

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

На правах рукописи

КОВАЛЕНКО Олег Леонидович

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ
ДЛЯ РАСПИЛОВКИ ДРЕВЕСИНЫ

Специальность 05.21.05 – Дровесиноведение, технология и
оборудование деревопереработки

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель – доктор технических
наук, профессор,
заслуженный изобретатель РФ
Прокофьев Г. Ф.

Архангельск 2021

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Состояние вопроса.....	7
1.1. Особенности пиления древесины ленточными пилами.....	8
1.2. Конструкции ленточных пил.....	15
1.3. Применение ленточнопильных станков при создании гибких автоматизированных линий в лесопилении.....	18
1.4. Долговечность ленточных пил.....	22
1.5. Работы, направленные на повышение долговечности ленточных пил.....	28
1.6. Выводы, цель и задачи исследований.....	33
2. Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе.....	36
2.1. Вступительные замечания.....	36
2.2. Экспериментальная установка.....	36
2.3. Методика исследований.....	40
2.4. Результаты исследований.....	44
2.5. Выводы.....	49
3. Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при ее натяжении.....	51
3.1. Вступительные замечания.....	51
3.2. Экспериментальная установка.....	52
3.3. Методика исследований.....	52
3.4. Результаты исследований.....	52
3.5. Выводы.....	57
4. Оценка долговечности ленточных пил.....	58
4.1. Вступительные замечания.....	58
4.2. Разработка математической модели определения коэффициента запаса прочности ленточных пил.....	58
4.3. Мероприятия, направленные на повышение коэффициента запаса прочности ленточных пил.....	65
4.4. Выводы.....	68
5. Определение условий предотвращения разрушения ленточных пил.....	69
5.1. Изучение характера развития трещин в ленточных пилах.....	69

5.2. Способы торможения трещин в ленточных пилах.....	72
5.3. Ремонт ленточных пил.....	74
5.4. Выводы.....	75
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	76
Литература.....	78
Приложение 1. Патент на изобретение «Способ торможения распространения трещины в ленточной пиле».....	84
Приложение 2. Программа работы датчика Холла.....	90
Приложение 3. Рекомендации по оснащению зубьев ленточных пил станка с криволинейными аэростатическими направляющими ...	93
Приложение 4. Рекомендации по оснащению зубьев ленточных пил станка с криволинейными аэростатическими направляющими стеллитом	102
Приложение 5. Акт внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы «Повышение долговечности ленточных пил для распиловки древесины»	112

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Ленточнопильные станки нашли широкое применение в лесопилении благодаря ряду преимуществ перед другими видами лесопильных станков. Основные достоинства ленточнопильных станков следующие:

1. малая шероховатость поверхности получаемых пиломатериалов благодаря большим скоростям резания и малым подачам на зуб;
2. незначительный расход древесины в опилки благодаря малым толщинам пил;
3. возможно распиливать бревна больших диаметров, которые невозможно распиливать на лесопильных станках других видов;
4. возможна индивидуальная распиловка бревен с учетом особенностей их строения и качества;
5. не требуются массивные фундаменты, так как отсутствуют большие силы инерции при работе станка;
6. существует возможность использовать однопильные лесопильные модули в гибких автоматизированных лесопильных линиях (ГАЛЛ).

Вместе с отмеченными достоинствами ленточнопильные станки имеют и ряд существенных недостатков. Одним из больших недостатков является низкая долговечность ленточных пил. Во время работы в межзубовых впадинах ленточной пилы возникают усталостные трещины, которые, если их вовремя не удалять вместе с дефектным слоем путем стачивания, могут развиваться и привести к разрушению пилы. Аварийный расход ленточных пил наибольший по сравнению с другим лесопильным инструментом. Отсюда следует, что работа, направленная на разработку мероприятий повышающих долговечность ленточных пил является актуальной.

Цель и задачи исследований. Цель работы – повышение долговечности ленточных пил для распиловки древесины.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследований:

1. Изучить ранее выполненные работы по определению причин низкой долговечности ленточных пил и определить пути ее повышения.
2. Определить коэффициент концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе.
3. Определить коэффициент концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при их натяжении.

4. Разработать математическую модель расчета коэффициента запаса прочности ленточной пилы.
5. Определить характер распространения трещин в ленточных пилах и условия предотвращения разрушения пил.
6. Дать рекомендации повышения долговечности ленточных пил.

Соответствие паспорту научной специальности. Область исследований соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК РФ 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки».

Научная новизна результатов исследований.

1. Разработана математическая модель расчета коэффициента запаса прочности ленточных пил.
2. Определены условия, при которых возможно торможение распространения трещин в полотнах ленточных пил.
3. Предложен новый способ торможения распространения трещин в полотне ленточной пилы. Новизна и оригинальность метода подтверждается патентом.
4. Уточнены значения теоретических и действительных коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил, изготовленных по ГОСТ 6532-77, при их изгибе и натяжении.
5. Определен коэффициент чувствительности материала ленточных пил.
6. Уточнены пределы выносливости ленточной пилы при симметричном и отнулевом циклах нагружения.
7. Дана оценка долговечности пил ленточнопильного станка нового типа с криволинейными аэростатическими направляющими.

Методы исследований.

1. При выборе направления исследований и оценке долговечности ленточных пил для распиловки древесины использовались методы теории резания древесины.
2. При определении коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил использовались методы строительной механики.
3. Определение деформаций и напряжений в ленточных пилах при различных видах нагружения выполнялось с использованием методов тензометрирования.
4. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием методов математической статистики и программного комплекса Microsoft Office Excel.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждаются:

1. Аргументированностью допущений, принятых в исследованиях.

2. Использованием современных методов строительной механики при определении коэффициентов концентрации напряжений.
3. Выполнением большого объема экспериментальных исследований
4. Использованием современной экспериментальной базы
5. Выборочной проверкой результатов экспериментов в производственных условиях.

На защиту выносятся:

1. Результаты исследований коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при их изгибе и натяжении.
2. Характер возникновения и развития трещин в полотнах ленточных пил.
3. Новый способ торможения распространения трещин в полотнах ленточных пил.
4. Математическая модель расчета коэффициента запаса прочности ленточных пил.
5. Оценка долговечности пил ленточнопильного станка нового типа с криволинейными аэростатическими направляющими.

Практическая значимость работы.

Материалы выполненных исследований имеют практическое значение.

