



Александр Викторович Алифанов  
Сергей Иванович Русан  
Владимир Владимирович Цуран

**Бездефектный способ  
заточки  
геликоидального  
рубильного ножа**

 **LAMBERT**  
Academic Publishing

Александр Викторович Алифанов  
Сергей Иванович Русан  
Владимир Владимирович Цуран

Бездефектный способ заточки геликоидального рубильного  
ножа

Репозиторий БарГУ

Александр Викторович Алифанов  
Сергей Иванович Русан  
Владимир Владимирович Цуран

**Бездефектный способ заточки  
геликоидального рубильного ножа**

Репозиторий БарГУ

LAP LAMBERT Academic Publishing RU

## Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Publisher:

LAP LAMBERT Academic Publishing

is a trademark of

International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page

ISBN: 978-613-9-88885-6

Copyright © Александр Викторович Алифанов,

Сергей Иванович Русан, Владимир Владимирович Цуран

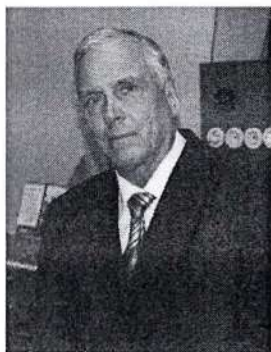
Copyright © 2018 International Book Market Service Ltd., member of  
OmniScriptum Publishing Group

All rights reserved. Beau Bassin 2018

Алифанов А. В., Русан С. И., Цуран В. В.

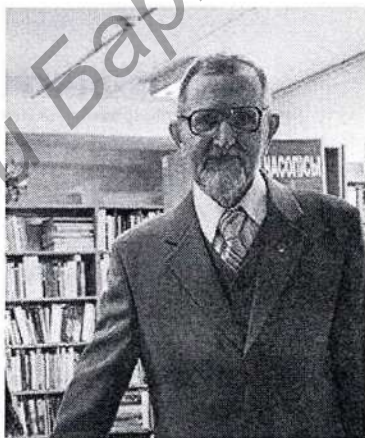
**БЕЗДЕФЕКТНЫЙ СПОСОБ ЗАТОЧКИ  
ГЕЛИКОИДАЛЬНОГО РУБИЛЬНОГО НОЖА**

Репозиторий БарГУ



**Алифанов Александр Викторович** – доктор технических наук, профессор кафедры оборудования и автоматизации производства Барановичского государственного университета, Лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники. Является руководителем нового для Республики Беларусь научного направления магнитно-импульсная упрочняющая обработка металлических изделий. Руководил работами по созданию технологий и оборудования изготовления геликоидальных рубильных ножей для получения технологической древесной щепы. Опубликовал 10 монографий (в том числе 1 – без соавторов), 6 брошюр, более 300 статей, является автором 30 изобретений.

**Русан Сергей Иванович** кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения УО «БарГУ». Со дня основания БарГУ в 2004 году он является ведущим специалистом в области методики преподавания теоретической механики, осуществляет научную деятельность. Опубликовал более 30-ти научных работ: статьи в сборниках конференций и научных журналах, учебно-практические пособия. Преподаваемые им дисциплины: «Статика», «Тэарэтычная механіка», «Ваганні механічных сістэм» и др. Не одно поколение будущих специалистов инженерного профиля получило возможность изучать теоретическую механику и другие точные дисциплины на белорусском языке. Кроме того, Сергей Иванович является автором замечательных очерков о студенческой жизни. Принимал активное участие в математическом обеспечении способа заточки геликоидальных рубильных ножей.



**Суран Владимир Владимирович** – заместитель начальника отдела главного технолога ОАО «Барановичский автоагрегатный завод» и одновременно старший преподаватель кафедры оборудования и автоматизации производства УО «БарГУ». В 2016 г. окончил заочную аспирантуру при университете по теме «Разработка технологии и оборудования изготовления рубильных ножей для производства технологической щепы». По этому направлению он опубликовал более 20 научных трудов, в том числе – монография (в соавторстве), подана заявка на получение патента на изобретение.

Геликоидальные рубильные ножи применяются в специализированных рубительных машинах, не имеющих механизмов подачи древесного сырья в зону рубки щепы. Подача осуществляется самозахватом за счёт специальной винтообразной формы режущего лезвия ножа. Шлифование геликоидальных ножей обычно производится на плоскошлифовальных станках, причем винтообразная форма режущему лезвию придаётся путём применения специальных прокладок. Однако механическое воздействие на нож в целях изменения его формы приводит к возникновению в теле ножа существенных внутренних напряжений, приводящих к частым поломкам. Целью данной работы является создание кинематической схемы заточки ножей, при которой отсутствует их механическое формоизменение, а винтообразная форма лезвия достигается за счёт определённого соотношения поступательных и вращательных движений специальной оснастки. Приведены конструкция опытного устройства и результаты его производственных испытаний.

## Оглавление

Введение .....	4
Аналитическое исследование конструкций рубильных машин .....	6
1.1 Особенности процесса переработки древесины в щепу. Типы рубильных машин .....	6
1.2 Назначение рубильных машин и область их применения [2 - 6]. .....	6
Ножи для рубильных машин [7, 8].....	8
Технология заточки рубильных ножей [8] .....	11
Заточка геликоидальных ножей.....	14
Разработка принципиальной схемы устройства и способа шлифования ежущего лезвия геликоидальных рубильных ножей.....	18
Анализ настройки механизма для шлифования по средней точке режущей кромки лезвия геликоидальных рубильных ножей .....	22
6.1 Теоретический расчет траектории шлифования режущей части геликоидальных ножей.....	22
6.2 Настройка механизма для заточки рубильных ножей по средней точке режущей кромки лезвия.....	30
7 Разработка математической модели устройства и способа для заточки режущей кромки геликоидальных рубильных ножей.....	31
7.1 Зависимость между углами заточки ножа и их проекциями на торцевые сечения несущего цилиндра.....	31
7.2 Разрешающее уравнение в тригонометрических функциях. Метод последовательных приближений.....	36
8 Разработка устройства для установки и углового перемещения геликоидального ножа в процессе заточки.....	39
8.1 Разработка барабана для установки и углового перемещения геликоидального ножа .....	40
8.2 Разработка компоновки устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей .....	42
9 Изготовление и проведение испытаний устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей .....	44
Заключение.....	47
Список использованных источников .....	48

## 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.

К качеству щепы, применяемой для производства целлюлозы, предъявляются очень высокие требования: она должна иметь определенные размеры по длине, ширине и высоте, все поверхности щепы должны быть гладкими и цельными, категорически не допускаются разрывы, искривления и другие дефекты древесных волокон щепы, которые впоследствии негативным образом отражаются на качестве получаемой из щепы целлюлозы. Соответственно и к ножам, применяемым для получения такой щепы, предъявляются повышенные требования.

Второй по важности задачей является разработка рубильных ножей для производства технологической щепы, применяемой при изготовлении древесно-стружечных плитных материалов, широко применяемых в мебельной промышленности. В Беларуси функционирует большое количество мебельных предприятий, чья продукция, в частности, пользуется спросом и за рубежом. К качеству такого рода технологической щепы также предъявляются высокие требования в части ее однородности по размерам. Не допускается наличие в однородной щепе отдельных крупных кусков, которые резко ухудшают качество получаемых древесно-стружечных плит. Выполнение этого требования возможно только за счет высокой остроты лезвия ножа.

Следует отметить, что многие виды ножей для изготовления технологической щепы подвергаются особому виду шлифования режущей кромки — геликоидальному, благодаря чему перерабатываемая на технологическую щепу древесина захватывается этими ножами и втягивается в зону обработки, благодаря чему отпадает необходимость применения специальных устройств для подачи древесных материалов.

В настоящее время заточка режущего лезвия геликоидального ножа производится на обычных плоскошлифовальных станках с применением различных подкладок, придающих лезвию определенную изогнутость, из-за чего в теле ножа возникают внутренние напряжения, приводящие к частым поломкам ножа или в процессе заточки, или в начале эксплуатации.

В данной работе поставлена задача разработать такие способ и устройство для шлифования режущих лезвий геликоидальных ножей, которые не вызывают в теле ножа в процессе закрепления и шлифования внутренних напряжений, приводящих в процессе эксплуатации к преждевременным поломкам, а часто и к поломкам ножей в процессе шлифования.

Предложено устройство (способ), в котором закрепление рубильного ножа происходит в специальном барабане без принудительного изгиба, что исключает возникновение внутренних напряжений. Получение геликоидальной формы режущему лезвию рубильного ножа предполагается за счет одновременного поступательного и ограниченного вращательного движения барабана с ножом относительно шлифовального круга.

Для создания устройства и способа заточки режущей кромки геликоидальных рубильных ножей без их принудительного деформирования необходимо рассчитать траекторию движения закрепленного в подвижном барабане ножа относительно шлифовального круга, обеспечивающую заданное изменение угла заточки вдоль всей длины режущего лезвия ножа. Целью данной работы является также разработка математической модели для определения параметров механической системы процесса заточки.

# **1 Аналитическое исследование конструкций рубительных машин**

## **1.1 Особенности процесса переработки древесины в щепу. Типы рубительных машин**

При измельчении древесины производится продольноторцовое резание с образованием слоя стружки толщиной 10 ... 17 мм, которая, раскальваясь, образует фракции щепы. Размеры щепы зависят от кинематики резания и физико-механических свойств древесины.

Наиболее стабильные геометрические размеры частиц щепы наблюдаются при движении режущего элемента в плоскости круга (дисковые рубильные машины). При этом подача сырья осуществляется равномерно на величину выступа режущей кромки ножа над плоскостью диска. Угол среза частиц щепы не зависит от сечения древесины и всегда постоянный.

При движении режущего ножа по цилиндрической поверхности размеры частиц щепы (как длина, так и толщина) изменяются в результате того, что угол встречи вектора скорости режущей кромки с древесиной постоянно меняется. На основе этого вида движения режущего элемента созданы барабанные рубильные машины, которые применяются в основном для измельчения сучьев и кусковых отходов. Есть и такие рубильные машины, в которых режущий элемент движется по конусной поверхности (конические рубильные машины) или режущая кромка выполнена винтообразной формы (шнековые машины).

На основе анализа развития рубильной техники установлено, что в настоящее время преимущество имеют дисковые машины (53 %), барабанные машины составляют 44 %, другие типы машин — 3 %. В дисковых и барабанных рубильных машинах преобладает (в среднем 80 %) свободная (гравитационная) подача сырья [1].

## **1.2 Назначение рубительных машин и область их применения [2 - 6].**

Для переработки разного по виду сырья (дров, кусковых отходов лесопиления, карандашей фанерного производства, обрезков

деревообрабатывающих производств и др.) в щепу применяют рубительные машины.

Щепа в рубительных машинах получается в результате резания древесины инструментом в продольно-торцово-поперечном, продольно-торцовом, поперечно-торцовом и других направлениях. Получаемые древесные частицы (щепа) имеют сравнительно большую толщину (до 10 мм), поэтому такой способ резания получил название рубка щепы, а применяемое для этой цели оборудование – рубительные машины.

В настоящее время на 15 деревообрабатывающих предприятиях Концерна «Беллесбумпром» используется большое количество (более 50) разнообразных рубительных машин, аналогичных по выполняемым функциям.

