

На правах рукописи



**Думанский Андрей Игоревич**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ УСЫХАЮЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ**

05.21.05 - Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Архангельск

2015



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** По данным исследований, проведенных в 2003-2011 годах, древостоев Европейского севера страны запас сухостойной и усыхающей древесины превышает 2 млн. га с тенденцией к росту. Переработка такой древесины является важнейшим резервом расширения производства древесного сырья, в также направлением улучшения экологической обстановки в лесных массивах.

Особенностями сухостойной древесины является низкая влажность, ферментированные до твёрдого состояния смолы и, как следствие этого, повышенная прочность, твёрдость и отсутствие смазывающих свойств при её резании, а также – высокая абразивная способность.

Указанные особенности определяют повышенные требования к твёрдости и износостойкости режущей кромки лезвийного деревообрабатывающего инструмента для переработки сухостойной древесины, в том числе – и к ножам рубительных машин, используемых для получения щепы из такой древесины. Ножи рубительных машин, испытывающие высокие динамические нагрузки, изготавливаются, как правило, из инструментальных легированных сталей.

С целью повышения режущих свойств и ресурса этих ножей необходимо обеспечить твёрдость лезвия на уровне HRC 63...65 при сохранении высоких динамических характеристик материала ножа, что невозможно при использовании только традиционной термообработки таких сталей.

Требуемые прочностные и ресурсные характеристики материала ножей могут быть достигнуты путем использования применительно к стандартным ножам локальной (вдоль режущей кромки) лазерной термической обработки (ЛТО) промышленными импульсными лазерами или лазерами непрерывного излучения. Обеспечиваемая в таком случае минимальная зона термического влияния лазерного излучения позволяет сохранить структуру и свойства тела резца без изменений, при этом в зоне лазерного воздействия (ЗЛВ) может быть сформирована структура сверхмелкозернистого свежезакалённого мартенсита при сохранении высокотвердых карбидов с прослойками остаточного аустенита.

Использование ЛТО для локального упрочнения режущего инструмента может создать требуемую структуру и свойства ножей, однако, отсутствует информации о влиянии ЛТО на износостойкость инструментальных легированных сталей, используемых для изготовления ножей, а также научно обоснованных режимов ЛТО, которые могут быть использованы при упрочнении ножей рубительных машин

Таким образом, решение поставленных выше вопросов является актуальной научно-практической задачей.

**Степень разработанности темы исследования.** Использование ЛТО для упрочнения режущего инструмента известно достаточно широко, однако, применительно к ножам рубительных машин из высоколегированных инструментальных сталей не исследованы закономерности влияния режимов ЛТО на

комплекс механических свойств и износостойкость таких ножей, а также определены рациональные технологии и режимы их упрочнения.

Существующая в настоящее время информация о процессе резания в рубительных машинах также недостаточна для назначения конкретных параметров коррекции геометрических параметров ножей с целью повышения их износостойкости и ресурса.

**Цель работы.** Оптимизация геометрических параметров режущей части лезвийного инструмента и разработка технологического процесса его упрочнения с использованием ЛТО для получения необходимой износостойкости инструмента при переработке сухостойной древесины.

**Задачи исследования:**

- определить оптимальные технологические режимы ЛТО для обеспечения требуемой структуры и свойств режущей кромки ножа;
- установить влияние износа ножа на качество технологической щепы;
- установить влияние угла заточки режущей кромки ножа на качество технологической щепы, износ ножа и потребляемую мощность;
- определить ресурс ножей с ЛТО до очередной переточки;
- оценить эффективность использования ЛТО для упрочнения ножей рубительных машин при переработке сухостойной древесины.

**Научная новизна работы.**

- проанализированы особенности усыхающей древесины, и на основе анализа её специфических механических свойств определены требования по геометрии и механическим свойствам к лезвийному деревообрабатывающему инструменту для переработки такой древесины;

- предложена методика лазерного упрочнения лезвийного инструмента и разработаны технологические режимы подготовки, позволяющие достичь необходимого уровня механических и эксплуатационных свойств этого инструмента;

- разработана методика оценки влияния износа лезвия инструмента на качество технологической щепы;

- разработаны практические рекомендации по коррекции геометрических параметров и применению лазерной термообработки для лезвийного деревообрабатывающего инструмента, позволяющие значительно повысить комплекс его механических и эксплуатационных свойств при переработке сухостойной древесины.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** В работе установлены закономерности влияния геометрических параметров режущей части лезвийного инструмента и параметров технологического процесса лазерной термической обработки лезвий на износостойкость и эффективность инструмента при переработке сухостойной древесины. На основе этих закономерностей разработан технологический процесс, рациональные режимы ЛТО, а также практические рекомендации по применению предложенных разработок в производстве.

Отмеченные выше результаты получены путем разработки и использования в экспериментальной части работы оригинальных методик и способов исследования, а также оценки параметров технологического процесса и эффективности применения предлагаемых разработок.

