от}} = 2N \sin \varphi,$$

где N – сила сопротивления смятию древесины.

На рис. 1 представлена схема осуществления отдельного реза ножами харвестерной головки, а также приведено расположение прилагаемых при этом сил.

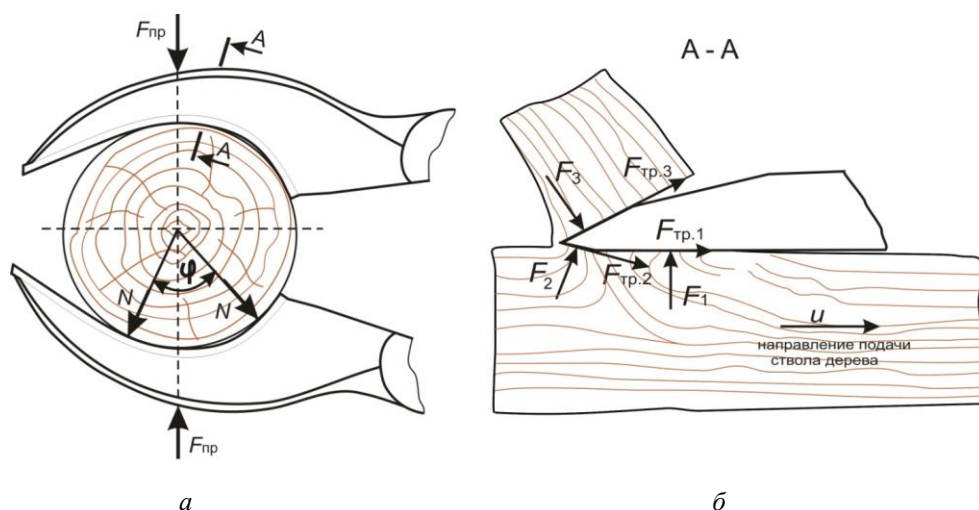


Рис. 1. Схема очистки ствола дерева сучкорезными ножами харвестерной головки: a – протаскивание ствола дерева между боковыми ножами харвестерной головки; b – характер действующих сил при срезании сучка; F_1, F_2, F_3 – усилия резания, реализующиеся на основных поверхностях режущего клина при срезании сучка; $F_{\text{тр.1}}$ – сила трения на основной задней поверхности режущего клина; $F_{\text{тр.2}}$ – на вспомогательной задней поверхности режущего клина; $F_{\text{тр.3}}$ – на передней поверхности реза; u – направление подачи ствола дерева; $F_{\text{пр}}$ – усилие прижима ножа к поверхности ствола дерева кромкой

Fig. 1. Scheme of tree trunk pruning with delimiting knives of a harvester head: a – dragging a tree trunk between the side knives of a harvester head; b – the nature of the acting forces when cutting the knot; F_1, F_2, F_3 – cutting forces that are implemented on the main surfaces of the wedge when cutting the knot; $F_{\text{тр.1}}$ – friction force on the main back surface of the wedge; $F_{\text{тр.2}}$ – on the auxiliary back surface of the wedge; $F_{\text{тр.3}}$ – on the cutter face; u – feed direction of the tree trunk; $F_{\text{пр}}$ – blade pressure to the tree trunk surface

Как видно из рис. 1, на начальном этапе взаимодействия происходит ударный контакт ножа с обрабатываемым материалом, при этом направление действия нагрузки противоположно направлению вектора скорости перемещения заготовки, а ее величина определяется состоянием, породой и факторами, характеризующими неравномерность прочностных характеристик древесного материала [7]. Далее, по мере протаскивания вальцами заготовки, нагрузка сначала возрастает до середины диаметра перерезаемого сучка, после чего постепенно снижается.

Для устройств, срезающих сучья жесткими ножами, усилие протаскивания в основном определяется силами сопротивления резанию, возникающими в механизме при надвигании ствола дерева на ножи, и силами трения ножей при срезании сучьев. Действующие при этом силы достигают больших значений [9]. Для их минимизации необходимо уменьшить силы, влияющие на нож при перерезании волокон древесины в процессе удаления сучков, и снизить силы трения, реализующиеся в контакте функциональных поверхностей режущего клина с ювенильными поверхностями древесины сучьев.