#### *Классификация рубительных машин*

Рубительные машины для производства технологической щепы делятся на следующие группы:

#### *в зависимости от типа рабочего органа (механизма резания):*

- дисковые рубительные машины, рабочий орган которых выполнен в виде плоского или профильного (геликоидального) диска с ножами на нем;

- барабанные рубительные машины, рабочий орган которых выполнен в виде барабана с ножами на внешней поверхности:

- 1) машины с рабочим органом в виде цилиндра;

- 2) машины с рабочим органом в виде конуса;

- 3) машины с рабочим органом в виде двух конусов, расположенных на одной оси и соединенных друг с другом вершинами;

#### *по мобильности:*

- 1) передвижные (прицепные, полуприцепные, смонтированные на раме базового трактора);

- 2) стационарные;

#### *по способу загрузки древесины:*

1) рубительные машины с горизонтально расположенным питающим патроном, древесину в который подают цепным или ленточным транспортером, рольгангом или шнеками;

2) рубительные машины с питающим патроном, наклоненным в вертикальной плоскости, древесина в котором перемещается за счет гравитационных сил;

3) рубительные машины с комбинированной загрузкой, оснащенные двумя патронами;

*по способу удаления щепы из машины:*

1) удаление щепы вверх по щепопроводу с помощью воздушного потока;

2) удаление щепы вниз на транспортер;

3) «безударное» удаление щепы, происходящее примерно по направлению подачи сырья в машину.

## **2 Ножи для рубительных машин [7, 8].**

В барабанных рубительных машинах применяются ножевые валы барабанного типа, сменной режущей частью которых являются плоские ножи. Конструкция ножей, их размеры и величины углов зависят от конструкции барабанных ножевых валов, на которых ножи крепятся при помощи различных конструкций. Конструкция барабанных ножевых валов и их размеры в основном предопределяются конструкцией и назначением машины и различаются по форме, числу ножей и способам их крепления.

Барабанный ножевой вал изготавливается чаще составным или сборным с цапфами для подшипников. При замене ножей вал со станка не снимается.

Ножи рубительных машин имеют прямоугольную форму, режущая кромка различной длины расположена по меньшей стороне прямоугольника, причем ножи с меньшей длиной используют при переработке крупномерной древесины, а с большей – при переработке кусковых отходов.

Расположение ножей на барабане чаще симметричное или спиральное (рисунок 2.1), резание осуществляется открытое, секционное, его кинематика имеет свои особенности.

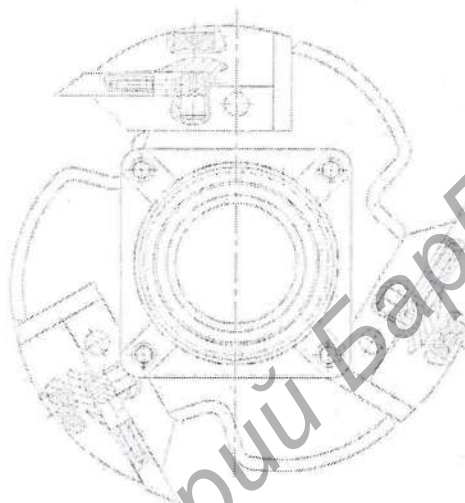


Рисунок 2.1 — Ножевой барабан

В рабочем положении ножи находятся на барабане в специальных съемных гнездах-резцедержателях. Их режущая часть выступает на 12–15 мм. Съемная конструкция резцедержателя позволяет при износе быстро, за 6–8 мин заменить их, не снимая рабочего органа машины. Замену осуществляют по мере износа ножей после перезаточек или выхода из строя. Нож может быть цельным или комбинированным (сборным). Число ножей на рабочем органе машины зависит от типоразмера и исполнения и составляет от 2 до 31 штук.

В некоторых рубительных машинах (МРН-5, МРГ-18Н, МРГ-20Н, МРНП-10, МРНП-30, МРГП-40 и др.) с самоподачей древесного сырья применяются геликоидальные рубильные ножи. Самоподача сырья происходит за счет втягивания его в зону переработки на щепу винтообразным профилем режущих лезвий ножей (ОАО «Барановичдрев», ОАО «Витебскдрев», ОАО «МАПИД»).

Изготовление и заточка таких ножей, имеющих переменный угол заострения по длине ножа, является достаточно сложным процессом.

Скошенная часть кромки ножа имеет геликоидальную поверхность, угол заточки (заострение) по длине ножа переменный. Конец ножа, расположенный к центру ножевого диска, имеет больший угол заточки. Такая сложная геометрия режущей кромки обусловлена тем, что при рубке древесины происходит самозахват обрабатываемого материала, что упрощает конструкцию рубительной машины — отпадает необходимость в подающем устройстве.

Для обеспечения постоянного установочного размера ножа (по ширине) на его тыльной стороне имеются регулировочные винты с опорными колодками. Необходимая точность установочного размера ножа достигается прокладками, которые закладываются между колодкой и тыльной стороной ножа.

Переменный угол (например,  $\alpha = 5^\circ$ ) режущей кромки получают за счет изгиба рубильного ножа с помощью подкладных регулировочных планок.

Под воздействием напряжений на поверхности или в объеме ножей могут появляться микро- и даже макротрещины, в результате чего ножи становятся непригодными к эксплуатации еще до установки в рабочий барабан.

Анализ номенклатуры ножей для рубительных машин, работающих на предприятиях концерна «Беллесбумпром», показал, что конструкция и типоразмеры ножей напрямую зависят от используемого оборудования. Габаритные размеры ножей ( $L \times H \times S$ ), сильно колеблются:  $L = 40-930$  мм,  $H = 40-360$  мм,  $S = 4-25$  мм. Количество ножей в комплекте достигает 82 шт. Виды крепежа на рабочем органе (барабане, диске) определяют конструктивные особенности ножа (отверстия, режущие кромки). Твердость режущей кромки различных ножей колеблется и составляет HRC 54–60.

### 3 Технология заточки рубильных ножей [8]

В отдельном цикле заточки можно выделить четыре этапа: установку ножа, наладку станка, заточку ножа, доводку. Доводку часто выделяют в отдельную операцию, т.е. партию ножей сначала затачивают, затем доводят. Установка ножа состоит из выверки его положения на столе станка и крепления. Выверка должна обеспечить параллельность ножа направлению перемещения каретки. Нож выверяют относительно стола, пренебрегая погрешностью расположения последнего. При выверке добиваются, чтобы режущая кромка ножа равномерно выступала над плоскостью стола, смежной с рабочей плоскостью. Перед выверкой нож кладут на рабочую поверхность стола и слегка прижимают планками у концов. После выверки нож закрепляют окончательно, устанавливая промежуточные планки и затягивая их до полного усилия, начиная со средней планки.

Применяют несколько способов выверки и установки ножей. Широко применяют выверку по шаблону. Шаблон прилагается к станку заводом-изготовителем. Форма шаблона и схема выверки показаны на рис. 3.1, а. Нож кладут несколько выше его положения при заточке и слегка прижимают у концов планками. Шаблон прикладывают к режущей кромке ножа напротив планки. Нажатием на шаблон нож сдвигают, пока шаблон не упрется в плоскость стола. То же самое проделывают с другим концом ножа, после чего нож закрепляют.

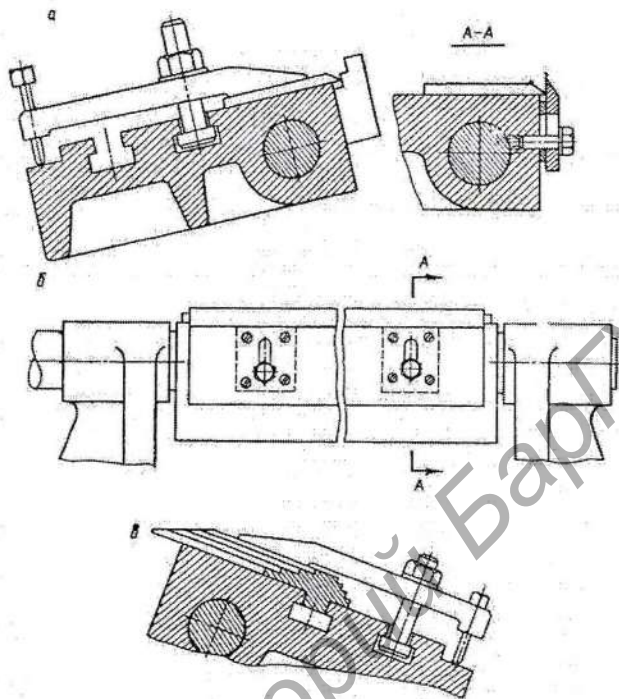


Рисунок 3.1 — Способы установки ножей на столе ножеточильного станка:  
*a* — по шаблону; *б* — по линейке; *в* — со ступенчатой планкой

При установке нескольких коротких ножей одновременно выверка по шаблону оказывается недостаточно точной и непроизводительной. Более предпочтительна выверка по линейке, схема которой показана на рисунке 3.1, б. Достаточно жесткую и прямолинейную планку (установочная линейка) прикрепляют двумя винтами к плоскости стола, смежной с рабочей плоскостью. Линейка снабжена двумя опорными пластинами, пришабренными к плоскости стола. Толщина их равна выставке ножей (3—5 мм). Перед установкой ножей линейку сдвигают в верхнее положение и закрепляют винтами. Нож придвигают режущей кромкой вплотную к линейке и закрепляют планками. После установки всех ножей линейку опускают в нижнее положение. На станках, столы которых снабжены двумя рабочими плоскостями, линейку

устанавливают на одной из них, как обыкновенный нож с прорезьями. Установочной линейкой снабжен стол станка ТчНТ6.

Преимуществами обладает комплектная заточка тонких ножей. Она заключается в том, что несколько ножей, составляющих комплект для ножевого вала, устанавливают один над другим с помощью специальной ступенчатой планки и затачивают вместе. Схема установки ножей показана на рисунке 3.1, в. Ступенчатая планка выполняет роль установочной линейки. Она входит выступом в паз стола. Ножи базируются продольной гранью, по уступам линейки. Данный способ можно использовать и для однорядной заточки ножей. Недостаток способа состоит в том, что при комплектной заточке каждая планка пригодна лишь для одного постоянного угла заточки. Кроме того, по мере стачивания значительно изменяется выставка ножей над кромкой стола, поэтому у станков ТчН-4 и ТчНС18 стол имеет ряд мелких пазов. Быстродействующие зажимные устройства, примененные у этих станков, в сочетании со ступенчатой планкой позволяют быстро и точно установить ножи даже при большом их числе. Комплектная заточка ножей устраняет необходимость в их балансировке.

При любом способе установки ножи располагают начиная с левого конца стола. Следует стремиться к полному использованию длины стола, располагая короткие ножи один за другим. Не допускается ход каретки менее 500 мм во избежание перегрева электродвигателя привода от частого реверсирования.

В настройку станка входят установка угла заточки, подвод шлифовального круга, установка правого крайнего положения каретки, величины подачи врезания и припуска на заточку, скорости подачи каретки и включение насоса.

Установка стола на угол заточки должна выполняться с максимальной точностью и изменяться возможно реже. Несовпадение установленного угла заточки и фактического на ножах увеличивает продолжительность заточки и расход ножей. Это обычно недооценивают, особенно при заточке толстых ножей. Если угол заострения ножа окажется на полградуса больше

установленного, потребуется путем дополнительного шлифования снять припуск толщиной 0,16 мм, что составит 6—10 двойных ходов каретки.