**Методы исследования.** При выполнении работы были использованы следующие методы: метод обобщения данных и системный анализ, математический анализ и статистика, метод вариационной статистики и использование регрессивного анализа, а также современные методы металлографического и рентгеноструктурного анализа, адаптированные к исследуемым объектам.

**На защиту выносятся следующие положения:**

- методика и режимы ЛТО ножей рубительных машин для обработки сухостойной древесины;
- методика оценки влияния износа лезвия инструмента на качество технологической щепы;
- методика оценки затупления лезвий ножей рубительных машин;
- теоретический расчет прочностных характеристик сухостойной древесины в зависимости от ее плотности и влажности.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, рекомендаций и выводов.** Обоснованность научных положений, приведенных в работе, исследований подтверждена экспериментально. Достоверность представленных результатов обоснована необходимым числом экспериментов, выполненных в соответствии с действующими стандартами и методиками. Предлагаемые вновь методики и средства измерения в необходимой степени апробированы.

**Апробация результатов работы.** По результатам исследований автором сделаны доклады на 14-й и 16-й Международных научно-практических конференциях «Технология упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика» в г. Санкт-Петербурге и на научных конференциях САФУ им. М.В. Ломоносова. Практические рекомендации апробированы на СЦБК (г. Архангельск) и на ряде деревоперерабатывающих предприятий Архангельской области и показали положительные результаты.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 9 работ, из них две в рецензируемых научных журналах списка ВАК РФ. Имеется один патент на изобретение.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов и рекомендаций, списка литературы, включающего 69 наименований, и приложения. Основное содержание работы изложено на 104 страницы и включает 34 рисунка и 6 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** дано обоснование актуальности темы диссертации, сформулированы ее цель и задачи исследований; отмечены основные положения, выносимые на защиту; обоснована научная новизна; показана практическая значимость результатов для теории и практики.

**В первой главе** проведен анализ характеристик усыхающей древесиной и особенностей свойств сухостойной древесины с учетом исследований, произведенных сотрудниками АГТУ (САФУ) и Управления лесного хозяйства архангельской области.

Установлена специфика ее структуры, механические и технологические свойства.

Рассмотрены основные характеристики и особенности существующих конструкций рубительных машин.

На основе работ Амалицкого В.В., Грубе А.Э., Маковского Н.В., Бершадского А.Л., Афанасьева П.А., Воскресенского С.А., Тиме И.А. произведен анализ процесса резания древесины в рубительных машинах с целью выявления перспективных с точки зрения увеличения стойкости режущего инструмента возможностей коррекции его геометрических параметров.

Изучение традиционной термической обработки ножей рубительных машин и анализ работ ведущих специалистов в области лазерной термообработки Григорьянца А.Г. Коваленко В.С., Рыкалина Н.Н и др. позволяет оценить преимущество и подтверждает эффективные возможности использования лазерного упрочнения ножей из высоколегированных сталей.

На основе анализа литературных источников определены требования к материалу, а также – к геометрическим характеристикам режущей кромки ножей рубительных машин для эффективной переработки сухостойной древесины.

В результате обзора литературы по исследованной теме определены цель исследования и основные задачи для ее реализации.

**Вторая глава** настоящей работы посвящена выбору режимов лазерной термообработки (ЛТО) ножей рубительных машин для переработки сухостойной древесины.

В качестве объекта исследования выбраны широко распространенные ножи рубительных машин по ГОСТ 17342-81 (рисунок 1) из инструментальной стали 6Х7ВСМФ химического состава, близкого к стандартному.

Исследование проводили с использованием промышленной лазерной установки для термообработки, резки и сварки «Квант 15» (рисунок 2), оборудованной специальным моторизованным приспособлением для крепления и передвижения обрабатываемого ножа (рисунок 3).

В качестве переменных факторов при экспериментальном исследовании ЛТО первоначально были приняты диаметр испускаемого лазерного излучения в диапазоне 2,25...3,0 мм, энергия лазерного излучения 400...850 В и коэффициент перекрытия лазерного пятна 0,5 и 0,75.