Они позволяют:

1. Определить долговечность пил ленточнопильных станков любого типа.
2. Оценить мероприятия, направленные на повышение долговечности ленточных пил.
3. Дать рекомендации по совершенствованию ленточнопильных станков и методов подготовки к работе ленточных пил.
4. Определить необходимость периодичности заточки ленточных пил для удаления дефектного слоя в межзубовых впадинах для предотвращения появления трещин на полотне пилы.
5. Определить условия возможности торможения трещин в ленточных пилах.

Личный вклад соискателя.

Личный вклад соискателя заключается в проведении аналитического обзора литературных и нормативных источников по теме исследования, определении цели и задач исследования, выборе методов исследования, создании экспериментальной базы, проведении экспериментальных исследований, получении и обработке результатов, подготовке публикаций, формулировке выводов и практических рекомендаций.

Апробация работы.

Основные положения диссертации и материалы исследований докладывались на научно-технических конференциях профессорско-

преподавательского состава ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова» г. Архангельск 2011-2021 г.

Реализация результатов работы

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе ФГАОУ ВО «Северного (Арктического) федерального университета имени М.В.Ломоносова», что подтверждается актом, представленным в приложении 5.

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 6 печатных работ, в том числе 3 по списку ВАК и один патент на изобретение.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов и рекомендаций, списка литературы из 66 наименований, 5 приложений. Работа изложена на 113 листах машинописного текста, содержит 51 рисунок и 9 таблиц.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Особенности пиления древесины ленточными пилами

Ленточнопильный станок представляет собой устройство, у которого пила, выполненная в виде стальной тонкой бесконечной ленты с зубьями на одной кромке (реже на двух кромках), движется с большой постоянной скоростью ($v = 30 \dots 50$ м/с) в одном направлении по двум опорам. У ленточнопильных станков, применяемых в промышленности, такими опорами являются приводной и натяжной пильные шкивы. Древесина непрерывно надвигается на пилу с равномерной скоростью подачи u .

Ленточнопильные станки можно классифицировать (рис. 1.1) по следующим основным признакам [31]:

- 1) по назначению;
- 2) по расположению рабочего участка пильной ленты по отношению к вертикальной оси станка;
- 3) по виду резания;
- 4) по конструкции механизма резания;
- 5) по виду механизма подачи;
- 6) по количеству пил;
- 7) по комбинированию с узлами, в которых использован другой режущий инструмент.

По назначению ленточнопильные станки могут быть столярными, делительными и бревнопильными. Столярные ленточнопильные станки предназначены для выпиливания прямолинейных и криволинейных деталей, имеющих небольшую высоту. Устройства механизмов резания у столярных, делительных и бревнопильных станков не имеют принципиальных различий, кроме диаметров пильных шкивов.

Делительные ленточнопильные станки предназначены для выпилки тонких досок из толстых досок (или брусьев) и горбылей.

Бревнопильные ленточнопильные станки предназначены для продольной распиловки крупномерной фаутной древесины хвойных пород и для раскря ценных лиственных пород. Современный бревнопильный ленточнопильный станок представляет собой крупный и довольно сложный лесопильный агрегат.

По расположения рабочего участка пилы по отношению к вертикальной оси ленточнопильные станки подразделяются на вертикальные и горизонтальные.

Вертикальные ленточнопильные станки наиболее распространены. Рабочий участок ленточной пилы у вертикальных ленточнопильных станков

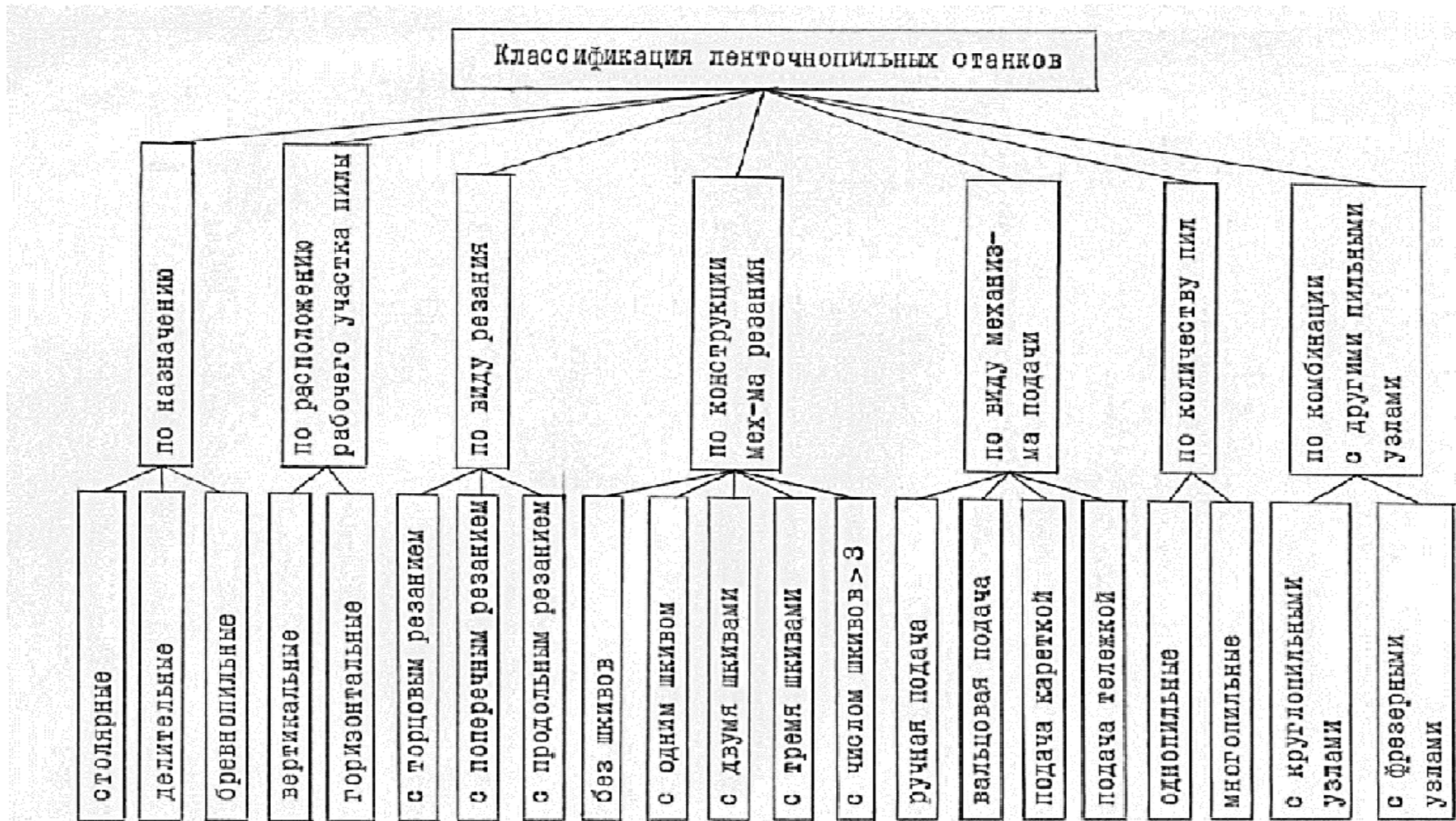


Рисунок 1.1. Классификация ленточнопильных станков

параллелен вертикальной оси станка. На рис. 1.2,а и 1.2,б даны схемы соответственно вертикального делительного и вертикального бревнопильного ленточнопильных станков.