Подвод круга состоит в поднятии его выше уровня установленного ножа, перемещении к левому концу стола и плавном опускании до соприкосновения с ножом. При установке ножей по шаблону или линейке для поднятия круга достаточно одного оборота маховичка подачи врезания против часовой стрелки. Для большего подъема нужно отвести собачку вращением винта на головке толкателя. Перемещать каретку к левому концу ножа, а после подвода круга к правому, нужно кнопкой «Толчок» или вручную. Круг подводят до соприкосновения с ножом осторожно, при этом круг должен вращаться. Для более уверенного подвода следует пользоваться лимбом подачи на станках ТчН-4, а также лимбом храпового механизма на остальных станках. Крайнее правое положение каретки выбирают так, чтобы круг находился на 50—100 мм правее правого торца ножа. Правый упор механизма реверса придвигают к пальцу каретки и закрепляют. Перебег круга величиной 50—100 мм нужен для того, чтобы шлифование начиналось после достижения кареткой рабочей скорости.

#### **4 Заточка геликоидальных ножей**

Наибольший интерес вызывает заточка ножей с переменным углом заострения по длине ножа (геликоидальных ножей). Скошенная часть кромки ножа имеет геликоидальную поверхность, угол заточки (заострение) по длине ножа переменный. Конец ножа, расположенный к центру ножевого диска, имеет больший угол заточки. Такая сложная геометрия режущей кромки обусловлена тем, что при рубке древесины происходит самозахват обрабатываемого материала, что упрощает конструкцию рубительной машины – отпадает необходимость в подающем устройстве. Для обеспечения постоянного установочного размера ножа (по ширине) на его тыльной стороне имеются регулировочные винты с опорными колодками. Необходимая точность

установочного размера ножа достигается прокладками, которые закладываются между колодкой и тыльной стороной ножа [9].

Заточку ножей с переменным углом заострения производят на ножеточильных станках, применяемых и для заточки ножей с прямолинейной режущей кромкой. Переменный угол ( $\alpha = 4-6^\circ$ ) режущей кромки получают за счет скручивания рубильного ножа по винтовой линии, соответствующей геликоидальной поверхности диска, с помощью подкладных регулировочных планок.

Диски рубильных машин рассчитаны на установку ножей постоянной ширины: для летних условий  $88 \pm 0,05$  мм, для зимних условий  $89 \pm 0,05$  мм, что обеспечивает их определенный выступ над диском машины и зазор между рубящими и контрножами. По мере стачивания настроечную ширину ножа компенсируют прокладками (рис. 4.1, а), наплавкой или приваркой упоров на его задней опорной поверхности (обухе) (рис. 4.1, б) или винтами (рис. 4.1, в). Установочную ширину регулируют и контролируют в шаблонах-калибрах с проходными и непроходными участками (рис. 4.1, г).

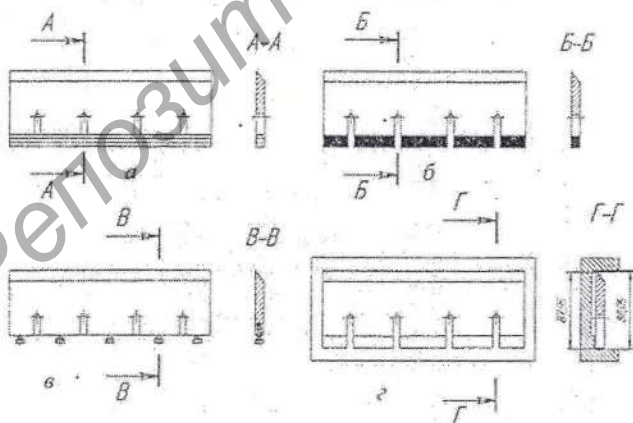


Рисунок 4.1 — Рубильные ножи: а — тип 1; б — тип 2; в — тип 3; г — шаблон-калибр для контроля установочной ширины ножей



Однако в результате винтообразного изгиба плоской заготовки рубильного ножа в его объеме возникают знакопеременные напряжения (рисунок 4.2).

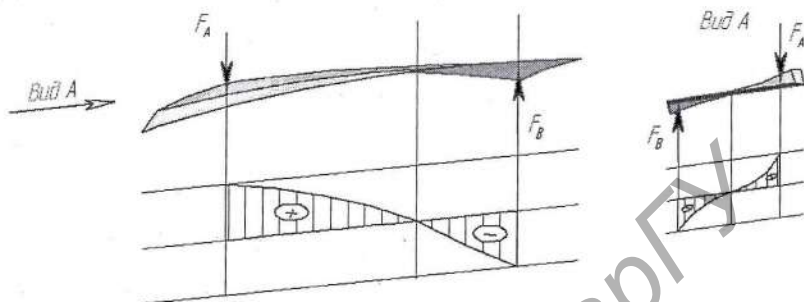


Рисунок 4.2 — Напряжения, возникающие под действием усилий при установке ножей в приспособлении

Под воздействием напряжений на поверхности или в объеме ножей могут появляться микро- и даже макротрещины, в результате чего ножи становятся непригодными к эксплуатации еще до установки в рабочий барабан. На рисунке 4.3 показаны геликоидальные ножи, вышедшие из строя в процессе заточки на ОАО «Барановичдрев».



Рисунок 4.3 — Рубильные ножи, отбракованные после заточки

На предприятии ОАО «Барановичдрев» скопилось значительное количество дефектных ножей, которые вышли из строя еще до эксплуатации. Это и послужило причиной разработки оригинального устройства, служащего для заточки рубильных ножей с переменным углом заострения по длине ножа, без применения его винтообразной деформации. Разработка устройства является целью настоящего проекта.

## **5 Разработка принципиальной схемы устройства и способа шлифования режущего лезвия геликоидальных рубильных ножей**

Рубка древесины на рубительных машинах с целью получения технологической щепы производится в продольно-торцовом направлении по отношению к волокнам древесины, и усилия, возникающие при резании, достигают 5000 Н, что обуславливает повышенные требования к ножам. Кроме того, для осуществления процесса резания на машинах с геликоидальным диском необходимо, чтобы угол заострения имел переменные значения по длине ножа. Геликоидальная (переменная) геометрия режущей кромки обеспечивает при рубке древесины самозахват и подачу обрабатываемого материала в зону обработки, что упрощает конструкцию рубительной машины – отпадает необходимость в подающем устройстве.

Однако, заточка режущего лезвия геликоидального ножа представляет значительные трудности.

Известен способ (устройство) для механической обработки криволинейных поверхностей деталей, в частности, лопаток газотурбинных двигателей [10], который заключается в использовании копиров, которые с помощью подвижных суппортов совершают возвратно-поступательные движения вдоль копируемой детали, при этом инструмент, связанный с копиром, обрабатывает поверхность заготовки.

Недостаток способа (устройства) заключается в сложном процессе обработки, а также в том, что обрабатываемая деталь (лопатка газотурбинного двигателя) имеет сложную криволинейную форму, в то время как

геликоидальный рубильный нож имеет плоскую прямолинейную форму, а винтовую форму приобретает только режущее лезвие ножа за счет изменения угла заточки вдоль всей длины. Следовательно, такой способ (устройство) не может быть использовано для заточки режущего лезвия геликоидальных ножей.

Известно устройство для придания режущему лезвию рубильного ножа геликоидальной (винтовой) формы [11], которое состоит из ряда специальных геликоидальных накладок различной толщины и прижимного приспособления, с помощью которого рубильный нож и расположенные под ним накладки крепятся к рабочему столу плоскошлифовального станка. К недостаткам устройства относится то, что в процессе прижима обрабатываемого ножа к прокладкам, нож принудительно принимает сложную (винтообразную) форму, что создает внутри его значительные напряжения.

Способ заточки режущего лезвия рубильного ножа с целью придания ему геликоидальной формы, с применением вышеприведенного устройства [11], заключается в установке рубильного ножа на рабочий стол плоскошлифовального станка, в установке между ножом и столом геликоидальных накладок различной толщины, количество которых определяется длиной ножа, в закреплении ножа и накладок к столу с помощью специального приспособления, при этом нож приобретает изогнутую (винтообразную) форму, и заточке режущего лезвия ножа абразивным кругом, установленным на плоскошлифовальном станке.

Основным недостатком этого способа является то, что в процессе установки разнотолщинных геликоидальных накладок и прижимании к ним рубильного ножа, в объеме ножа возникают значительные внутренние напряжения, приводящие в процессе заточки к образованию микро- и макротрещин и, как результат, к преждевременным поломкам ножа в процессе эксплуатации, а часто и в процессе заточки.

Задача, на решение которой направлена настоящая работа, заключается в создании таких условий заточки, при которых в объеме ножа не возникают внутренние напряжения, микро- и макротрещины.

На рисунках 5.1, 5.2 и 5.3 показаны схемы геликоидального ножа, устройства для шлифования, барабана для крепления ножа соответственно.

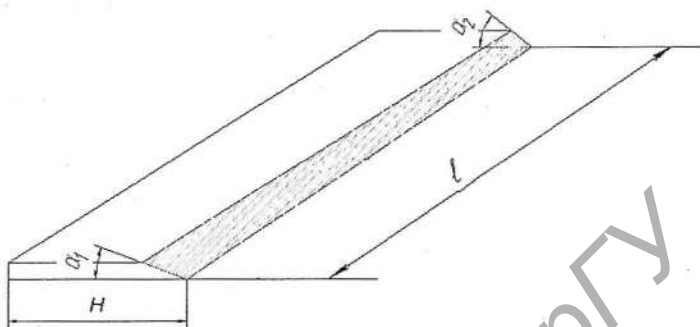


Рисунок 5.1 — Геликоидальный рубильный нож:  $l$  — длина ножа,  $H$  — ширина ножа,  $\alpha_1$  — начальный угол заточки,  $\alpha_2$  — конечный угол заточки ( $\alpha_2 > \alpha_1$ )

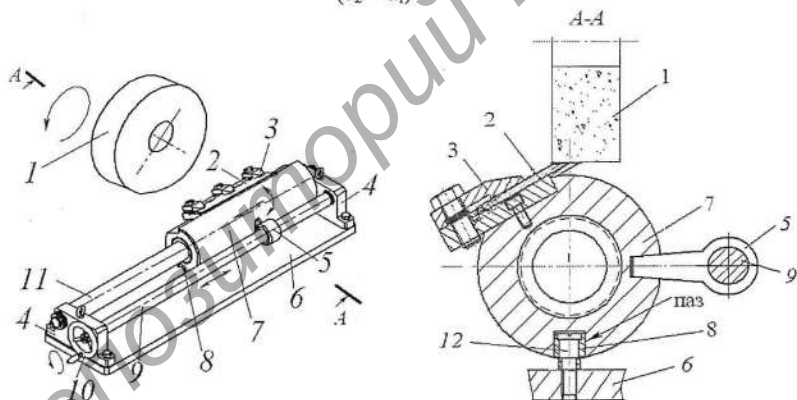


Рисунок 5.2 — Принципиальная схема устройства: 1 — шлифовальный круг, 2 — нож, 3 — прихват, 4 — опора с подшипниками, 5 — гайка, 6 — основание, 7 — барабан, 8 — ролик, 9 — ходовой винт, 10 — маховичок, 11 — направляющая барабана, 12 — кронштейн

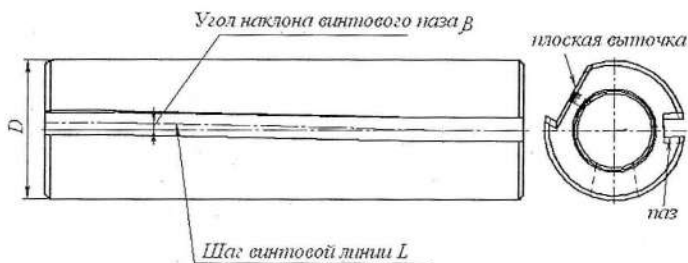


Рисунок 5.3 — Конструкция барабана

Устройство (рисунок 5.2) состоит из трех прихватов 3, двух опор 4 с подшипниками, гайки 5, ходового винта 9, основания 6, барабана 7, ролика 8, маховичка 10, направляющей барабана 11 и кронштейна 12. Две опоры 4 и основание 6 образуют корпус устройства. В вертикальные опоры 4 устанавливаются подшипники качения, в которых устанавливается ходовой винт 9. На винте 9 имеется гайка 5, которая вместе с жестко соединенным с ней барабаном 7, надетым на направляющую барабана 11. С помощью кронштейна 12 к основанию корпуса крепится ролик 8, имеющий возможность свободно вращаться вокруг своей оси. Вращение ходовому винту 9 придается за счет вращения маховичка 10. В процессе вращения винта вдоль его оси перемещается гайка 5, жестко соединенная с барабаном 7. Рубильный нож равномерно прижимается прихватами 3 в трех точках к плоской выточке барабана. На поверхности барабана под углом  $\beta$  к образующей барабана изготовлен паз (рисунок 5.3), в зацепление с которым входит ролик 8 (рисунок 5.2).