Для оптимизации угловых параметров сучкорезного ножа нами выполнены исследования по влиянию макро- и микрогеометрии режущего клина на силовые характеристики процесса срезания в зависимости от породы и влажности древесины, диаметра перерезаемого сучка. При этом было установлено, что из угловых параметров резца наиболее важными являются задний угол режущего клина, угол заострения, а также радиус округления режущей кромки. Уменьшение угла заострения режущих кромок способствует снижению действующих сил резания. Однако при этом понижается сопротивляемость изнашиванию срезающих ножей.

Силы трения характеризуются коэффициентом трения, реализующимся между материалом срезающего ножа и перерезаемой древесиной, а также величинами переднего и заднего углов режущего клина. Особая сложность минимизации затрат на трение в зоне резания обусловлена тем, что задний угол сучкорезного ножа по технологическим условиям обработки задается близким к нулю [8, 10], что увеличивает площадь контакта ножа с древесиной и, соответственно, силу трения. В связи с этим нами рассматривался конструкторский принцип формирования специальных поддерживающих валиков методом наплавки износостойкого материала, обладающего низким коэффициентом трения на рабочих поверхностях режущего клина.

Что касается физико-механических характеристик материалов, то для изготовления ножей необходимо, чтобы они обладали высокой износостойкостью, прочностью и способностью сопротивляться развитию микротрещин при действии ударных нагрузок, а также стойкостью к действию абразива и коррозионно-активных сред. Для уменьшения интенсивности изнашивания следует снизить количество концентраторов напряжений, создать гетерогенную структуру и сжимающие остаточные напряжения в поверхностных слоях, а также повысить диссипативные характеристики применяемых материалов.

Как показали исследования [18–20], для изготовления срезающих ножей перспективными являются стали, легированные хромом, никелем, молибденом, ванадием и другими элементами, с пониженным содержанием серы и фосфора. Важно также обеспечить в ножах повышенную структурную и геометрическую однородность поверхностных слоев и минимальное количество дефектов. Такими характеристиками обладают стали 60С2ХА, 45ХНМФА,

45ХН2МФА, а также рекомендуемая нами сталь 7Х15ВМФСН, содержащая марганец, хром, ванадий, молибден, никель, алюминий и редкоземельные металлы. Для повышения прочности и ударной вязкости ножей предложены рациональные режимы термической обработки, включающие закалку и многократный отпуск.

В качестве поверхностного упрочнения необходимо использовать обработку, сочетающую различные схемы электроискрового воздействия, в том числе и совокупность различных электродов. Наиболее перспективным оказалось деформационное упрочнение, позволяющее наряду с достижением высокой износостойкости снизить шероховатость поверхностей и переформировать остаточные напряжения растяжения в благоприятные напряжения сжатия.

Результаты исследования и их обсуждение

В целях оптимизации триботехнических параметров ножевых устройств выполнены экспериментальные исследования, задача которых – определение рациональной геометрии режущих кромок и подтверждение теоретических рекомендаций по выбору более износостойких материалов и эффективных методов упрочняющей обработки, перспективных для изготовления сучкорезных ножей.

Закономерности влияния угловых параметров ножей на работу срезания сучков представлены на рис. 2.