Горизонтальные ленточнопильные станки могут применяться для распиловки бревен и горбылей. Рабочий участок ленточной пилы у горизонтальных ленточнопильных станков перпендикулярен вертикальной оси станка. Принципиальная схема горизонтального бревнопильного станка дана на рис. 1.2,в.

По виду резания могут быть ленточнопильные станки с торцовым резанием (рис. 1.3,а), с поперечным резанием (рис. 1.3, б) и с продольным резанием (рис. 1.3, в).

Ленточнопильные станки с торцовым резанием нашли наибольшее распространение. При торцовом резании плоскость резания и направление резания перпендикулярны направлению волокон распиливаемого материала. Этот вид резания использован в станках, конструкции которых показаны на рисунке 1.2. При торцовом резании процесс пиления имеет наибольшую энергоемкость по сравнению с другими видами резания. Основным достоинством этого вида резания по сравнению с продольным является наименьшая высота пропила, что позволяет уменьшить свободную длину пилы и повысить жесткость и устойчивость пилы.

Ленточнопильные станки с поперечным резанием могут быть использованы, например, для разделки хлыстов на короткие сортименты. Недостаток – незначительная длина отпиливаемого материала, определяемая расстоянием от пилы до колонны станины.

Ленточнопильные станки с продольным резанием не нашли промышленного применения, хотя выполнен значительный объем исследований и изготовлены опытные образы станков [47]. При продольном резании плоскость резания и направление резания параллельны направлению волокон распиливаемого материала. Положительным у ленточнопильных станков этого типа является то, что при распиловке бревен кроме пиломатериалов получается длинная сливная стружка с поперечными волокнами, которая может быть использована в качестве сырья для целлюлозно-бумажного производства и для упаковки. Кроме этого, обеспечивается высокая чистота поверхности пиломатериалов и уменьшаются энергозатраты на пиление. Крупным недостатком станков этого типа является то, что высота пропила у них равна длине распиливаемого материала и из-за большой свободной длины пилы трудно обеспечить ее устойчивость и требуемую точность пиления.

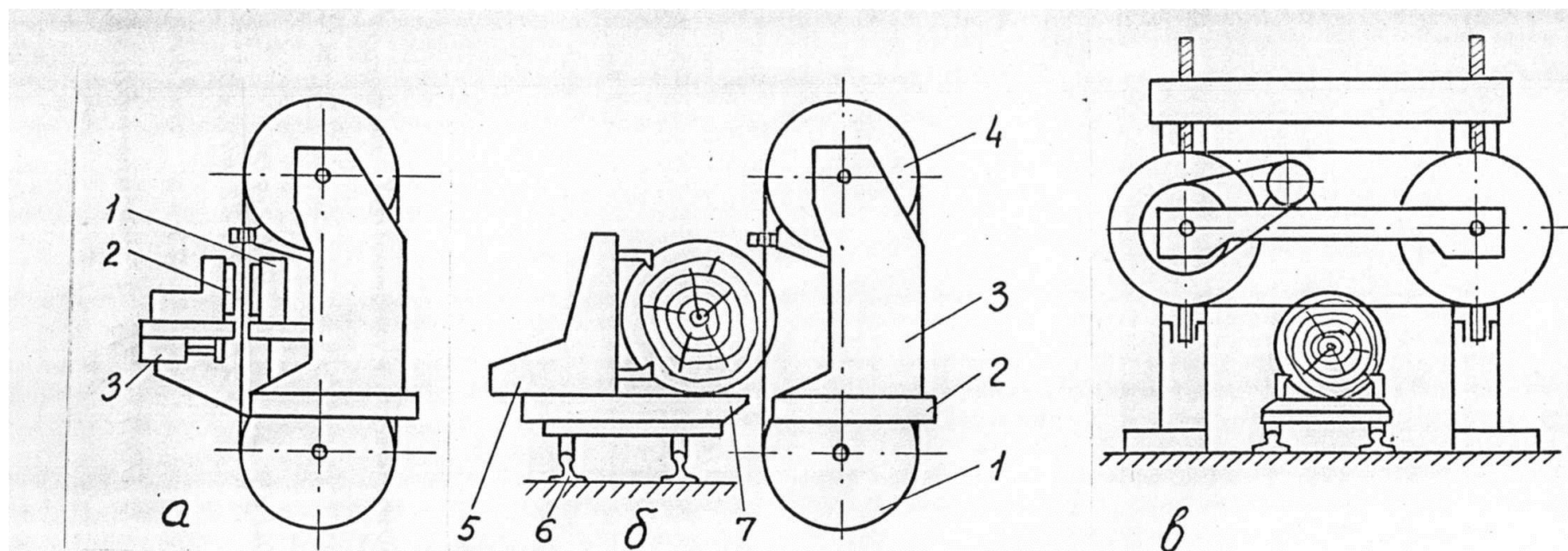


Рисунок 1.2. Схемы ленточнопильных станков: а - вертикальный делительный; б - вертикальный бревнопильный; в - горизонтальный бревнопильный.