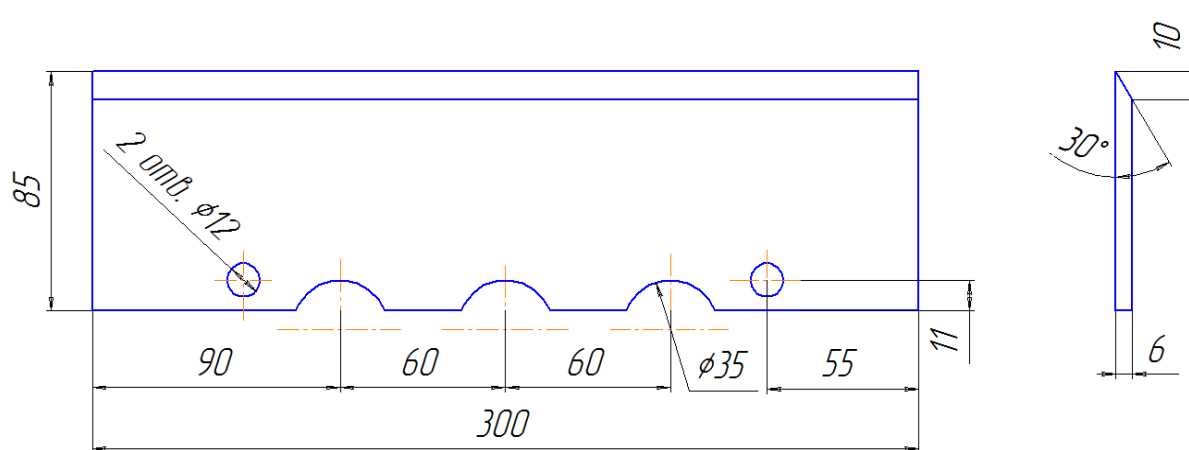


Рисунок 1 – Нож рубительной машины ГОСТ 17342-81

В качестве исследуемых параметров лазерного воздействия приняли твердость и микротвердость, как характеристики механических свойств материала ножа в зоне лазерного воздействия, а также содержание остаточного аустенита, как показатель степени разложения карбидной фазы.

По результатам анализа зависимости твердости от диаметра луча и энергии излучения при одиночных импульсах, полученных в результате поискового эксперимента (рисунок 4), определили оптимальный диаметр луча – 3 мм.

Уточняющие эксперименты позволили установить необходимую, с точки зрения формирования требуемой структуры энергию излучения. В этом случае, помимо твердости оценивали и количество остаточного аустенита методом рентгеноструктурного анализа (рисунок 5). Анализ графика выявил оптимальную энергию излучения в 6 Дж при напряжении 800В в одиночном импульсе. При этом получена структура свежезакалённого мартенсита с максимальной твердостью HRC 62-65 (HV 800) и необходимым количеством (около 4%) остаточного аустенита при минимальной степени растворения карбидной фазы.

На заключительном этапе исследования ЛТО при обработке последовательностью импульсов определили необходимую степень перекрытия ЗЛВ.

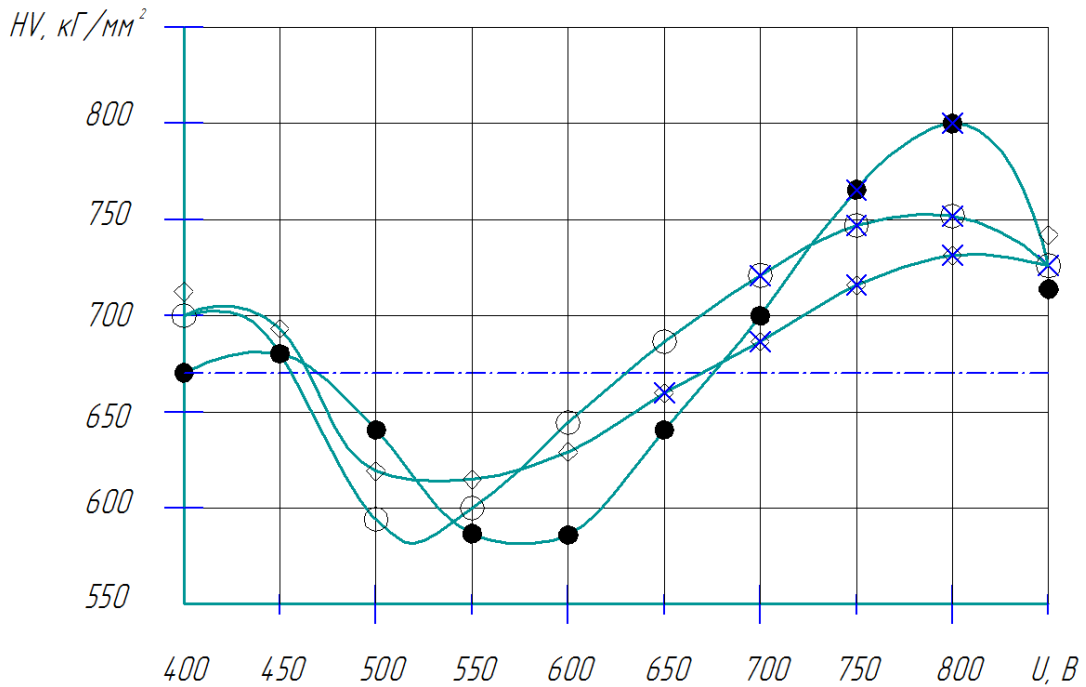


Рисунок 2 – Общий вид установки «Квант-15»



Рисунок 3 - Общий вид моторизованного приспособления для ЛТО ножей рубительных машин





диаметр лазерного луча, мм :

◇ - 2,25    ○ - 2,5    ● - 3,0

× - наличие оплавления поверхности в зоне лазерного воздействия

Рисунок 4 – Влияние диаметра лазерного луча и напряжения конденсаторов накачки (энергии лазерного излучения) на твёрдость материала ножа в зоне лазерного воздействия



перекрытия 0,5. При этом достигается твердость HRC 62-65 при глубине закаленного слоя 150...170 мкм. Структура лезвия- свежезакаленный мартенсит. Поверхность зоны лазерного воздействия – начальная стадия оплавления.