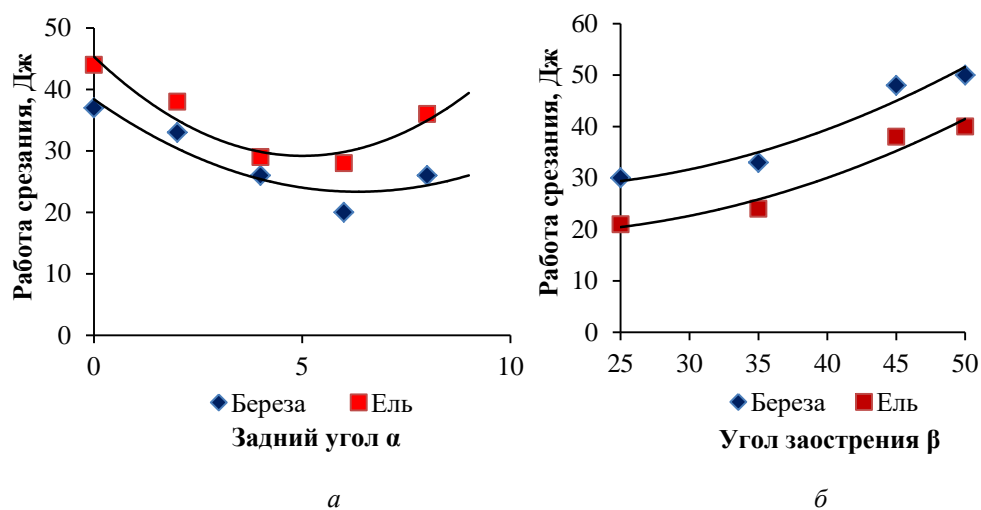


Рис. 2. Работа, затрачиваемая на срезание сучков диаметром 90 мм, при различных угловых параметрах заднего угла α (а) и угла заострения β (б) резца

Fig. 2. The work required for cutting the knots with a diameter of 90 mm at various angular parameters of the back angle α (a) and the wedge angle β (b) of the cutter

Как видно из рис. 1, работа, затрачиваемая на срезание сучков, возрастает при увеличении угла заострения β режущего клина. При этом более значительное повышение работы срезания начинается при $\beta = 40^\circ$. В то же время установлено, что при $\beta = 25...30^\circ$ износ режущей кромки ножа протекает преимущественно по механизму микровыкрашивания и сколов. Причем при таких значениях β предельное состояние лезвия по показателям изнашивания достигается в течение менее 100 циклов срезания. При β более 35° износ режущей кромки

выкрашиванием уменьшается и переходит к механизму постепенного изнашивания, поэтому угол заострения сучкорезного ножа целесообразно задавать в пределах $40...45^\circ$. Вместе с тем при необходимости уменьшения угла заострения требуется целевая упрочняющая обработка, способствующая минимизации износа микровыкрашиванием.

Некоторое увеличение заднего угла до $\alpha = 4...5^\circ$ способствует уменьшению работы срезания ножа, после чего она начинает возрастать. Это связано с тем, что нож приподнимается на угол α и снижается трение задней поверхности ножа по коре древесины. Представляется целесообразным для повышения прочности лезвия резца выполнять задний угол ступенчатым, назначая на ширине 3...4 мм от режущей кромки $\alpha = 1...3^\circ$, далее увеличивая до $4...5^\circ$.

Важной является оценка влияния на силовой процесс срезания сучьев радиуса округления режущей кромки. Одновременно для предварительной оценки влияния сопротивляемости изнашиванию некоторых инструментальных материалов исследуемых ножей изучали динамику процесса изнашивания, которую оценивали по изменению радиуса округления режущих кромок в зависимости от количества выполненных ножами срезов.

Радиусы округлений режущих кромок измеряли с помощью радиусных шаблонов на инструментальном микроскопе МИМ или путем фотографирования оттиска лезвия в мягком материале с последующим определением радиуса на фотографиях радиусным шаблоном, выполненным в таком же масштабе, что и фотографирование оттиска.

Результаты испытаний для резания древесины ели и березы представлены на рис. 3, для инструментальных материалов из стали 40Х, стали 45ХН2МФА, стали 7Х15ВМФСН – на рис. 4.