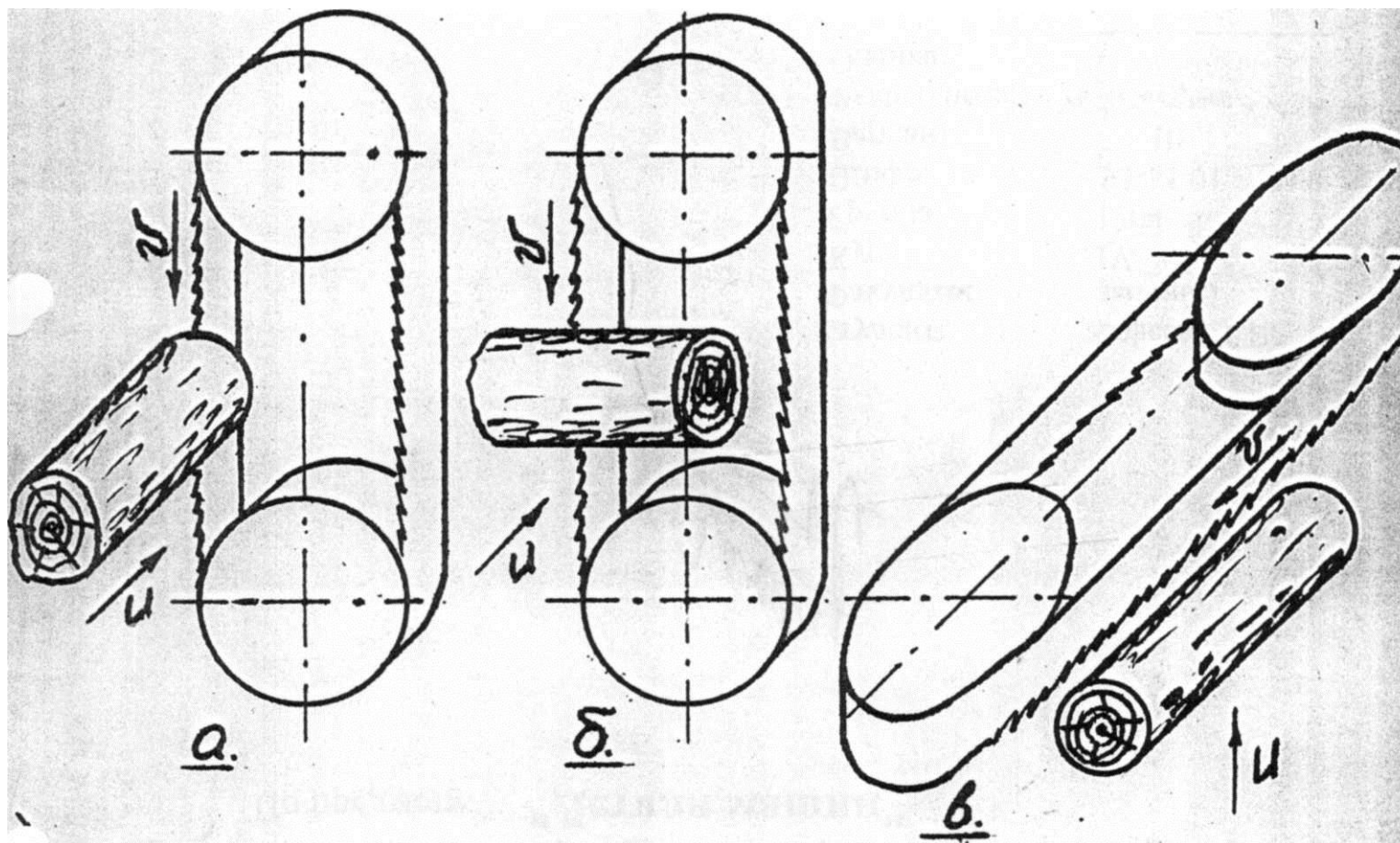


Рисунок 1.3. Схемы ленточнопильных станков с разными видами резания: *а* – торцовым; *б* – поперечным; *в* – продольным.

Ленточнопильные станки по количеству пил делятся на однопильные и многопильные. Однопильные станки были рассмотрены ранее. Многопильные ленточнопильные станки могут компоноваться из блоков, каждый из которых включает цельный ступенчатый ведущий шкив, приводящий в движение пилы, число которых равно числу ступеней, или из отдельных модулей узлов резания.

Конструкции многопильных ленточнопильных станков показаны на рисунке 1.4. Наиболее целесообразно применение многопильных ленточнопильных станков в гибких автоматизированных линиях.

Применяемые в настоящее время в лесопилении ленточнопильные станки имеют следующие преимущества перед другими видами лесопильного оборудования:

- высокое качество пиломатериалов по шероховатости их поверхности из-за больших скоростей резания и, как следствие, малых подач на зуб;
- незначительный расход древесины в опилки, благодаря применению ленточных пил, имеющих малую толщину;
- возможность распиловки бревен больших диаметров, которые нельзя распилить на лесопильных рамах и круглопильных станках;
- возможность индивидуальной распиловки бревен с учетом особенностей их строения и качества;
- не требуется тщательная сортировка бревен по диаметрам перед распиловкой;
- не требуются массивные фундаменты, так как отсутствуют большие силы инерции;
- возможность использования однопильных ленточнопильных модулей при создании гибких автоматизированных лесопильных линий (ГАЛЛ).

Отмеченные достоинства ленточнопильных станков привлекают все большее внимание потребителей, так как позволяют уменьшить расход древесины в опилки и повысить выход пиломатериалов, упростить подготовку сырья к распиловке, автоматизировать лесопильное производство путем создания гибких автоматизированных лесопильных линий.

Вместе с этими преимуществами ленточнопильные станки имеют и ряд существенных недостатков. Основные из них следующие:

1. низкая точность пиления древесины при больших скоростях подачи из-за недостаточной жесткости и устойчивости ленточных пил;

2. малая долговечность ленточных пил из-за больших напряжений, которые они испытывают во время работы и концентрации напряжений в межзубовых впадинах;