Способ заточки режущего лезвия геликоидального рубильного ножа осуществляется следующим образом: устройство (рисунок 5.2) устанавливается на стол преимущественно плоскошлифовального станка, а рубильный нож 2 устанавливается на плоской выточке, изготовленной вдоль всей поверхности барабана 7, и закрепляется к ней прихватами 3, не подвергая нож принудительному изгибу, после чего барабан 7 благодаря паре «винт-гайка» 5 и 9 совершает продольное движение вдоль своей оси и одновременно-

ограниченное вращение вокруг своей оси благодаря относительному перемещению ролика 8, закрепленного с помощью кронштейна 12 к основанию 6 (рисунок 5.2), вдоль паза, изготовленного на поверхности барабана под углом  $\beta$  к образующей барабана (рисунок 5.3), в процессе продольно-вращательного движения барабана обеспечивается заданное изменение угла заточки  $\alpha$  вдоль режущего лезвия геликоидального рубильного ножа, причем  $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ , где  $\alpha_1$  – начальный, а  $\alpha_2$  – конечный угол заточки режущего лезвия геликоидального рубильного ножа (рисунок 5.1).

Заточка лезвия геликоидального ножа 2 производится шлифовальным кругом 1 в процессе продольно-вращательного движения барабана 7.

Для ножа длиной  $l = 300$  мм значения перемещения угла заточки  $\alpha$ , изменяются от  $29^\circ 42'$  в начальной точке лезвия до  $34^\circ 42'$  в конечной [12]. Всего угол  $\alpha$  изменяется на  $5^\circ$ , что соответствует требованиям к геликоидальным рубильным ножам [12]. Устройство устанавливается на стол плоскошлифовального станка (например, станок мод. ОРША – 60120.23).

## **6 Анализ настройки механизма для шлифования по средней точке режущей кромки лезвия геликоидальных рубильных ножей**

### **6.1 Теоретический расчет траектории шлифования режущей части геликоидальных ножей**

В некоторых типах рубильных машин в качестве режущего инструмента используется геликоидальный нож, схематично изображенный на рисунке 6.1. В отличие от ножей с прямолинейной кромкой, геликоидальный нож способен затягивать на себя обрабатываемую древесину, в результате чего отпадает необходимость в применении специальных подающих устройств. Как видно из рисунка 6.1, нож представляет собой длинную прямоугольную пластину постоянной толщины со скошенной заостренной поверхностью, причем угол заострения по длине режущей кромки меняется. В качестве направляющей линейчатой поверхности примем лезвие АВ заготовки (рисунок 6.1). Углы наклона  $\alpha_1, \alpha_2$  установлены опытным путем в процессе эксплуатации

рубительных машин. Заготовка для изготовления ножа может иметь форму пластины с габаритными размерами ножа или пластины со скошенным под углом  $\alpha_2$  по всей длине краем (полуфабрикат). На рисунке 6.1 показан геликоидальный нож длиной  $L$ , шириной  $b$ , толщиной  $\delta$ . Угол заточки  $\alpha_1$  в начале режущей кромки меньше угла заострения  $\alpha_2$  в конце режущей кромки.

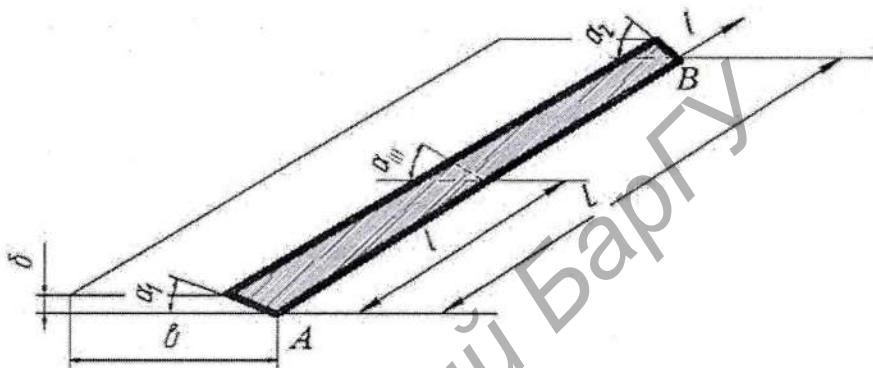


Рисунок 6.1 — Рубильный нож

Учитывая неравномерность угла заострения лезвия ножа вдоль его длины, процесс заточки такого ножа представляет немалые трудности. Обычно такие ножи затачиваются на плоскошлифовальном станке, на котором с помощью специальных подкладок ножу придают необходимую форму. При этом до 40% ножей ломаются в процессе заточки или в начале эксплуатации.

Авторами настоящей работы разрабатывается конструкция устройства, в котором шлифование режущей кромки ножа осуществляется с помощью специального вращающегося барабана (несущего цилиндра), при этом нож не испытывает крутящих моментов и в нем не возникает остаточных напряжений, приводящих к его поломкам. В данной работе предлагаются принципы настройки заточки геликоидального ножа по крайним и по средней точке режущего лезвия.

Цилиндр с заготовкой ножа в дальнейшем будем называть несущим. Шлифовальный круг располагается над несущим цилиндром. Его ось вращения перпендикулярна образующей цилиндра. В процессе заточки ножа шлифовальный круг совершает только вращательное движение вокруг своей оси, а цилиндр с находящейся на нем заготовкой ножа совершает относительно круга винтовое движение. На рисунке 6.2 показана схема переднего торца несущего цилиндра с заготовкой ножа.

Механизм снабжен ручным приводом. Вращением маховика приводится в движение винт, увлекательная гайку с пальцем, вставленным в отверстие в стенке цилиндра. Вместе с гайкой движется несущий цилиндр.

Заготовка закрепляется на цилиндре таким образом, чтобы ее часть, предназначенная для обработки шлифовальным кругом, выступала над поверхностью цилиндра. На рисунке 6.2 схематично показан фрагмент переднего торца несущего цилиндра 1 с заготовкой ножа 2.

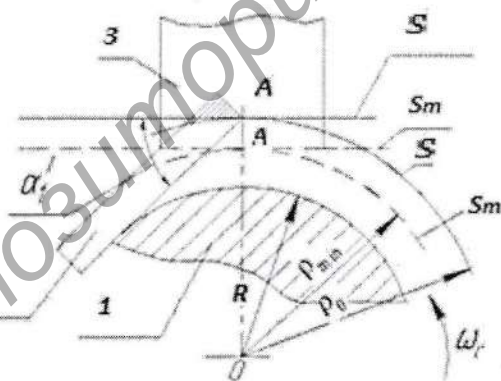


Рисунок 6.2 — Схема переднего торца несущего цилиндра с заготовкой:

1 — несущий цилиндр; 2 — заготовка ножа; 3 — шлифовальный круг

Буквой S обозначена виртуальная плоскость, параллельная оси цилиндра и касательная к нижней поверхности шлифовального круга 3. Эта плоскость вместе с нижней плоскостью заготовки ножа ограничивает заданный угол  $\alpha_1$

заточки лезвия ножа (на рисунке 6.2 видна проекция  $\alpha'_1$  этого угла на торцевое сечение цилиндра). Срезается (стачивается) та часть заготовки, которая находится выше плоскости  $S$  (на рисунке заштрихована). Поэтому ее можно назвать плоскостью среза. Буквой  $s$  на рисунке 6.2 обозначена относительная траектория точки  $A$  режущей кромки лезвия, касательная к плоскости  $S$ . Геометрическое место траектории  $s$  для всех точек кромки лезвия  $AB$  (рисунок 6.1) представляет поверхность, описываемую отрезком  $AB$  в относительном движении (рисунки 6.1 – 6.2). Форма этой поверхности накладывает ограничения на выбор угла деплонации и настройку механизма.

Деплонация скошенной поверхности лезвия в процессе заточки достигается благодаря строго определенному расположению заготовки на несущем цилиндре. Положение заготовки на цилиндре устанавливается расчетным путем и в основном определяется углом деплонации лезвия. Последний выбирается из условий оптимизации процессов резания в рубительных машинах.

Как видно из рисунка 6.2, в исходном для рабочего хода положении несущего цилиндра точка  $A$  лезвия  $AB$  располагается в апогее ее траектории  $s$  (точка  $A_1$  на рисунке 6.2), а точка  $B$  сдвинута от апогея траектории  $s$  в заднем торце цилиндра на длину дуги  $A_0B$  (рисунок 6.2), соответствующей центральному углу  $\alpha'_3$ . В процессе заточки в конце рабочего хода точка  $B$  переносится цилиндром в положение  $A_0$  в плоскость среза  $S$ .

Чтобы установить пределы применимости рассматриваемого способа настройки механизма, необходимо определить, насколько расстояния  $OM$  промежуточных точек  $M$  лезвия  $AB$  от оси вращения  $OO_0$  (рисунок 6.3) отличаются от расстояния  $\rho_0$  крайних точек  $A$  и  $B$ , т.е. найти разность радиусов  $\Delta\rho(l)$ . Для этого составим уравнение радиуса  $\rho(l)$  произвольной точки  $M$  отрезка  $AB$ , который находится ниже поверхности цилиндра, в виде функции координаты  $l$ . Начало координат совмещаем с точкой  $A$ . Ось  $Al$  направляем по отрезку  $AB$ . Радиус  $\rho(l)$  находим как отрезок перпендикуляра  $MO'$ ,

опущенного из точки  $M$  на ось  $OO_0$ . На рисунке 6.4 а, б, отдельно показаны геометрические фигуры в торцовом и произвольном сечениях гиперboloида. Буквами  $\alpha'_0$  и  $\alpha'_0(l)$  обозначены проекции углов деплонации на эти сечения;  $L=AB$  (рисунок 6.5).