**Третья глава** посвящена оценке эксплуатационных свойств ножей рубительных машин после ЛТО при переработке сухостойной древесины.

Оценку эксплуатационных свойств ножей проводили на промышленной рубительной машине МРН-10 в эксплуатационных условиях при переработке в технологическую щепу марки Ц-3 балансов сухостойной древесины из ели диаметров 100-150 мм при влажности 5...12 %. В качестве оценочных параметров приняли износ режущей кромки (притупление) и степень ее хрупкого выкрашивания, а также фракционный состав щепы (отклонение состава от стандартного).

При проведении эксплуатационных исследований были решены следующие задачи:

- установлена зависимость между временем работы ножа без ЛТО и с ЛТО и уровнем износа режущей кромки;
- установлена зависимость между износом режущей кромки ножа и качеством технологической щепы;
- определен предельный ресурс работы ножа с ЛТО до очередной переточки.

Для оценки износа применили известный метод световой полосы реализованный после определенной доработки на универсальном измерительном микроскопе УИМ – 21. Кроме радиуса закругления лезвия определили степень хрупкого выкрашивания, подсчитывая количество элементов выкрашивания в поле зрения микроскопа в «контрсвете». Оценку фракционного состава щепы производили с помощью анализатора технологической щепы АЛТ-Мк (рисунок 7)



Рисунок 7 - Анализатор технологической щепы АЛГ-Мк

По результатам экспериментов получили зависимость притупления ножа от времени работы (рисунок 8) и зависимость фракционного состава щепы от притупления ножа (рисунок 9)

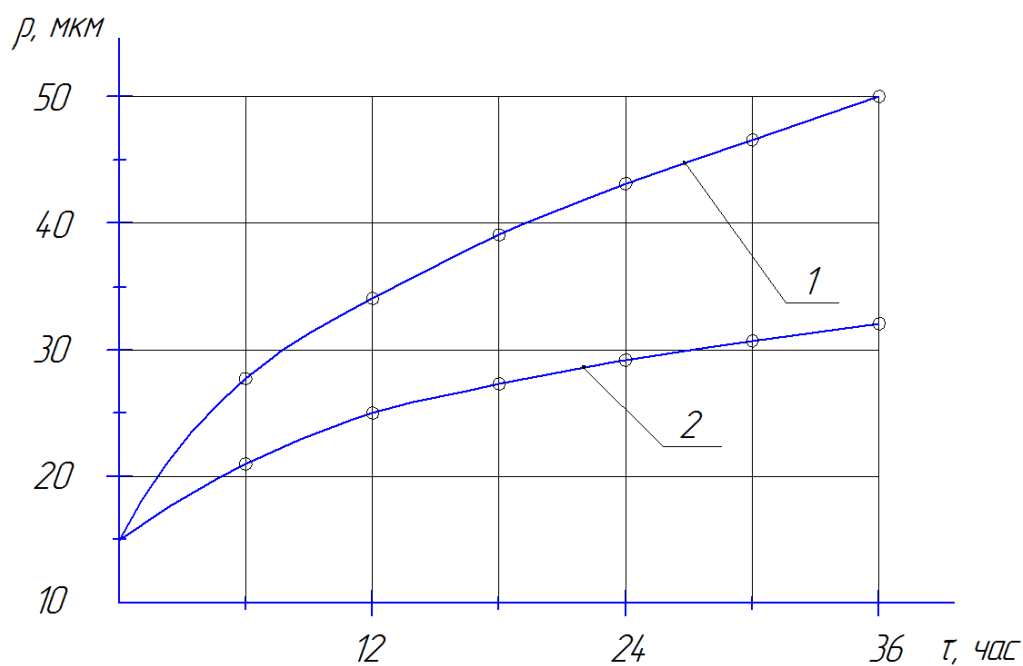


Рисунок 8 – Зависимость радиуса закругления режущей кромки ножа рубительной машины ( 1 – без ЛТО, 2 – с ЛТО по рекомендуемым режимам)