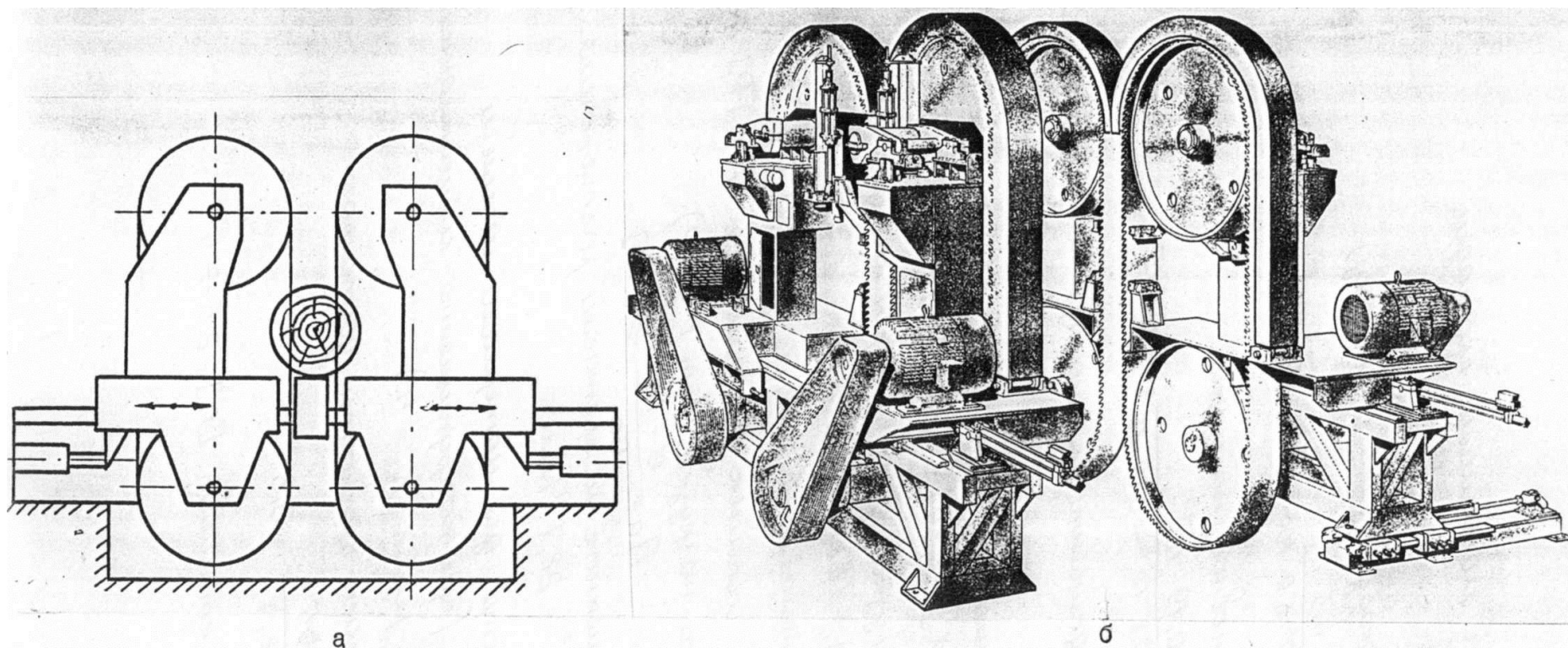


Рисунок 1.4. Многопильные ленточнопильные станки, скомпонованные из однопильных модулей: а) сдвоенные; б) счетверенные.

3. большие габаритные размеры и металлоемкость из-за значительных диаметров пильных шкивов;

4. сложность качественной подготовки пил к работе.

При создании многопильных ленточнопильных станков для гибких автоматизированных линий эти недостатки приобретают еще большее значение. По мере устранения вышеотмеченных недостатков сфера применения ленточнопильных станков будет расширяться.

Кинематическая схема пиления ленточной пилой приведена на рисунке 1.5

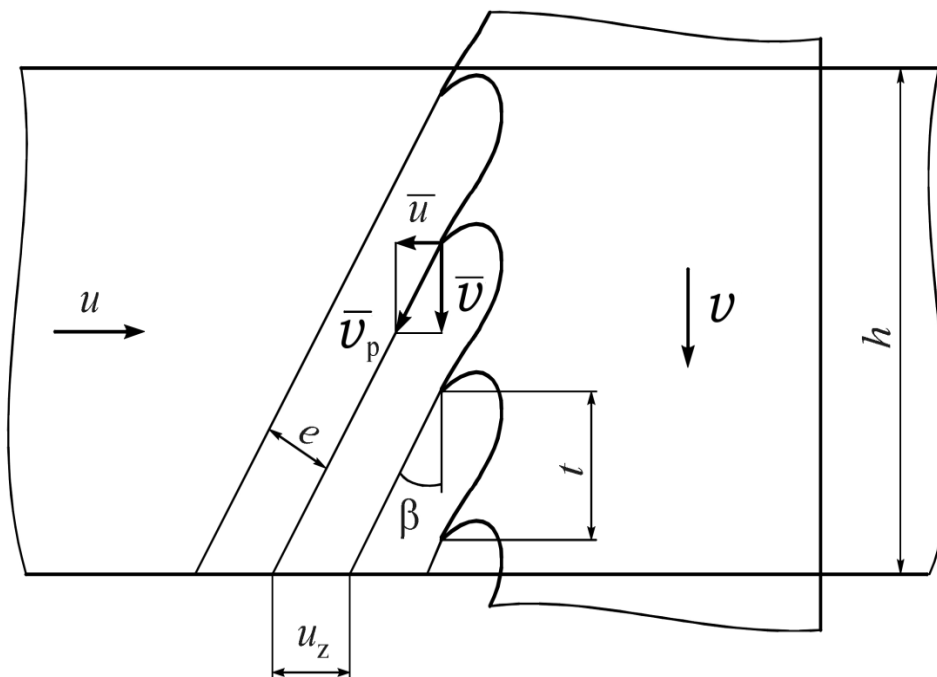


Рисунок 1.5. Кинематика пиления древесины ленточной пилой:

u – скорость подачи; v – скорость резания; h – высота пропила;
 u_z – подача на зуб; e – толщина стружки

Скорость движения (v , м/с) ленточной пилы (скорость резания) определяется по формуле

$$v = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000}, \quad (1.1)$$

где D – диаметр шкивов, мм;

n – частота вращения шкивов, об/мин.

Тангенс угла β между векторами скорости и подачи

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{u}{v} = \operatorname{const},$$

где u – скорость подачи распиливаемого материала.

Подача на зуб

$$u_z = t \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{t u}{60 v} = \frac{1000 t u}{\pi D n}, \quad (1.2)$$

где t – шаг зубьев пилы, мм.