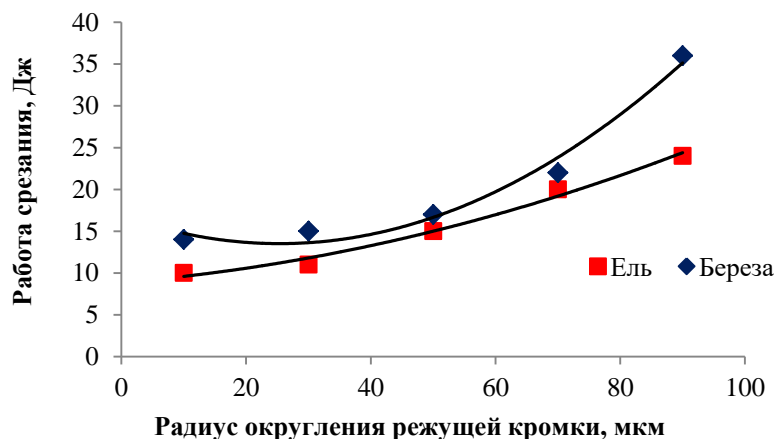


Рис. 3. Влияние радиуса округления режущей кромки сучкорезного ножа на работу срезания

Fig. 3. The influence of the corner radius of the delimiting knife cutting edge on the work of cutting

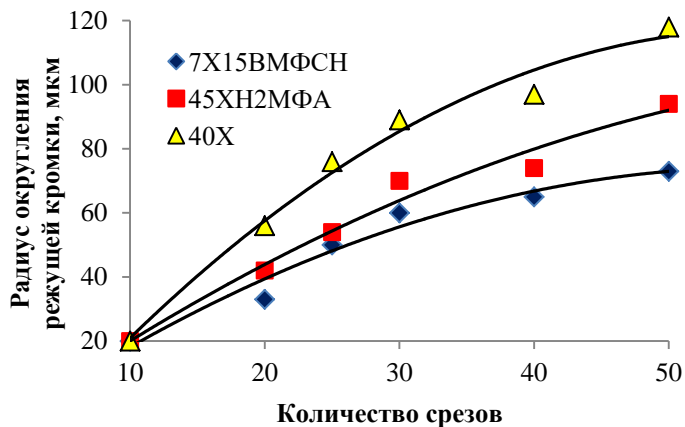


Рис. 4. Влияние количества срезов древесных сучков на изменение радиуса округления режущей кромки сучкорезного ножа, выполненного из сталей разных марок

Fig. 4. The influence of the number of slices of wood limbs on the change in the corner radius of the cutting edge of the delimiting knife made of steels of different grades

Результаты исследований позволили оптимизировать геометрические параметры режущих кромок сучкорезных ножей (рис. 5).