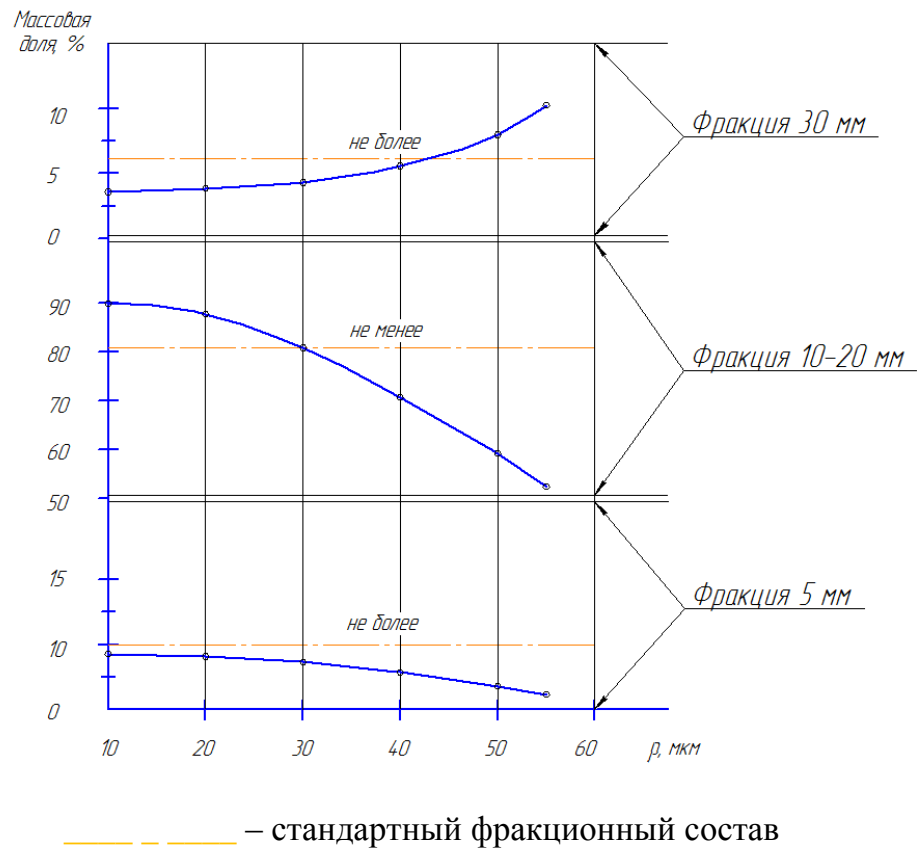


Рисунок 9 – Зависимость фракционного состава технологической щепы от радиуса закругления  $\rho$  режущей кромки ножа рубительной машины технологической щепы Ц-3 ГОСТ 15815-83

Совместный анализ зависимостей позволил определить предельный ресурс ножей рубительных машин с ЛТО и без ЛТО до очередной переточки. Для ножей с ЛТО ресурс составил 20-30 часов (в сравнении с 7-8 часами ножей без ЛТО), то есть вырос в 2,5-3 раза.

**В четвертой главе** на основании испытаний механических свойств сухостойной древесины была предложена методика теоретического расчета прочности сухостойной древесины от влажности и плотности, а также проверка предложенной методики на адекватность статистическим сравнением расчетных и реальных характеристик сухостойной древесины. Применение этой методики для теоретического расчета прочности на скалывание вдоль волокон сухостойной ели позволило получить графическую зависимость этой механической характеристики от влажности и плотности древесины (рисунок 10) математическая интерпретация этого графика представлена следующими формулами.

$$\tau_{СК} = 46,4 - 0,09 \cdot \rho_w$$

где  $\tau_{СК}$  предел прочности при скалывании вдоль волокон;

$\rho_w$  – плотность древесины при определённой влажности.