Скорость подачи распиливаемого материала

$$u = \frac{u_z \pi D n}{1000 t}. \quad (1.3)$$

При пилении ленточными пилами относительные траектории зубьев в древесине являются прямыми линиями параллельными вектору скорости резания $\bar{u}_p$, которая определяется по формуле

$$\bar{u}_p = \sqrt{u^2 + u_z^2}. \quad (1.4)$$

Толщина стружки для плющенных зубьев

$$e = u_z \cos \beta. \quad (1.5)$$

1.2 Конструкции ленточных пил

В РФ столярные и делительные ленточные пилы выпускают по ГОСТ – 6532 – 77 [11], а ленточные пилы для распиловки бревен и брусьев - по ГОСТ 10670 [12]. Они отличаются друг от друга размерами и профилем зубьев. ГОСТ 6532 – 77 «Пилы ленточные для распиловки древесины» предусматривает изготовление ленточных пил трех типов: 1 – узкие (столярные); 2 – широкие с зубьями нормального профиля; 3 – широкие с удлиненной впадиной. Конструкции ленточных пил типа 2 и 3 по ГОСТ 6532 – 77 показаны на рисунке 1.6. Размеры ленточных пил типов 2 и 3 по ГОСТ 6532 – 77 приведены в таблицах 1.1 и 1.2

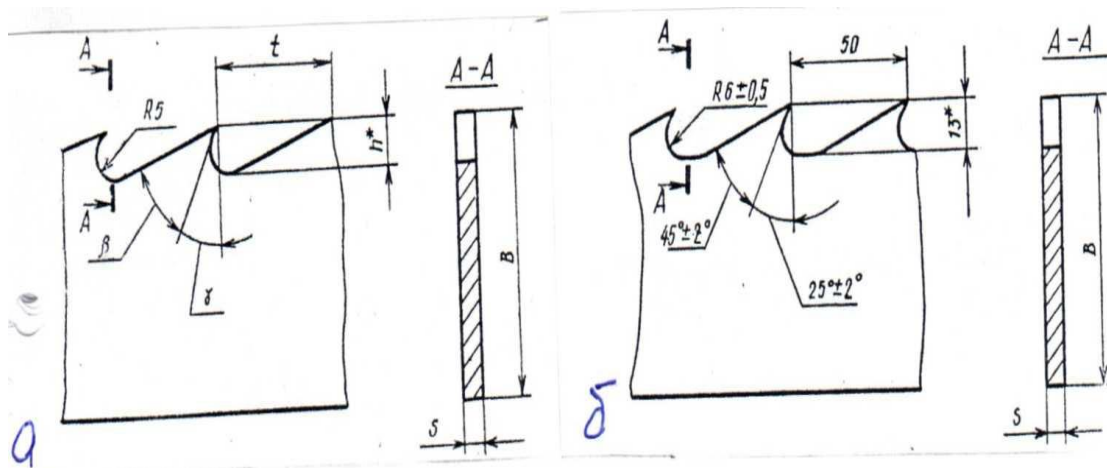


Рисунок 1.6. Ленточные пилы для распиловки древесины (ГОСТ 6532-77):
а – тип 2; б – тип 3

Таблица 1.1 Размеры (мм) ленточных пил типа 2 (ГОСТ 6532 – 77)

Обозначение пил	Длина пилы +100	B $\pm 3,0$	S	t $\pm 0,5$	h	γ	β
						$\pm 2^\circ$	
3405-0028	7000	85	1,0	30	10	20°	50°
3405-0029		100	1,0				
3405-0031	8500	125	1,0				
3405-0032			1,2	50	13	30°	45°
3405-0033			1,0				
3405-0034			1,2				
3405-0035		150	1,2	30	10	20°	50°
3405-0037			1,2	50	13	30°	45°
3405-0039	9000	175	1,2	30	10	20°	50°
3405-0042			1,2	50	13	30°	45°

Таблица 1.2 Размеры (мм) ленточных пил типа 3 (ГОСТ 6532 – 77)

Обозначения пил	Длина пилы +100	$B \pm 3,0$	S
3405-0044	8500	125	1,0
3405-0045			1,2
3405-0046		150	1,2
3405-0048	9000	175	1,2

Твердость ленточных пил составляет 39...43 HRC и в различных точках пилы не должна отличаться более чем на 4 HRC.

Пример условного обозначения пилы типа 2 шириной 150 мм, толщиной $S = 1,2$ мм с шагом зубьев $t = 30$ мм:

Пила 3405-0035 ГОСТ 6532-77.

Ленточные пилы для распиловки бревен и брусьев (ГОСТ 10670 – 77) имеют конструкцию, показанную на рисунке 1.7 и размеры, приведенные в таблице 1.3.

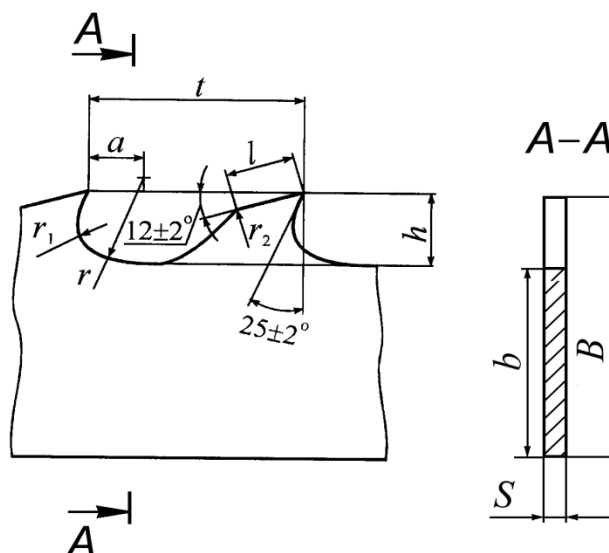


Рисунок 1.7. Ленточная пила для распиловки бревен и брусьев (ГОСТ 10670 – 77)

Таблица 1.3 Размеры (мм) ленточных пил для распиловки бревен и брусьев (ГОСТ 10670 – 77)

Обозначение пил	B (пред. откл. $\pm 3,5$)	S (пред. откл. $\pm$ 0,7)	T (пред. откл. $\pm$ 0,1)	h	a (пред. откл. ± 1)	ℓ	r	r_1	r_2	Длина пил (пред. откл. +120)
							Пред. откл. $\pm 0,5$			
3405-0001	230	1,4	50	16,7	12,5	15	20,8	5,8	12	10800
3405-0002		1,6								
3405-0003		1,4	60	20,0	15,0	18	25,0	7,0	16	11700
3405-0004		1,6								
3405-0005	280	1,6								12600
3405-0006		1,8								
3405-0007		2,0								

Ленточные пилы изготавливают из стали 9ХФ (ГОСТ 5950 – 73)

1.3 Применение ленточнопильных станков при создании гибких автоматизированных линий в лесопилении

Создание гибких автоматизированных лесопильных линий (ГАЛЛ) соответствует третьему уровню интенсификации лесопильного производства (применение высоких технологий) [31].