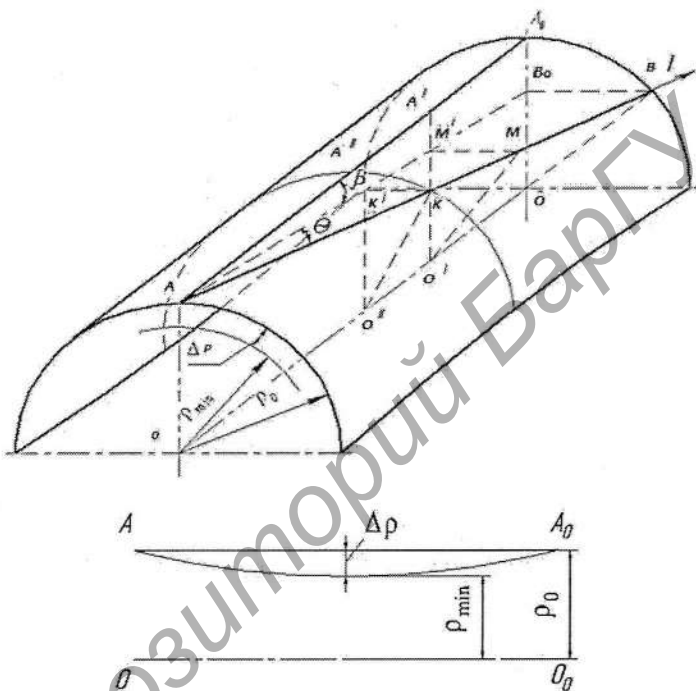


Рисунок 6.3 — Гиперboloид с сечениями и его фрагмент

Расстояние от оси цилиндра  $O$  до плоскости среза  $S$  выбирается из условий конструктивной и технологической целесообразности и равняется  $\rho_0$ . Причем  $\rho_0$  должно быть одинаково для крайних точек лезвия  $A$  и  $B$ . Такой вариант закрепления заготовки на несущем цилиндре будем называть *настройкой механизма заточки по крайним (концевым) точкам лезвия*. Эта настройка обеспечивает заточку только концов заготовки. Остальная часть лезвия, находящаяся между точками  $A$  и  $B$ , располагается не по образующей цилиндрической поверхности заточки, а под некоторым углом к ней, в

результате чего при относительном повороте несущего цилиндра лезвие перемещается ниже плоскости среза. На рисунке 6.4 заготовка покаана в исходном положении, вид сверху, и угол  $\theta$  смещения лезвия от осевой плоскости, проведенной через образующую  $AA_0$ .

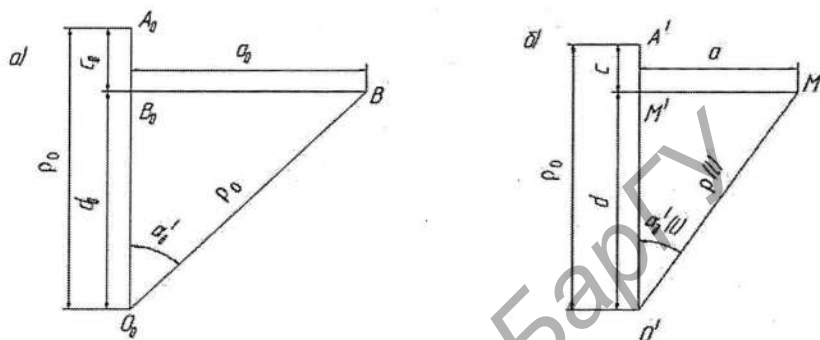


Рисунок 6.4 — Геометрические фигуры в сечениях гиперболоида:  
а — в торцовом, б — в произвольном сечении

Поверхность, описываемая отрезком АВ в относительном перемещении, в математике называется однополостным гиперболоидом вращения. При настройке механизма заточки по крайним точкам лезвия фрагмент гиперболоида располагается внутри поверхности заточки, имея одинаковые с ним основания (радиуса  $\rho_0$ ).

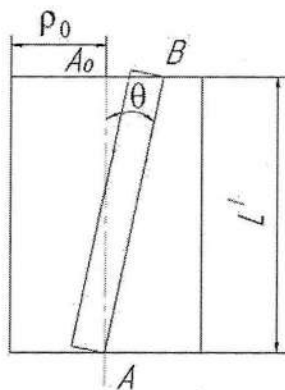


Рисунок 6.5 — Заготовка в исходном положении (вид сверху)

Из рисунка 6.4, *a*, *б*, находим:  $a_0 = \rho_0 \cdot \sin \alpha'_0, d_0 = \rho_0 \cdot \cos \alpha'_0, \frac{a}{a_0} = \frac{l}{L}, \frac{c}{c_0} = \frac{l}{L};$

отсюда  $a = ml, c = nl$ , где  $m = \frac{a_0}{L}, n = \frac{c_0}{L}$ . Далее определяем:

$$d_0 = \rho_0 - c = \rho_0 n l u \rho(l) = \sqrt{a^2 + d^2} = \sqrt{(ml)^2 + (\rho_0 - nl)^2} = \sqrt{(ml)^2 + \rho_0^2 - 2\rho_0 n l} \quad (1)$$

Здесь

$$\begin{aligned} m^2 + n^2 &= \frac{a_0^2 + c_0^2}{L^2} = \frac{a_0^2 + (\rho_0 - d_0)^2}{L^2} = \frac{(\rho_0 \cdot \sin \alpha'_0)^2 + (\rho_0 - \rho_0 \cdot \cos \alpha'_0)^2}{L^2} = \\ &= \frac{(\rho_0^2 \cdot \sin^2 \alpha'_0 + \rho_0^2 - 2\rho_0^2 \cdot \cos \alpha'_0 + \rho_0^2 \cdot \cos^2 \alpha'_0)}{L^2} = \frac{(\sin^2 \alpha'_0 + 1 - 2 \cdot \cos \alpha'_0 + \cos^2 \alpha'_0) \cdot \rho_0^2}{L^2} = \\ &= \frac{2 \cdot (1 - \cos \alpha'_0) \cdot \rho_0^2}{L^2}. \end{aligned}$$

Подставляем  $(m^2 + n^2)$  и *n* в формулу (1):

$$\begin{aligned} \rho(l) &= \sqrt{\frac{2(1 - \cos \alpha'_0) \cdot \rho_0^2}{L^2} \cdot l^2 + \rho_0^2 - \frac{2\rho_0 \cdot (\rho_0 - \rho_0 \cdot \cos \alpha'_0) \cdot l}{L}} = \\ &= \sqrt{\frac{2(1 - \cos \alpha'_0) \cdot \rho_0^2}{L^2} \cdot l^2 + \rho_0^2 - \frac{2\rho_0^2 \cdot (1 - \cos \alpha'_0) \cdot l}{L}} = \rho_0 \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - \cos \alpha'_0) \cdot \left(\frac{l}{L}\right)^2 - \frac{l}{L}} \end{aligned}$$

Введем относительную координату  $u = \frac{l}{L}$ . Получим:

$$\rho(l) = \rho_0 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - \cos \alpha'_0) \cdot (u-1) \cdot u} \quad (2)$$

Минимальное значение радиус  $\rho(l)$  принимает в среднем сечении

гиперболоида, т.е. при  $l = \frac{L}{2}, u=0,5$ :

$$\rho_{\min} = \rho_0 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - \cos \alpha'_0) \cdot (0,5 - 1) \cdot 0,5}, \text{ или } \rho_{\min} = \rho_0 \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha'_0}{2}} \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что расстояние  $KO'' = \rho_{\min}$  средней точки *K* ребра *AB* от оси вращения несущего цилиндра пропорционально радиусу  $\rho_0$  траектории точки *A* (или *B*) и не зависит от длины *L* ребра *AB*.

Чтобы установить, на каком расстоянии от плоскости среза  $S$  перемещается средняя точка  $K$  ребра  $AB$  при относительном повороте цилиндра с заготовкой, найдем разность радиусов  $\Delta\rho$  как функцию угла  $\alpha'_\delta$ :

$$\Delta\rho = \rho_0 - \rho_{\min} = \rho_0 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha'_\delta}{2}}\right).$$

На рисунке 6.3 кривая  $AA_0$  представляет осевое сечение гиперболоида вращения.

Чтобы получить более конкретное представление о порядке величины  $\Delta\rho$  в абсолютных единицах, вычислим его значение при  $\rho_0 = 75$  мм,  $\alpha'_\delta = 5^\circ$ .

$$\text{При } \alpha'_\delta = 5^\circ, \frac{\Delta\rho}{\rho_0} = 0,000952,$$

$$\text{откуда } \Delta\rho = 0,000952 \cdot \rho_0 = 0,000952 \cdot 75 = 0,0714 \approx 0,07 \text{ мм,}$$

где  $\rho_0 = 75$  мм — радиус реального несущего цилиндра устройства.

Из полученных значений  $\Delta\rho$  видно, что даже при  $\alpha'_\delta = 5^\circ$  режущая кромка лезвия ножа будет иметь отклонение от прямолинейности. На рисунке 6.6 схематично показан вид сверху рубильного ножа, заостренного при настройке механизма по конечным точкам  $A, B$ .

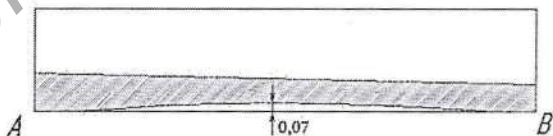


Рисунок 6.6 — Схема рубильного ножа, заостренного при настройке механизма по конечным точкам  $A, B$ .

Незатемненная часть лезвия у кромки  $AB$  не заточена (на рисунке ее площадь значительно увеличена). Если заготовка представляет полуфабрикат

— пластину со скошенным под углом  $\alpha_2$  краем, — то незатемненная на рисунке нижняя ее часть остается заостренной под этим углом.

## 6.2 Настройка механизма для заточки рубильных ножей по средней точке режущей кромки лезвия.

Настройка описанного выше механизма для заточки рубильных ножей по крайним точкам кромки  $AB$  накладывает жесткие ограничения на выбор угла деплонации.

Для расширения этих пределов с сохранением качества заточки механизм для заточки рубильных ножей можно настраивать иначе — по средней точке  $K$  (рисунок 6.3) ребра  $AB$  заготовки. Такая настройка достигается смещением оси шлифовального круга  $3$  на расстояние  $\Delta\rho$  в сторону оси несущего цилиндра  $1$  (рисунок 6.2). На рисунке 6.2 новая плоскость среза  $S_m$  показана пунктирной линией. Радиальное расстояние, на которое выдвигается заготовка  $2$  (рисунок 6.2) над поверхностью несущего цилиндра при новой настройке сохраняется неизменным, т.е. величина  $\rho_0$  при разных настройках одинакова. Отметим, что режущая кромка заточенного при альтернативной настройке ножа изменяется — она не строго прямолинейна. Однако при  $\alpha'_0 \leq 20^\circ$  это изменение формы не существенно и на режущие свойства ножа не влияет.

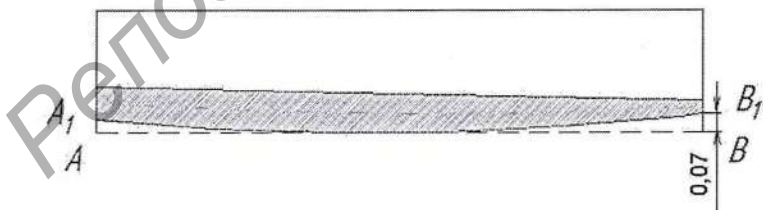


Рисунок 6.7 — Схема рубильного ножа, заостренного при настройке механизма по средней точке режущей кромки лезвия.

На рисунке 6.7 искривление режущей кромки значительно увеличено. Истинную кривую  $A_1B_1$  при необходимости можно найти, воспользовавшись

формулой (2). Отклонение от прямолинейности в данном случае составляет около 0,05 мм.

Согласно ГОСТ 17432-87 «Технические требования к рубильным ножам» отклонение от прямолинейности не должно превышать 0,2 мм на всей длине ножа (в нашем случае  $l = 300$  мм). Рубильные ножи выбранного типа и размеров имеют углы заострения  $\alpha_1 = 29^\circ 42'$ ,  $\alpha_2 = 34^\circ 42'$ , т.е. разность углов равна  $5^\circ$ , а отклонение  $\Delta\rho$  составляет от 0,05 до 0,07 мм на длине 300 мм, что значительно меньше регламентированной погрешности 0,2 мм.