$$\tau_{ск} = 8,8 - 0,16W$$

Где  $W$  – влажность древесины

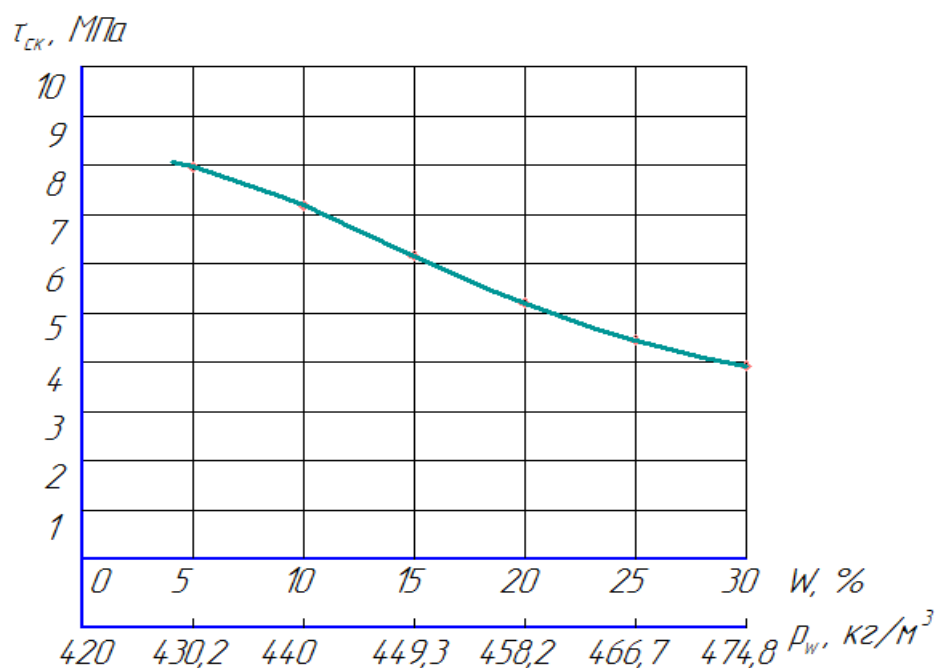


Рисунок 10 – Влияние влажности на предел прочности скалывания древесины ели

Применение этой методики рекомендовано для проверки конструктивных и технологических расчетов процесса резания при переработке сухостойной древесины в рубительных машинах.

**В пятой главе** проведена оценка влияния угла заточки (угла при вершине) режущей кромки ножа рубительной машины на фракционный состав щепы, потребляемую мощность рубительной машиной и ресурс ножей доя очередной заточки по методике, определенной в главе 4.

Исследование проводили с использованием ножей, подвергнутых ЛТО по предложенной технологии и режимам в диапазоне вариации угла заточки  $30^\circ \dots 40^\circ$  (номинальные  $30^\circ \dots 33^\circ$ ). Результаты исследования представлены на графиках (рисунок 11 и 12) и таблице 1.

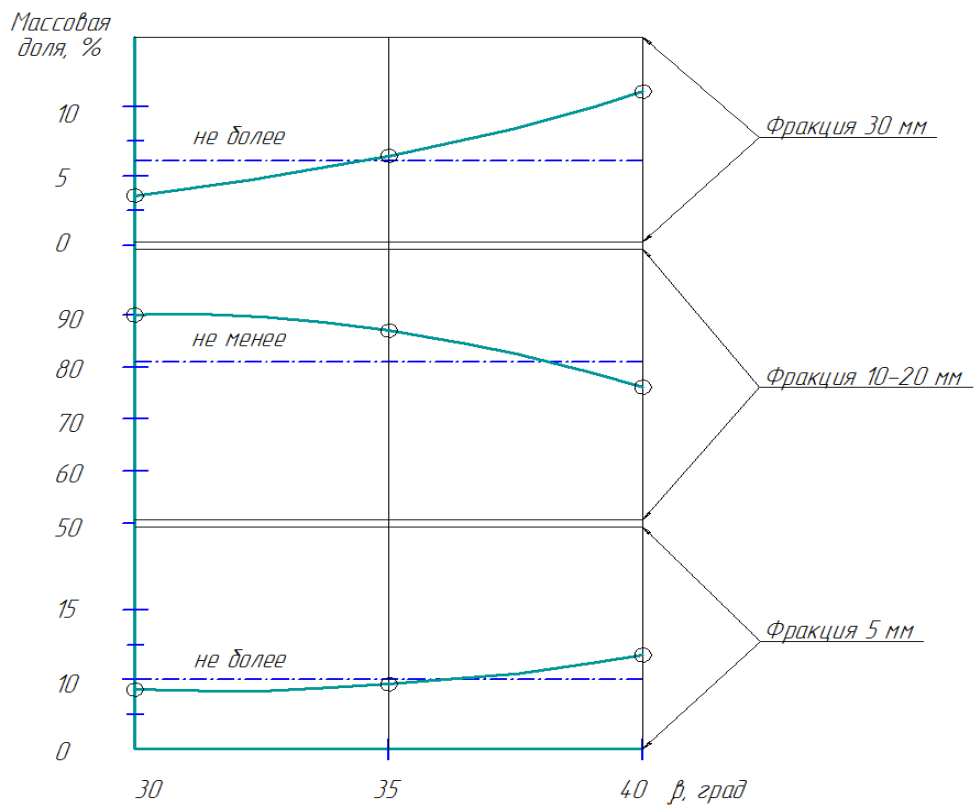


Рисунок 11 - Влияние угла заточки режущей кромки ножа рубительной машины при переработке сухостойной древесины