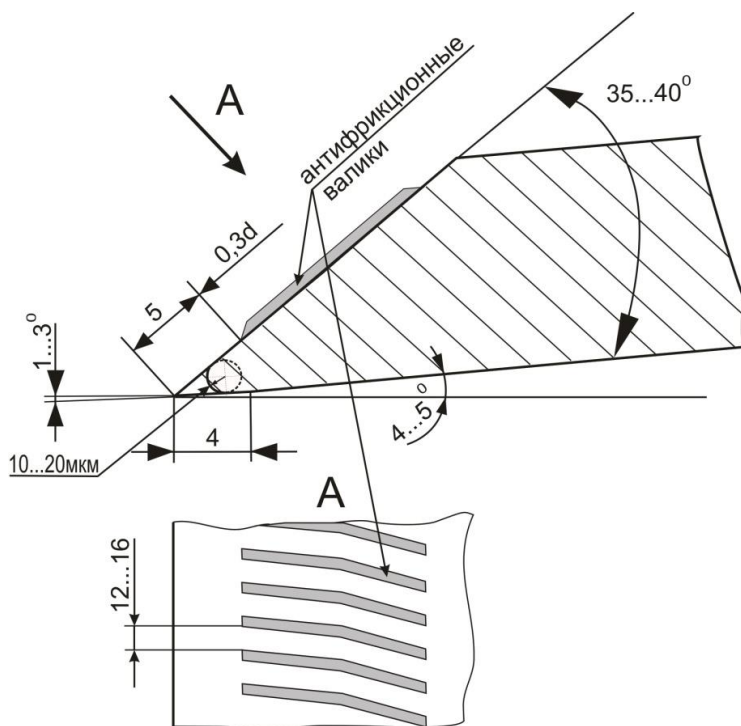


Рис. 5. Рекомендуемые геометрические параметры сучкорезных ножей

Fig. 5. Recommended dimensions of delimiting knives

Таким образом, подтверждена перспективность использования высоколегированной хромоникелевой стали 7X15BMФСН, так как во всех сериях испытаний образцы из этой стали показали высокую износостойкость, что позволяет рекомендовать этот сплав для изготовления ножей сучкорезных устройств многооперационных лесозаготовительных машин. В качестве упрочняющей обработки рекомендуется выполнять закалку с двукратным отпуском, а также поверхностное электродеформационное упрочнение режущей кромки.

Выводы

1. Экспериментально установлен благоприятный уровень геометрических параметров сучкорезных ножей. Угол заострения режущего клина ножа рекомендуется задавать в пределах 35...40°, задний угол – 1...3° на ширине до 4 мм, далее – 4...5°; средний радиус округления режущей кромки 15...20 мкм.

2. Для сокращения энергозатрат в процессе работы сучкорезно-протаскивающего механизма целесообразно наплавлять на переднюю поверхность сучкорезных ножей антифрикционные валики, способствующие снижению усилий срезания сучьев.

3. Подтверждена высокая износостойкость высоколегированной хромоникелевой стали 7X15BMФСН в условиях коррозионно-механического изнашивания при действии циклических и ударных нагрузок, что позволяет рекомендовать этот сплав для изготовления ножей сучкорезных устройств многооперационных лесозаготовительных машин, а в качестве упрочняющей обработки – проводить закалку ножей с двукратным отпуском, а также поверхностное электродеформационное упрочнение их режущих кромок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Жаденов В.С., Заикин А.Н., Лобанов В.Н., Чайка О.Р. Технологическое оборудование лесозаготовительных машин (Теория, конструкция, эксплуатация). Брянск: БГИТА, 2005. 254 с. [Zhadenov V.S., Zaikin A.N., Lobanov V.N., Chayka O.R. *Technological Equipment of Logging Machines (Theory, Construction, Operation)*. Bryansk, BGITA Publ., 2005. 254 p.].

2. Зотов Г.А., Памфилов Е.А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 304 с. [Zotov G.A., Pamfilov E.A. *Increasing the Resistance of a Wood-Cutting Tool*. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 304 p.].

3. Харвестерная головка и ее дополнительные устройства // Лесотехника. Режим доступа: http://lesotehnika.com/statya/st_4_harvesterhead.html (дата обращения: 16.03.19). [Harvester Head and Its Add-on Equipment. *Harvesting and Logging Equipment*].

4. Рукотойников К.П., Ведерников С.В. Модернизация сучкорезного ножа харвестерной головки // Лесн. журн. 2019. № 1. С. 120–127. (Изв. высш. учеб. заведений). [Rukomoynikov K.P., Vedernikov S.V. Modernization of Harvester Head Delimiting Knife. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 1, pp. 120–127]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2019.1.120](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.1.120); URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/ee2/120_127.pdf

5. Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А. Возможности и перспективные пути повышения работоспособности машин и оборудования лесного комплекса // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 129–141. (Изв. высш. учеб. заведений). [Pamfilov E.A., Pilyushina G.A. Possibilities and Prospective Ways to Increase Working Capacity of Forest Sector Machines and Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 5, pp. 129–141]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/716/le1.pdf>

6. Пилюшина Г.А. Повышение износостойкости деталей и инструментов деревообрабатывающего оборудования // Качество и жизнь. 2014. № 1(1). С. 44–49. [Pilyushina G.A. Improving the Wear Resistance of Parts and Tools of Woodworking Machinery. *Kachestvo i zhizn'* [Quality and life], 2014, no. 1(1), pp. 44–49].

7. Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Шевелева Е.В., Прозоров Я.С., Пыриков П.Г. Повышение работоспособности подающих устройств деревоперерабатывающего оборудования // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 102–110. (Изв. высш. учеб. заведений). [Pamfilov E.A., Pilyushina G.A., Sheveleva E.V., Prozorov Ya.S., Pyrikov P.G. Improving the Feeder's Working Capacity of Timber Processing Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 102–110]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2019.2.102](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.2.102); URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/47d/102_110.pdf

8. Селиверстов А.А., Симонова И.В., Александров А.А. Исследование состояния геометрии формы и заточки сучкорезных ножей харвестеров // Тр. лесоинж. фак. ПетрГУ. 2010. Вып. 8. С. 128–132. [Seliverstov A.A., Simonova I.V., Aleksandrov A.A. Studying the State of Shape Geometry and Sharpening of Delimiting Knives of Harvesters. *Trudy lesoinzhenerenogo fakul'teta PetrGU* [Resources and Technology], 2010, iss. 8, pp. 128–132].

9. Сюнев В.С., Селиверстов А.А. Рабочие органы харвестеров: проектирование и расчет. Петрозаводск: ПетрГУ, 2005. 202 с. [Syunev V.S., Seliverstov A.A. *Working Bodies of Harvesters: Engineering and Design*. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2005. 202 p.]

10. Сюнев В.С., Селиверстов А.А. Развитие сортиментной технологии лесозаготовок и использование харвестеров в Республике Карелия // Лес и бизнес. 2006. № 7. С. 58–61. [Syunev V.S., Seliverstov A.A. Development of Cut-to-Length Logging and Use of Harvesters in the Republic of Karelia. *Les i biznes*, 2006, no. 7, pp. 58–61].

11. Axelsson S.-A. The Mechanization of Logging Operations in Sweden and Its Effect on Occupational Safety and Health. *Journal of Forest Engineering*, 1998, vol. 9, iss. 2, pp. 25–31.

12. Axelsson S.-A., Pontén B. New Ergonomic Problems in Mechanized Logging Operations. *Journal of Industrial Ergonomics*, 1990, vol. 5, iss. 3, pp. 267–273. DOI: [10.1016/0169-8141\(90\)90062-7](https://doi.org/10.1016/0169-8141(90)90062-7)

13. Darmawan W., Rahayu I.S., Tanaka C., Marchal R. Chemical and Mechanical Wearing of High Speed Steel and Tungsten Carbide Tools by Tropical Woods. *Journal of Tropical Forest Science*, 2006, vol. 18, no. 4, pp. 255–260.

14. Engsås J. *Accidents in Small-Scale Forestry – Prerequisites for Accident Prevention among Private Wood-Lot Owners*. Research Note no. 251. Garpenberg, Swedish University of Agricultural Sciences, 1993. 121 p.

15. Lidén E. *Forest Machine Contractors in Swedish Industrial Forestry*. Report no. 195. Garpenberg, Swedish University of Agricultural Sciences, 1995. 43 p.

16. Niemi P. *Delimiting Device and a Method in a Delimiting Device*. Patent US, no. US 6,318,425 B1, 2001.

17. Pamfilov E.A., Pilyushina G.A., Polosov V.I. Conditions of Maintenance of Stable Frictional Contact of Submitting Rollers Woodworking Machines. *Proceedings of the BALTRIB 2007 International Scientific Conference, Kaunas, November 21–23, 2007*. Kaunas, 2007, pp. 67–71.

18. Pamfilov E.A., Sheveleva E.V., Pilyushina G.A. Creating and Applying Antifric-tion Bearing Wood-Metal Materials. *Journal of Friction and Wear*, 2019, vol. 40, iss. 1, pp. 95–99. DOI: [10.3103/S106836661901015X](https://doi.org/10.3103/S106836661901015X)

19. Pilyushina G.A., Pyrikov P.G., Rukhlyadko A.S. Improving the Performance of Machining Tools for Nonmetallic Materials. *Russian Engineering Research*, 2013, vol. 33, iss. 9, pp. 532–535. DOI: [10.3103/S1068798X13090128](https://doi.org/10.3103/S1068798X13090128)