Следовательно, рассмотренный механизм заточки по крайним и средней точкам режущей кромки лезвия удовлетворяет требованиям ГОСТ и может быть использован в производстве в процессах шлифования режущей кромки геликоидальных ножей.

## **7 Разработка математической модели устройства и способа для заточки режущей кромки геликоидальных рубильных ножей**

### **7.1 Зависимость между углами заточки ножа и их проекциями на торцевые сечения несущего цилиндра**

Проекции углов  $\alpha'_1, \alpha'_2$  на торцевые сечения несущего цилиндра нужны для расчета геометрических параметров исходного положения заготовки на несущем цилиндре. Представим вначале заготовку в горизонтальном положении, когда ее ребро  $AB$  находится в плоскости среза (рисунок 7.1). В таком положении можно выполнить ее заточку с постоянным углом  $\alpha_1$  без поворота несущего цилиндра. Для получения переменного угла  $\alpha$  необходимо, как отмечалось ранее, закрепить заготовку в точно определенном повернутом положении. Выполним нужное ее перемещение из описанного выше положения путем двух последовательных поворотов вокруг осей  $A_1, A_2$  соответственно на углы  $\beta, \theta$  (рисунок 7.1).

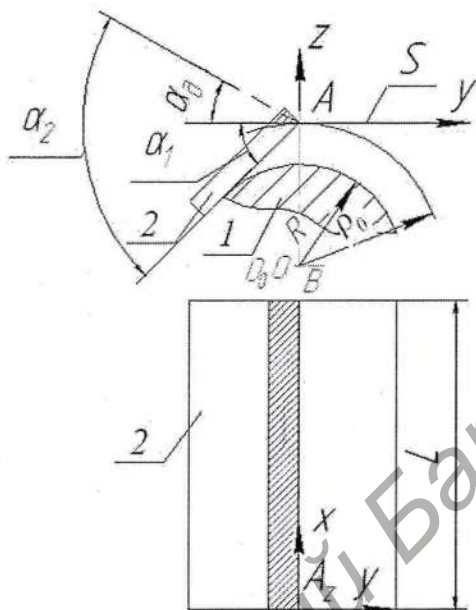


Рисунок 7.1 — 1 – несущий цилиндр; 2 – заготовка ножа

Эти углы в дальнейшем подлежат определению. Осуществить поворот заготовки как твердого объекта можно путем поворота одного ее сечения или его части. Повернем на угол  $\beta$  фрагмент острия, с углом  $\alpha_1$ , который находится в переднем торце заготовки. На рисунке 7.2 фрагмент острия увеличен. Направление поворота на угол  $\beta$  указано вектором  $\vec{\beta}$  (с конца вектора поворот виден против движения часовой стрелки). Угол  $\alpha_\beta$  представляет собой проекцию на торцевую плоскость цилиндра повернутого угла  $\alpha_1$ . Если теперь в повернутом положении закрепить заготовку и заточить ее по описанной технологии, то только ее торец будет заточен под углом  $\alpha_1$ , остальная часть окажется не заточенной, т.к. нарушается основное условие заточки – заготовка не попадает в плоскость среза. Выразим угол  $\alpha_\beta$  через углы  $\beta$  и  $\alpha_1$ . Как видно из рисунка 7.2:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h}{b'}, \operatorname{tg} \alpha_\beta = \frac{h'}{b'}, h' = h \cdot \cos \beta.$$

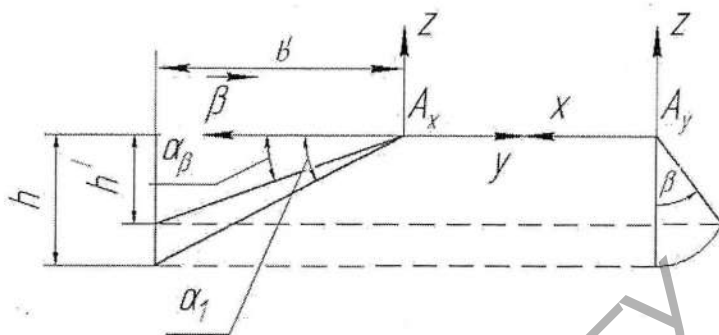


Рисунок 7.2

Отсюда находим:

$$\frac{h}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{h'}{\operatorname{tg} \alpha_\beta}, \quad \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\cos \beta}{\operatorname{tg} \alpha_\beta}, \quad \operatorname{tg} \alpha_\beta = \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \cos \beta. \quad (7.1)$$

Снова повернем фрагмент острия вместе со всей заготовкой вокруг оси  $A_z$  на угол  $\theta$  (рисунок 7.3) до того положения, пока конец  $B$  кромки  $AB$  не достигнет воображаемой цилиндрической поверхности  $S$  (радиуса  $\rho_0$ ).

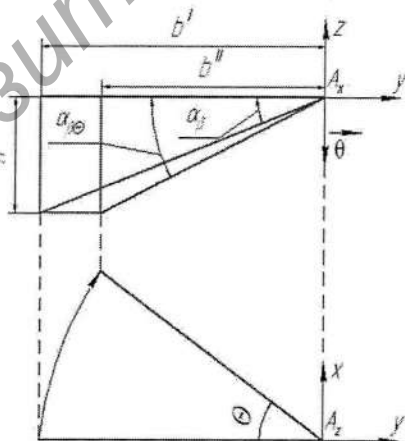


Рисунок 7.3

При этом повороте кромка  $AB$  описывает коническую поверхность с вершиной в точке  $A$  и углом при ней  $90^\circ - \beta$ . Проекцию угла  $\alpha_\beta$  после его поворота на угол  $\theta$  на торцевую плоскость цилиндра обозначим через  $\alpha_{\beta\theta} = \alpha'_1$ .

Из рисунка 7.1 находим:

$$\frac{h'}{b'} = \operatorname{tg} \alpha_\beta, \quad \frac{h'}{b''} = \operatorname{tg} \alpha_{\beta\theta}, \quad b'' = b' \cdot \cos \theta.$$

Отсюда:

$$\operatorname{tg} \alpha'_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_\beta}{\cos \theta}. \quad (7.2)$$

Из формул (7.1) и (7.2) получаем зависимость между углом заточки ножи  $\alpha_1$  на переднем торце и его проекцией  $\alpha'_1$  на плоскость переднего торца цилиндра  $C$ :

$$\operatorname{tg} \alpha'_1 = \frac{\cos \beta}{\cos \theta} \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (7.3)$$

Установление зависимости между углами  $\alpha_s$  и  $\alpha'_s$  аналогично выводу формулы (7.3). Будем считать, что угол  $\alpha_s$  находится в заднем торцевом сечении ножа. Если угол  $\alpha_1$  перемещается в исходное положение для заточки заготовки только путем поворотов, то перемещение угла  $\alpha_s$  сопровождается поступательными перемещениями вниз и вправо. Последними игнорируем. Предполагаем, что вершина угла  $\alpha_s$  находится в точке  $B$ . Помещаем в ней начало координат. Последовательные повороты плоскости угла  $\alpha_s$  показаны на рисунках 7.4, 7.5. На рисунке 7.4 торцевое сечение повернуть на угол  $\beta$ . Из него получаем соотношения:

$$\frac{h}{b} = \operatorname{tg} \alpha_s, \quad \frac{h'}{b'} = \operatorname{tg} \alpha_{s\beta}, \quad h' = p \cdot \cos \beta. \quad (7.4)$$

Отсюда:

$$\frac{h}{\operatorname{tg} \alpha_o} = \frac{h'}{\operatorname{tg} \alpha_{o\beta}}, \quad \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_o} = \frac{\cos \beta}{\operatorname{tg} \alpha_{o\beta}}, \quad \operatorname{tg} \alpha_{o\beta} = \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha_o \quad (7.5)$$

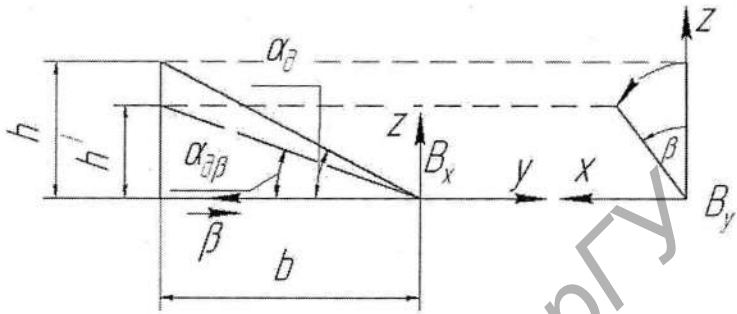


Рисунок 7.4

Из рисунка 7.5, где показан поворот проекции  $\alpha_{o\beta}$  на угол  $\theta$ , устанавливаем:

$$\frac{h'}{b} = \operatorname{tg} \alpha_{o\beta}, \quad \frac{h'}{b'} = \operatorname{tg} \alpha'_o, \quad b \cdot \cos \theta = b'$$

Отсюда находим:

$$b \cdot \operatorname{tg} \alpha_{o\beta} = b' \cdot \operatorname{tg} \alpha'_o,$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_o = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{o\beta}}{\cos \theta} \quad (7.6)$$

Подставляя выражение (7.5) в (7.6) получим:

$$\operatorname{tg} \alpha'_o = \frac{\cos \beta}{\cos \theta} \cdot \operatorname{tg} \alpha_o \quad (7.7)$$

Несущий цилиндр 1 с заготовкой 2 (рисунок 7.1) необходимо повернуть на угол  $\alpha'_o$ , чтобы ее задний торец заострить на угол  $\alpha_2$ .

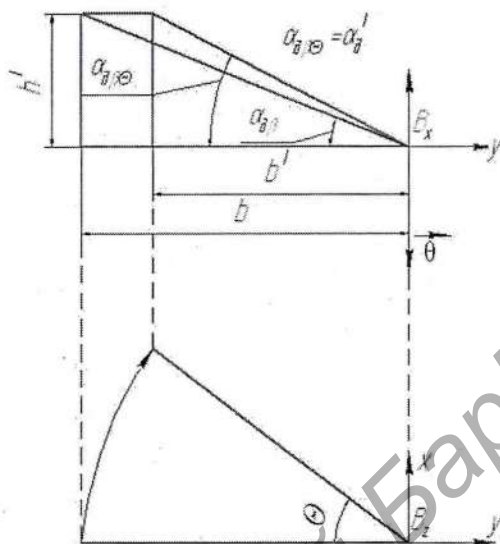


Рисунок 7.5

## 7.2 Разрешающее уравнение в тригонометрических функциях. Метод последовательных приближений

Напомним, что в рассматриваемой задаче известными параметрами механической системы принимаются  $\alpha_1, \alpha_0, L, \rho_0$ . Необходимо найти  $\alpha_1', \alpha_0', L', \beta, \theta$ . Для перехода от заданных величин к искомым установим математические зависимости между ними. Это можно сделать, составив и решив основное (разрешающее) уравнение задачи. В качестве неизвестной разрешающей функции примем  $\cos \beta$ . Для вывода основного уравнения воспользуемся формулой (7.7) и геометрическими соотношениями, имеющими место в торце цилиндрической поверхности среза (рисунки 7.4, 7.5):

$$\frac{a_0}{d_0} = \operatorname{tg} \alpha_0' \quad (7.8 \text{ а})$$

$$a_0^2 + d_0^2 = \rho_0^2 \quad (7.8 \text{ б})$$

Будем также учитывать, что в формулах (7.8 а, б):

$$a_0 = L \cdot \sin \theta, \quad (7.9 \text{ а})$$

$$d_0 = \rho_0 - c_0 = \rho_0 - L \cdot \sin \beta \cdot \cos \theta. \quad (7.9 \text{ б})$$

Совместное громоздкое преобразование уравнений (7.7), (7.8 а, б), (7.9 а, б) приводит к разрешающему уравнению вида:

$$\cos^{12} \beta + a_1 \cdot \cos^{10} \beta + a_2 \cdot \cos^8 \beta + a_3 \cdot \cos^6 \beta + a_4 \cdot \cos^4 \beta + a_5 \cdot \cos^2 \beta + a_6 = 0.$$

Приняв  $\cos^2 \beta = x$ , получим:

$$x^6 + a_1 \cdot x^5 + a_2 \cdot x^4 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^2 + a_5 \cdot x + a_6 = 0. \quad (7.10)$$

Здесь коэффициенты  $a_1, a_2, \dots, a_6$  являются известными функциями заданных параметров  $\alpha_0, L, \rho_0$ . Решение уравнения (7.10) в общем виде не представляется возможным. Задачу можно решить с помощью компьютера, задавшись числовыми значениями параметров.