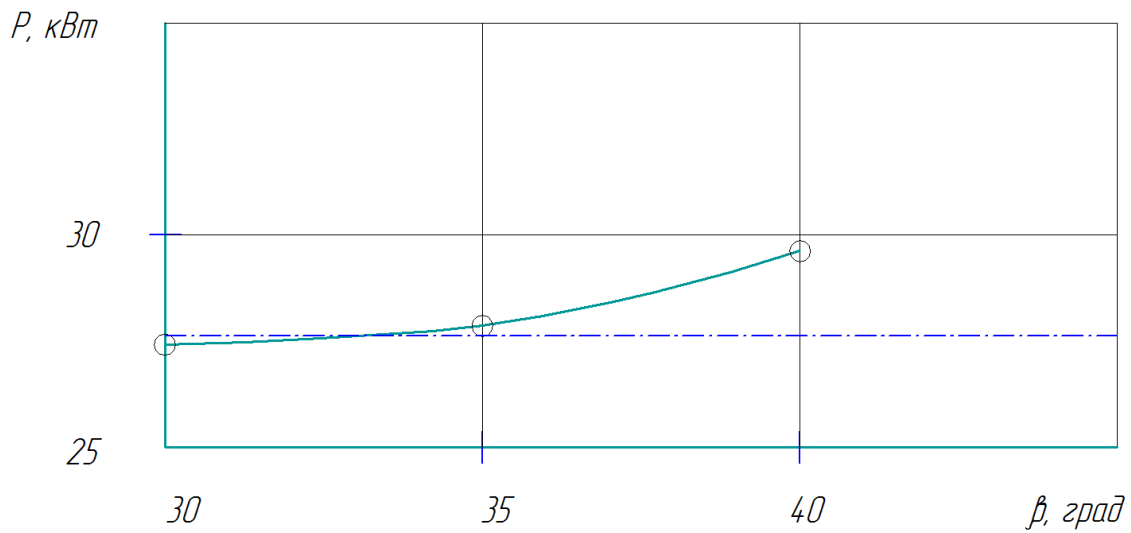


Рисунок 12 - Влияние угла заточки режущей кромки ножа рубительной машины на потребляемую мощность при обработке сухостойной древесины.

Таблица 1 Зависимость времени работы ножей рубительных машин до предельного износа (30 мкм) от угла заточки лезвия.

| Угол заточки, град. | Время работы, час | Степень выкрашивания ,<br>шт/мм |
|---------------------|-------------------|---------------------------------|
| 30                  | 27                | 12                              |
| 35                  | 29                | 8                               |
| 40                  | 33                | 6                               |

Анализ полученных зависимостей позволил рекомендовать коррекцию угла заточки в сторону увеличения до 40° при незначительном изменении фракционного состава щепы и росте потребляемой мощности не более 10%, при этом ресурс ноже увеличился на 20% при снижении степени выкрашивания в 2 раза.

**В шестой главе** проведено экономическое обоснование введения лазерной термообработки ножей рубительных машин в технологический процесс переработки сухостойной древесины. Проведена оценка экономического эффекта и срока окупаемости одной лазерной установки «Квант 15» при использовании совместно с промышленной рубительной машиной NHQ11-L-8 фирмы «ANDRITZ» (Финляндия) производительностью 150 м<sup>3</sup> в час. Расчеты показали, что месячная экономия составляет 90000 руб. при сроке окупаемости около 6 месяцев.

## **ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Сухостойная древесина отличается от свежесрубленной повышенными прочностью и твердостью, а также наличием значительного количества дефектов и может быть использована для получения для получения технологической щепы для сжигания, изготовления ДСП и топливных брикетов.

2. Лезвийный инструмент рубительных машин для переработки сухостойной древесины должен иметь повышенную (до HRC 62...65) твердость режущей кромки при сохранении высокой динамической прочности, что не может быть достигнуто путем легирования и традиционной термической обработки.

3. Применение лазерной термической обработки позволяет сформировать необходимое структурное состояние режущей кромки, а именно – сверхмелкозернистого свежезакалённого мартенсита при сохранении высокотвердых карбидов с прослойками остаточного аустенита, при этом достигается требуемая твердость HRC 62...65 при высокой динамической прочности.



4. Для получения требуемых свойств лезвийного инструмента из легированных инструментальных сталей предлагается следующий режим импульсной лазерной термообработки: диаметр зоны лазерного воздействия 3 мм, коэффициент перекрытия 0,5, энергия излучения 6 Дж.

5. Получаемая глубина закаленного слоя (150...170 мкм) достаточна для трех-пяти переточек изношенного лезвия.

6. Определено что интенсивность износа определяется структурным состоянием и твердостью режущей кромки лезвийного инструмента.

7. Изменение радиуса закругления режущей кромки существенно влияет на фракционный состав технологической щепы - с ростом затупления снижается выход основной и мелкой фракций и нарастает выход крупной фракции.

8. Предельное затупление, обеспечивающее выход щепы Ц-3, не должно превышать 30-35 мкм.

9. Достигнутая долговечность ножей рубительных машин с применением лазерной термической обработки составляет 20-30 часов между переточками в сравнении с долговечностью ножей без такой обработки 7-8 часов, что в 2,5-3 раза выше.