ГАЛЛ – это управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического и вспомогательного оборудования, осуществляющая комплекс технологических, контрольных и транспортных операций для получения пилопродукции в условиях поступления пиловочного сырья с разными размерно-качественными характеристиками, при этом производится получение пиломатериалов требуемой номенклатуры, количества и качества с минимальными затратами сырья, энергии, материалов и трудовых ресурсов. Особенность ГАЛЛ заключается в том, что планы и режимы раскроя пиловочного сырья могут изменяться и осуществляться в автоматизированном режиме (с ограниченным участием человека).

Новая технология (применение ГАЛЛ) по сравнению с существующей имеет следующие достоинства [19,20,36,56]:

1. Повышение производительности труда при производстве пиломатериалов за счет значительного сокращения операций на складах сырья и пиломатериалов и автоматического выбора оптимальных режимов пиления древесины на лесопильных модулях.

2. Повышение выхода пиломатериалов за счет выбора рациональных планов раскроя сырья с учетом размерно-качественных характеристик каждого поступающего на распиловку бревна, применения тонких пил с направляющими, точного ориентирования бревен относительно оси постова, высокой точности пиления и позиционирования пильных модулей, специальных способов распиловки бревен с кривизной.

3. Повышение качества пиления древесины за счет автоматического контроля качества получаемых пиломатериалов и автоматической корректировки режимов пиления, повышения точности подготовки пил и оснащения зубьев пластинками из сверхтвердых материалов при использовании лесопильных модулей нового поколения (например, ленточнопильных модулей с пилами, движущимися по криволинейным аэростатическим направляющим).

4. Удешевление изготовления и эксплуатации оборудования за счет использования унифицированных лесопильных модулей, обладающих малыми массой и габаритами, высокой точностью пиления и надежностью.

5. Сокращение численности работающих. При эксплуатации ГАЛЛ требуется меньшее количество работающих. При общем снижении обслуживающего персонала увеличивается численность инженерно-технических работников, и умственный труд становится главным.

В ГАЛЛ могут быть использованы в качестве модулей лесопильного оборудования лесопильные рамы, многопильные ленточнопильные и круглопильные станки, включающие пильные модули с возможностью их позиционирования на некотором расстоянии друг от друга в зависимости от плана раскроя сырья. Для обеспечения высокой эффективности работы ГАЛЛ пильные модули должны обладать высокой надежностью, обеспечивать требуемую точность пиления и малый расход древесины в опилки, иметь малые габариты и металлоемкость.

В качестве головных лесопильных станков в ГАЛЛ могут быть использованы многопильные ленточнопильные станки, включающие ленточнопильные модули с пилами, совершающими движение по криволинейным аэростатическим направляющим [36,40]. Такие модули имеют следующие достоинства:

- возрастает выход пиломатериалов на 2...3 %;
- снижаются энергозатраты на 10...15 %;
- уменьшаются габаритные размеры и металлоемкость на 30...50 %;
- повышается долговечность пил более чем в 20 раз;
- открывается возможность использовать ленточные пилы с зубьями, оснащенными твердым сплавом.

Конструкция сдвоенного ленточнопильного станка с пилами, движущимися по криволинейным аэростатическим направляющим, приведена на рисунке 1.8 [31].

Вариант схемы гибкой автоматизированной линии показан на рисунке 1.9 [31].