Для упрощения решения построим алгоритм метода последовательных приближений. Будем использовать формулы (7.7), (7.8 а, б), (7.9 а, б). В качестве известных примем функции  $\cos \beta, \cos \theta$ . Алгоритм для их определения в первом приближении включает следующие действия:

1. Обозначим соотношение  $\frac{\cos \beta}{\cos \theta}$  в формуле (7.7) буквой  $\mu$  и в первом приближении примем:

$$\mu_1 = \frac{\cos \beta_1}{\cos \theta_1} = 1,$$

т.е. будем считать, что  $\alpha_0 = \alpha'_0$  и найдем  $\operatorname{tg} \alpha'_0$ .

2. Зная значения  $\operatorname{tg} \alpha'_0$  и  $\rho_0$ , по формулам (7.8 а, б) вычисляем  $a_{01}, d_{01}$ .

3. Из формул (7.9 а, б) определяем  $\cos \beta_1, \cos \theta_1$  (по значениям  $a_{01}, d_{01}$ ).

Второе приближение функций  $\cos \beta_2, \cos \theta_2$  находим в такой же последовательности. Начинаем с вычисления:

$$\mu_2 = \frac{\cos \beta_2}{\cos \theta_2}.$$

Для выполнения пунктов 7.3 метода последовательных приближений разрешим системы (7.8 а, б), (7.9 а, б) относительно  $a_0, d_0$  и  $\cos \beta, \cos \theta$ . Из уравнений (7.8 а, б) находим:

$$a_{0i}^2 = d_{0i}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha'_{0i},$$

$$d_{oi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha'_{oi} + d_{oi}^2 = \rho_0^2,$$

$$(\operatorname{tg}^2 \alpha'_{oi} + 1) \cdot d_{oi}^2 = \rho_0^2.$$

Окончательно получаем:

$$d_{oi} = \rho_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha'_{oi}}}, \quad (7.11 \text{ а})$$

$$a_{oi} = d_{oi} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha'_{oi}. \quad (7.11 \text{ б})$$

Здесь и далее индексом  $i$  обозначен номер приближенного значения искомых параметров.

Переходим к формулам (7.9 а, б). Учитывая, что

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta},$$

записываем формулу (7.12 а) в виде:

$$a_{oi} = L \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \theta_i}.$$

Отсюда

$$1 - \cos^2 \theta_i = \frac{a_{oi}^2}{L^2},$$

$$1 - \left(\frac{a_{oi}}{L}\right)^2 = \cos^2 \theta_i.$$

Из формулы (7.9 б) получаем:

$$L \cdot \sin \beta_i \cdot \cos \theta_i = \rho_0 - d_{oi},$$

$$\sin \beta_i = \frac{\rho_0 - d_{oi}}{L \cdot \cos \theta_i},$$

$$\cos \beta_i = \sqrt{1 - \sin^2 \beta_i}.$$

Тогда

$$\cos \theta_i = \sqrt{1 - \left(\frac{a_{oi}}{L}\right)^2}, \quad (7.12 \text{ а})$$

$$\cos \beta_i = \sqrt{1 - \left(\frac{\rho_0 - d_{oi}}{L \cdot \cos \theta_i}\right)^2}. \quad (7.12 \text{ б})$$

Теперь уточним алгоритм метода последовательных приближений. Для получения первого приближения функций  $\cos \beta_i$ ,  $\cos \theta_i$  необходимо:

1. В формуле (7.7) принять, что

$$\frac{\cos \beta_1}{\cos \theta_1} = \mu_1 = 1$$

и найти

$$\operatorname{tg} \alpha'_{01} = 1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{01} \text{ (значение угла } \alpha_0 \text{ задается).}$$

2. По формулам (7.11 а, б) вычислить параметры  $\alpha_{01}, d_{01}$ .

3. По формулам (7.12 а, б) вычислить  $\cos \beta_1, \cos \theta_1$ .

Переходя к вычислению второго приближения функций  $\cos \beta, \cos \theta$ , необходимо найти коэффициент

$$\mu_2 = \frac{\cos \beta_2}{\cos \theta_2}$$

и вычислить

$$\operatorname{tg} \alpha'_{02} = \mu_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0.$$

Сходимость процесса приближений лучше при малых углах  $\alpha_0$ . При очень малых значениях  $\alpha_0$  (предположительно  $0 \leq \alpha_0 \leq 8^\circ$ ) можно ограничиться первым приближением параметров.

В данной работе предложен возможный вариант математической модели, для определения параметров механической системы устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей в общем виде. Приведенный алгоритм можно применять на все подобные механизмы. Задавшись конкретными числовыми значениями с помощью компьютера можно рассчитать параметры, необходимые для конструкторских решений при проектировании реального механизма.

## **8 Разработка устройства для установки и углового перемещения геликоидального ножа в процессе заточки**

Принципиальная схема разрабатываемого устройства представлена в разделе 5 и на рисунках 5.2 и 5.3

### 8.1 Разработка барабана для установки и углового перемещения геликоидального ножа

Наиболее сложной деталью устройства является барабан, в котором необходимо, в частности, изготовить канавку с заданной траекторией (рисунок 8.1, а), благодаря которой осуществляется вращение барабана вокруг своей оси. На рисунке 8.1, б боковое изображение барабана с канавкой повернуто на  $90^\circ$ .

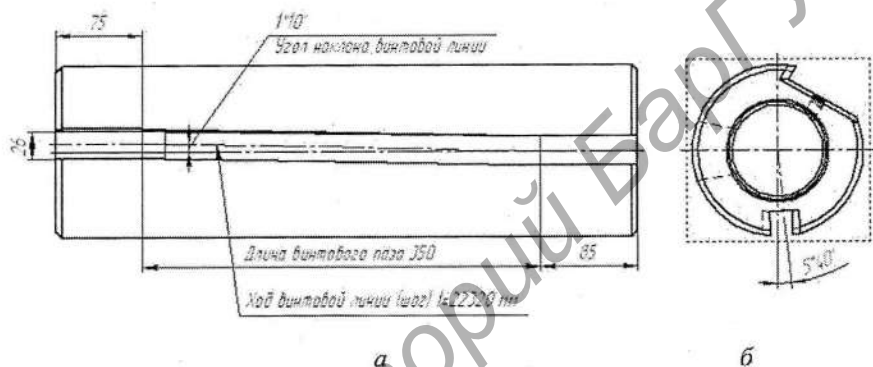


Рисунок 8.1 — Барабан с винтовой канавкой: а — продольное изображение барабана с канавкой; б — поперечное изображение барабана

После анализа возможных способов получения канавки, пришли к выводу, что наиболее целесообразно фрезеровать прямоугольную канавку на вертикальном фрезерном станке, используя торцевые фрезы.

Кроме канавки по всей длине барабана фрезеруется площадка (рисунок 8.1, б) для установки ножа и прижимных планок.

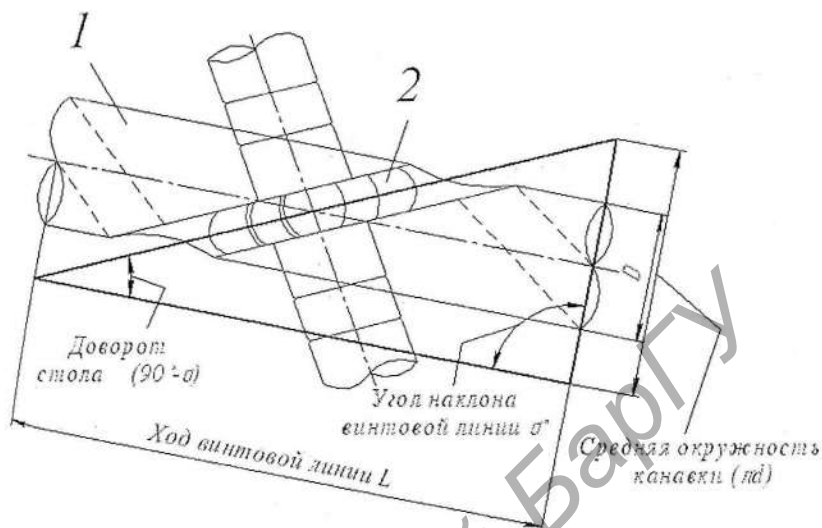


Рисунок 8.2 — Доворот (смещение) стола фрезерного станка:

1 — деталь, 2 — фреза

На рисунке 8.2 схематически показан процесс нарезания винтовой канавки на детали барабан.

Выполняемую канавку можно рассматривать как винтовую с очень малым углом наклона винтовой линии  $\theta$  [11].

Винтовая спираль может быть выполнена в виде траектории движения точки вокруг воображаемого цилиндра таким образом, чтобы осевая и круговая скорости ее движения сохраняли постоянное соотношение:

$$\operatorname{tg}\theta = \pi D/L, \quad (8.1)$$

где  $D$  — диаметр барабана,

$\pi D$  — средняя окружность канавки,  $L$  — длина винтовой линии. Исходя из разработанной конструкции —  $L=22320$  мм,  $D=128$  мм,

вычисляем значение  $\operatorname{tg}\theta$ :

$$\operatorname{tg}\theta = 3,14 \cdot 128 / 22320 = 0,018016,$$

откуда

$$\theta = 1,0321^{\circ} = 1^{\circ}10'.$$

Таким образом, канавку необходимо фрезеровать под углом  $1^{\circ}10'$  к оси барабана на вертикально-фрезерном станке.

## 8.2 Разработка компоновки устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей

Разработанное устройство можно использовать для геликоидального шлифования режущего лезвия рубильных ножей, в котором шлифование производится путем продольного перемещения относительно шлифовального круга специального барабана с закрепленной в нем заготовкой ножа, при этом барабан одновременно осуществляет вращательное движение вокруг своей оси. Такой метод шлифования геликоидальной режущей кромки исключает возникновение каких-либо внутренних дефектов или поломок заготовок ножей, что, учитывая большое количество изготавливаемых геликоидальных рубильных ножей на соответствующих предприятиях республики, а также необходимость периодической перезаточки ножей, позволит получить значительный экономический эффект за счет устранения поломок ножей в процессе их шлифования.