10. Определенный положительный эффект увеличения долговечности ножей с ЛТО дает применение к ним коррекции угла заточки в сторону увеличения до 40°, что приводит к незначительному изменению состава щепы и ее геометрических параметров при росте потребляемой мощности рубительной машиной мощности около 10%.

11. В результате коррекции угла заточки до 40° ресурс ножей с ЛТО возрастает на 20% при снижении степени выкрашивания в 2 раза. Использование такой коррекции можно рекомендовать и для лезвийного инструмента, не подверженного лазерной термообработке.

12. Предложенные в работе зависимости прочности сухостойной древесины по плотности и влажности применимы при конструкторских и технологических расчетах процесса переработки сухостойной древесины в технологическую щепу.

13. Разработанная технология лазерного упрочнения лезвийного инструмента из высоколегированных инструментальных сталей применима и для инструмента, изготовленного из низко- и средне- легированных сталей. В некоторых случаях при использовании предлагаемой технологии ЛТО возможна эффективная замена дорогостоящих высоколегированных на менее дорогие стали. Однако для этого необходимо уточнение режимов технологического процесса.

14. Более высокий комплекс механических и эксплуатационных свойств лезвийного инструмента может быть достигнут в результате использования комбинированного упрочнения, а именно – тело инструмента путем применения высокотемпературной термомеханической обработки со скоростным электроконтактным нагревом и дозированная пластическая деформация по способу (Пат. № 2533251 RU, МПК В 21 D 1/00) и последующая ЛТО лезвия.

15. Экономическая эффективность внедрения предлагаемой технологии упрочнения лезвийного инструмента рубительных машин для обработки сухостойной древесины составляет 90000 руб. в месяц при окупаемости 5,8 месяца.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. **Думанский, А.И. Повышение эффективности лезвийного инструмента** [Текст]/А.И. Думанский, А.Е. Алексеев, А.П. Алабышев // **Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012.- №3(13) – С. 42-46.**

2. **Думанский, А.И. Выбор режимов лазерной термической обработки (ЛТО) ножей рубительных машин для переработки сухостойной древесины** [Текст]/А.И. Думанский, И.О. Думанский, А.Е. Алексеев// **Лесной журнал 2015. - №2 – С.**

3. **Пат. 2533251 Российская Федерация, МПК7 В 21 D 1/00, С 21 D 8/00, С 21 D 7/13. Способ обработки изделия из тонкого листа. / А.И. Думанский, И.О. Думанский, С.И. Думанский, В.Н. Шиловский, А.В. Прохоров; заявитель и патентообладатель САФУ. – № 2013116151/02; заявл. 09.04.2013; опубл. 20.11.2014, Бюл. № 32. – 4 с.**

4. **Думанский, А.И. Оборудование для измельчения сухостойной древесины** [Текст]/А.И. Думанский, А.Е. Алексеев, А.П. Алабышев// **Технические науки - от теории к практике: материалы XV междунар. заочн. научно-практ. конференции. – Новосибирск: - Изд-во «СибАК», 2012. – С. 38-41**

5. **Думанский, А.И. Требование к лезвийному инструменту для переработки сухостойной древесины** [Текст]/А.И. Думанский, А.П. Алабышев// **Студенчески научный вестник России. – 2012, №1 – С. 97-99**

6. **Думанский А.И. Подготовка ножей рубительных машин для переработки усыхающих древостоев** [Текст]/А.И. Думанский, А.Е. Алексеев, А.П. Алабышев// **Актуальные проблемы лесного комплекса/ под редакцией Е.А Памфилова: сб.научн. тр. – вып. 34. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2012 – С.24-26.**

7. **Думанский, А.И. Упрочнение деталей деревоперерабатывающего оборудования с использованием лазерного и электроконтактного скоростного нагрева** [Текст]/А.И. Думанский, С.И. Думанский, А.В. Прохоров// **«Технология упрочнения.**

Нанесение покрытий и ремонта: теория и практика», Ч.2: материал XIV междунар. научно – практ. конф-ии. – С.Петербург: Изд-во Политехн.ун-та, 2012. С. 263-266.

8. Думанский, А.И. Определение зависимости предела прочности скалывания вдоль волокон от плотности древесины [Текст]/А.И. Думанский, А.Е. Алексеев, А.П. Алабышев// Технические науки - от теории к практике: материалы XVI междунар. заочн. научно-практ. конференции. – Новосибирск: - Изд-во «СибАК», 2012. – С. 18-23

9. Думанский, А.И. Лазерная термическая обработка лезвийного деревообрабатывающего инструмента для переработки сухостойной древесины [Текст]/А.И. Думанский, И.О, Думанский// «Технология упрочнения. Нанесение покрытий и ремонта: теория и практика», Ч.2: материал XIV междунар. научно – практ. конф-ии. – С.Петербург: Изд-во Политехн.ун-та, 2012. С. 45-47.