20. Porankiewicz B., Iskra P., Sandak J., Tanaka C., Józwiak K. High-Speed Steed Tool Wear after Wood Cutting in the Presence of High-Temperature and Mineral Contamination. *Wood Science and Technology*, 2006, vol. 40, iss. 8, pp. 673–682. DOI: [10.1007/s00226-006-0084-7](https://doi.org/10.1007/s00226-006-0084-7)

21. Wildey A.J. *Tree Harvesting and Processing Head*. Patent US, no. 5,785,101, 1998.

**WEAR RESISTANCE IMPROVEMENT OF DELIMBING KNIVES
OF MULTIFUNCTIONAL LOGGING MACHINES**

*G.A. Pilyushina*¹, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [H-1699-2019](#),
ORCID: [0000-0002-2422-0919](#)

*E.A. Pamfilov*¹, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [H-1866-2019](#),
ORCID: [0000-0002-1522-7246](#)

*E.V. Sheveleva*², Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [H-2080-2019](#),
ORCID: [0000-0002-1763-6932](#)

¹Bryansk State Technical University, bul. 50-letiya Oktyabrya, 7, Bryansk, 241035, Russian Federation; e-mail: epamfilov@yandex.ru, gal-pi2009@yandex.ru

²Bryansk State Engineering Technological University, prosp. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: elshev78@yandex.ru

Delimiting of harvested wood is the first step towards obtaining finished products, where it is necessary to strain after achievement of maximum efficiency in the use of raw materials and quality improvement of the obtained assortment. Herewith, high-quality cleaning and minimization of damage of tree trunks is associated to a great extent with reliable operation of the delimiting and pull-through devices of logging machines that carry out both removal of branches and technological movement of wood. An intensive blunting of delimiting knives occurs in operation of the delimiting and pull-through device. As a result, the forces spent on delimiting increase and the process of stable cutting is disrupted. Partial cutting, and with an increase in pressure on the knives their cutting into a trunk and breaking out of limb occur, which reduce the quality of the harvested wood and lead to further intensification of wearing out of the cutting devices. The wearing out of knives is due to the action of a complex set of mechanical, chemical, temperature and other factors that accompany the technological process. This leads to a change in the dimensions of knife cutting edges. In order to improve the quality of delimiting and at that reduce the energy consumption, it is necessary to assess the influence of geometric and physico-chemical parameters of the cutting knives on their wear resistance, which will allow to theoretically justify the rational geometry of the cutting wedge and requirements for the physico-chemical characteristics of the recommended materials. The force interaction analysis of the cutting wedge with the cut limb has shown that, already at the beginning of the contact, the cutting blade is acted by the shock bending load, which, when peak values are reached, often leads to wearing out by chipping of sufficiently large microvolumes of the cutting edge. In this case, the wearing out of delimiting knives occurs mainly due to the development of microcracks, which are formed as a result of anti-plane deformation when applying stresses, and depends on the parameters of brittle crushing of materials. Moreover, the wearing out becomes more intense with contact with contaminated and wet, and in winter period frozen wood, which leads to intensification of corrosion and mechanical processes in the marginal areas of knife blades. The solution of the problem of increasing the wear resistance of delimiting knives can be provided by optimization of dimensions of knife wedge and formation of favorable physical and mechanical characteristics in the surface layer that minimize the wear intensity. The favorable dimensions of knife wedge were experimentally determined for this purpose. Complex alloyed chromium-nickel steel and rational modes of its heat treatment are proposed for the manufacture of delimiting knives. Electrodeposition hardening is recommended as the surface treatment, which allows to optimize the surface roughness and form a favorable compressive stress in the marginal areas, thus providing high wear resistance of delimiting knives.

For citation: Pilyushina G.A., Pamfilov E.A., Sheveleva E.V. Wear Resistance Improvement of Delimiting Knives of Multifunctional Logging Machines. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 174–184. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.174

Keywords: timber harvesting, delimiting knives, friction, wear resistance, wedge geometry, tribological parameters, electrodeposition processing.

Поступила 13.06.19 / Received on June 13, 2019