На рисунке 8.3 представлена принципиальная схема компоновки устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей, предназначенного для установки и использования на плоскошлифовальных ножеточильных станках типов ТчН-3, ТчН6-3, ТчН13-4, ТчН6-4, ТчНТ6 и др.

В состав устройства, показанного на рисунке 8.1, входят следующие основные узлы и детали: 1 — гайка в сборе, 2 — маховичок, 5 — барабан, 6 — плита, 7 — прихват, 8 — втулка, 9 — пружина сжатия, 10 — направляющая, 11 — корпус, 12 — корпус, 13 — основание, 14 — ось, 15 — втулка промежуточная, 16 — ролик, 17 — втулка, 18 — кольцо, 19 — винт, 20 — шайба концевая.



## 9 Изготовление и проведение испытаний устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей

На рисунке 9.1 представлена фотография разработанного и изготовленного опытного устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей.

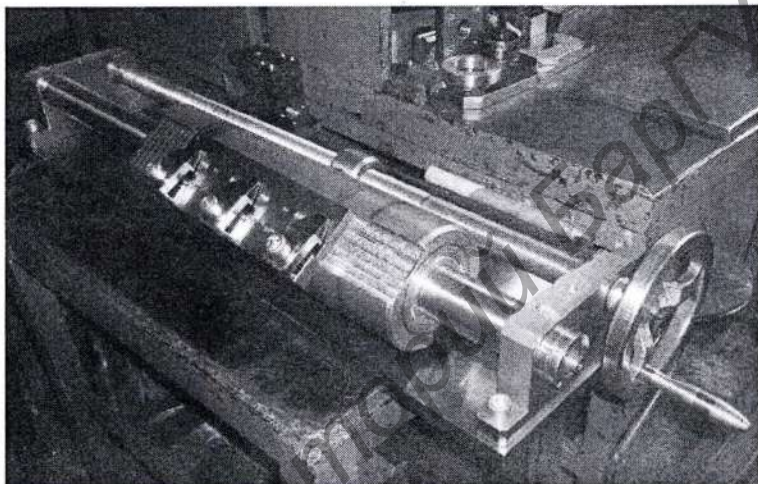


Рисунок 2 — Устройство для заточки геликоидальных рубильных ножей

Испытания изготовленного устройства проводились на ОАО «Барановичский автоагрегатный завод». Для этого использовался плоскошлифовальный станок модели ОРША-60120.23 (рисунок 9.2).

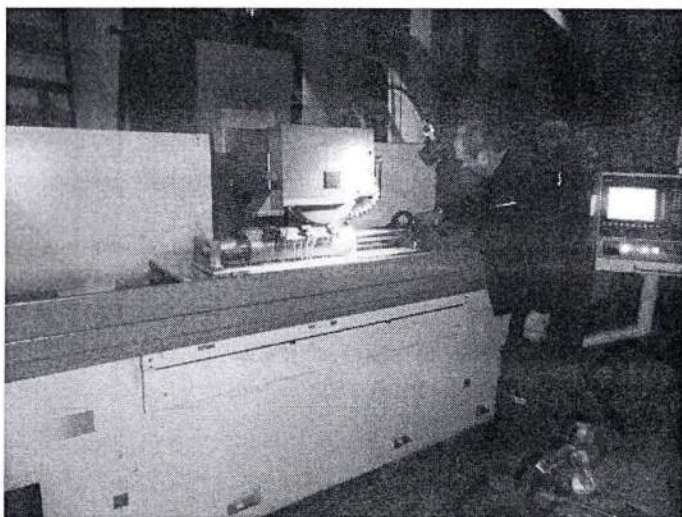


Рисунок 9.2 — Производственные испытания устройства

В ходе проведения производственных испытаний устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей был получен геликоидальный профиль лезвия ножа 13-3116-4002 (тип 1) по ОСТ13-32—7 с переменным углом заточки

$29^{\circ}42'$  до  $34^{\circ}42'$ . Ножи этого типа используются в рубильной машине МРПП-10 и др.

Рубильный нож, установленный на предложенном приспособлении, не подвергается винтообразному изгибу, вследствие чего в его объеме отсутствуют знакопеременные напряжения, приводящие к поломкам. По видимому, вследствие этого наблюдается отсутствие «огранки» на лезвии ножа, которое наблюдалось при ранее используемом методе заточки. Геликоидальный профиль лезвия имеет плавный переход угла  $29^{\circ}42'$  до  $34^{\circ}42'$ .

На рисунке 9.3 показаны геликоидальные рубильные ножи, подвергнутые заточке по известному способу (с изгибом тела ножа) на плоскошлифовальном станке модели ОРША-60120.23 (рисунок 9.3, *а*) и с использованием разработанного опытного устройства (рисунок 9.3, *б*).

На рисунке 9.3, *а* на режущем лезвии ножа виден дефект в виде «огранки», на лезвии ножа, заточенном на разработанном устройстве (рисунок 9.3, *б*), подобных дефектов не обнаружено.

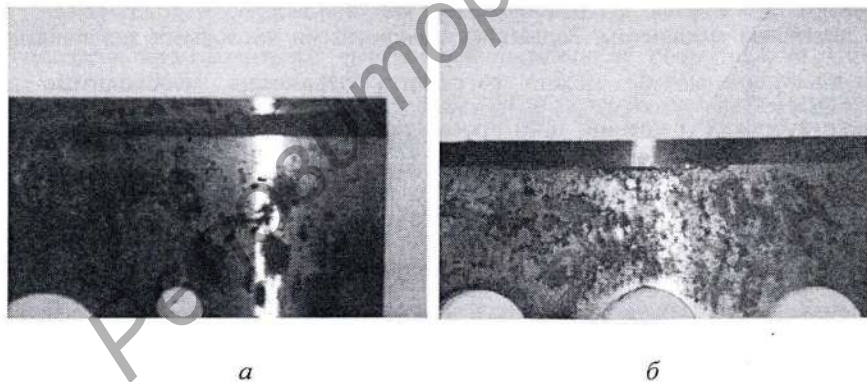


Рисунок 9.3 — Режущая кромка рубильного ножа: *а* — с использованием известного способа с изгибом тела ножа; *б* — с использованием разработанного устройства

В ходе проведения производственных испытаний устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей были определены наиболее приемлемые режимы обработки лезвия ножей с помощью разработанного устройства.

## Заключение

В результате выполнения выше представленных работ разработано устройство для установки и углового перемещения геликоидального ножа в процессе заточки, представляющее собой цилиндрический барабан, вдоль всей поверхности которого профрезерована площадка для установки и закрепления ножа, а также канавка, благодаря которой с помощью ролика осуществляется вращательное движение барабана. Рассчитана и построена математическим путем траектория канавки на поверхности барабана, с помощью которой осуществляется его вращение вокруг своей оси. Барабан также имеет возможность производить взаимно связанные продольное и вращательное движение в процессе заточки, что позволяет получать заданный переменный угол заточки режущего лезвия ножа.

Предложен возможный вариант математической модели для определения параметров механической системы устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей в общем виде. Приведенный алгоритм можно применять на все подобные механизмы. Задавшись конкретными числовыми значениями с помощью компьютера можно рассчитать параметры, необходимые для конструкторских решений при проектировании реального механизма для осуществления заточки режущих лезвий геликоидальных рубильных ножей.

Разработан метод настройки механизма шлифования геликоидальных рубильных ножей по средней точке режущего лезвия. Теоретический анализ вышеуказанного механизма показал, что отклонение от траектории режущей кромки составляет 0,05 мм на длине 300 мм соответствующего рубильного ножа, что значительно меньше регламентированной ГОСТ 17432-87 погрешности, составляющей 0,2 мм.

Разработана принципиальная схема компоновки устройства для заточки геликоидальных рубильных ножей, предназначенного для установки и использования на плоскошлифовальных ножеочильных станках типов ТчН-3, ТчН6-3, ТчН12-3, ТчН13-4, ТчН6-4, ТчНТ6 и др.

Изготовлено опытное устройство для заточки режущих лезвий геликоидальных рубильных ножей для производства технологической древесной щепы. Устройство прошло производственные испытания по заточке опытной партии геликоидальных рубильных ножей длиной 300 мм, которые показали высокое качество заточенной поверхности и полное отсутствие дефектов в виде трещин и микротрещин, огранки, а также внутренних остаточных напряжений в теле ножа.

Следовательно, разработанное опытное устройство целесообразно применять на предприятиях, изготавливающих геликоидальные рубильные ножи, а также на деревообрабатывающих предприятиях, специализирующихся на производстве технологической древесной щепы.

### **Список использованных источников**

1 Гомонай, М. В. Многолезвцовые рубильные машины. /М. В. Гомонай. — М.: Лесн. Пром-сть, 1990. — 144 с.

2 Немецкое оборудование для деревообработки: каталог-справочник / Ассоциация производителей деревообрабатывающего оборудования Союза немецких машиностроителей. — 4-е изд., доп. и перераб. — Санкт-Петербург: [Б.и.], 2000. — 202 с.: ил. — 250-00.

3 Волынский, В. Н. Каталог деревообрабатывающего оборудования отечественного производства / В. Н. Волынский. — [2-е изд.]. — Москва: АСУ-Импульс, 2001. — 344 с.: ил. — ISBN 5-85879-101-8 : 5000-00.

4 Коротков, В. И. Деревообрабатывающие станки: учебник для учреждений начального профессионального образования / В. И. Коротков. — Москва: Академия, 2003. — 300 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 5-7695-1073-0 : 14248-00.

5 Волынский, В. Н. Каталог деревообрабатывающего оборудования, выпускаемого в странах СНГ и Балтии: учебное пособие для студ. вузов лесотехнического профиля / В. Н. Волынский; Архангельский государственный

технический университет. — 3-е изд., испр. и доп.]. — Москва: АСУ-Импульс, 2003. — 380 с.: ил. — ISBN 5-88933-053-5 : 60931-00.

6 Амалицкий, В. В. Оборудование отрасли : учебник для студентов вузов по специальности 260200 (250403) «Технология деревообработки» / В. В. Амалицкий. — Москва : МГУЛ, 2006. — 583 с. : ил. — ISBN 5-8135-0277-9 : 51920-00.

7 Дереворежущий инструмент отечественного и импортного производства : торговый каталог «Ками-Станкоагрегат» / ООО «Ками-Станкоагрегат». — Минск : ИнтерКрим-пресс, 2006.

8 Зотов, Г. А. Дереворежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация : учебное пособие / Г. А. Зотов. — Санкт-Петербург, Москва, Краснодар : Лань, 2010. — 378, [6] с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — ISBN 978-5-8114-1046-0 : 96430-00.

9 Оборудование и технология заточки ножей с прямолинейной и геликоидальной режущей кромкой [Электронный ресурс]. —Stroitelstvo-New.ru 2006-2013. — Режим доступа: [http:// http://www.stroitelstvo-new.ru/drevesina/zatochka/nozhej-pryam.shtml](http://http://www.stroitelstvo-new.ru/drevesina/zatochka/nozhej-pryam.shtml). — Дата доступа: 05.03.2013г.

10 Патент Российской Федерации №1356361, заявка №4043219/08 от 28.03.1986 г., опубликовано 10,05,1996 г., МПК В24И19/14.

11 Гусев, О. Н. Корректировка углов заточки режущих ножей дисковых рубильных машин (Деревообрабатывающая промышленность) / О. Н. Гусев, Н. П. Рушнов. — 1971. — №7. — с. 13, 14.

12 ОСТ 13-32-74 Конструкция, характеристика, размеры рубильных ножей.