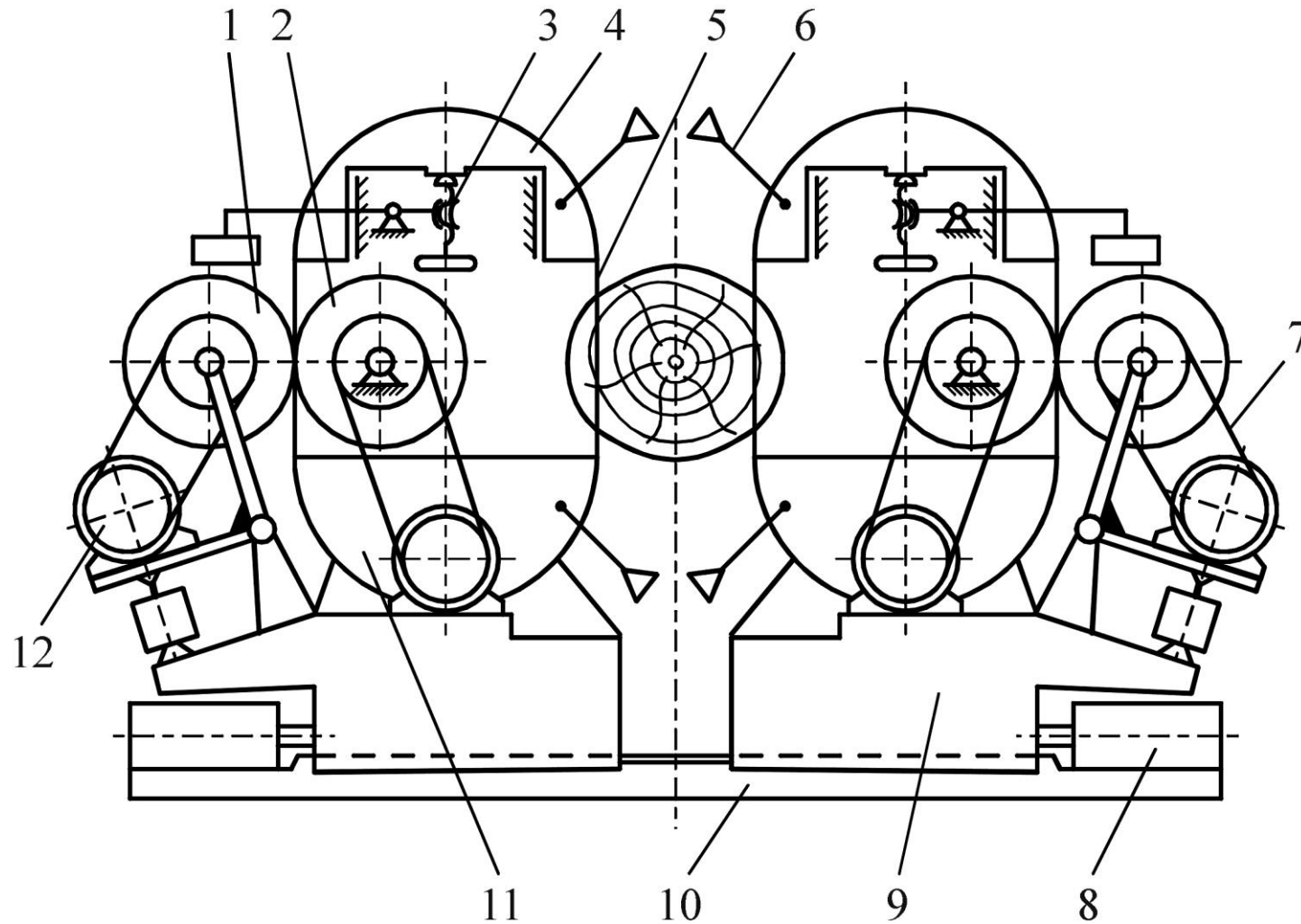


Рисунок 1.8. Сдвоенный ленточнопильный станок с пилами, движущимися по криволинейным аэростатическим направляющим: 1 – приводные фрикционные колеса; 3 – механизм натяжения пилы; 4, 11 – криволинейные аэростатические направляющие; 5 – ленточная пила; 6 – воздухопровод; 7 – ременная передача; 8 – позиционер; 9 – станина ленточнопильного модуля; 10 – направляющая ленточнопильного станка; 12 – электродвигатель

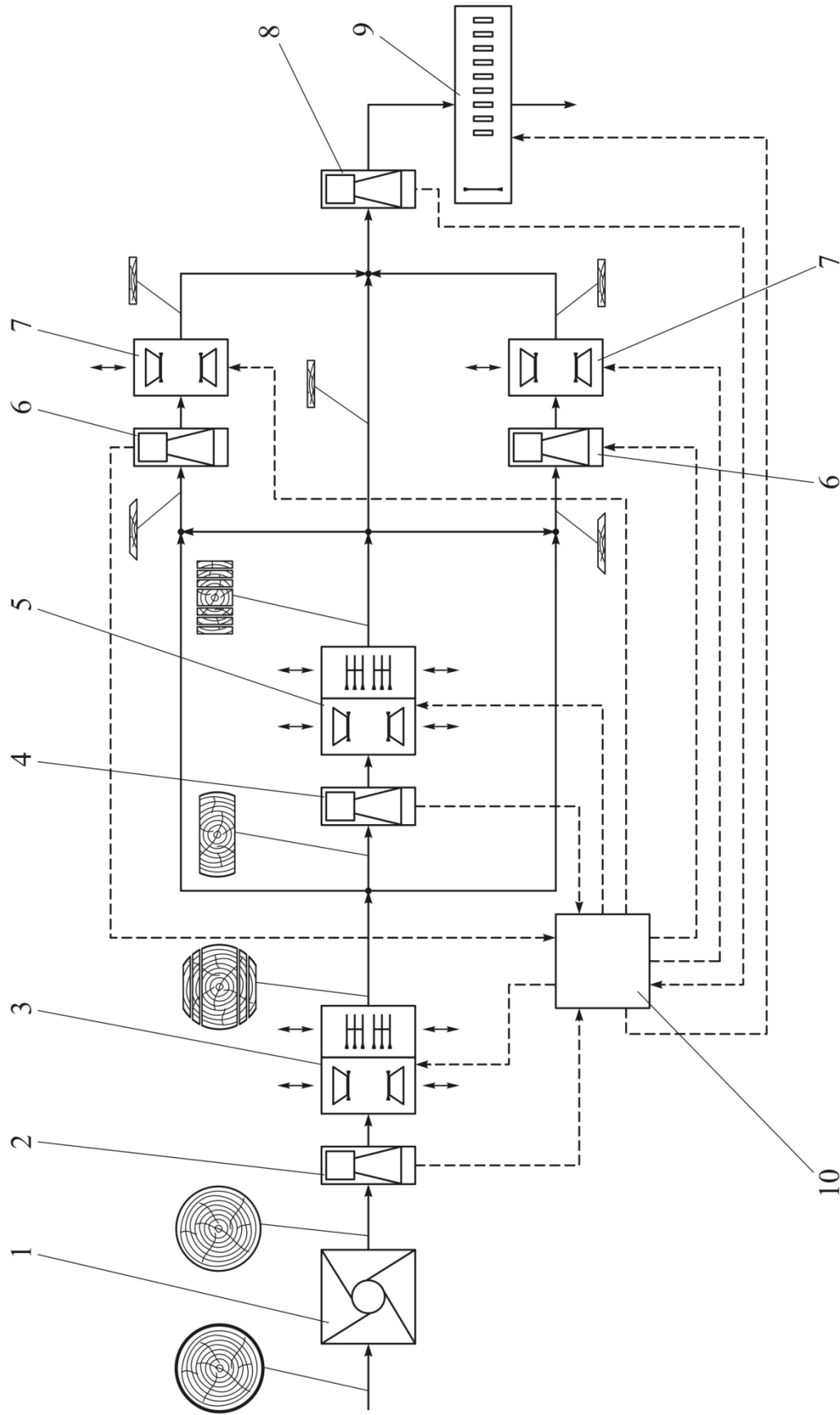


Рисунок 1.9. Схема гибкой автоматизированной лесопильной линии: 1 – окорочный станок; 2, 4, 6, 8 – сканирующие устройства; 3, 5 – фрезерно-брусующий станок и лесопильная рама; 7 – фрезерно-обрезной станок; 9 – торцовочный станок; 10 – система управления

1.4 Долговечность ленточных пил

Эффективность пиления древесины на ленточнопильных станках в значительной степени зависит от точности пиления и от долговечности пил. Вопросы повышения точности пиления древесины рассматриваются в работах [4,6,9,35,37,43,58,59]. Данная работа посвящена вопросам долговечности ленточных пил, изготавливаемых по ГОСТ 6532 – 77 [11], но основные методические положения могут быть использованы при расчетах ленточных пил, изготовленных по ГОСТ – 10670 [12].

Установлено [15, 17, 30, 42, 44, 49, 40, 52, 53], что ленточные пилы имеют низкую долговечность, вызванную повышенным аварийным расходом их, что не позволяет повышать их износостойкость, увеличивает затраты на их подготовку и приобретение.

Исследованиями установлено, что разрушение ленточных пил носит усталостный характер [27, 30, 31, 49, 52].

Чаще всего обрыву пил предшествует образование трещин в межзубовых впадинах, которое вызвано усталостью металла при повторно-переменных нагрузках. В работах [17, 51, 53, 54] дан анализ напряжений в ленточных пилах от изгиба на шкивах, натяжения, сил резания, вальцевания, сил инерции, температурного перепада по ширине пилы, концентраторов напряжения. Наибольшее влияние на прочность оказывают напряжения от изгиба пилы на шкивах и натяжения. Доля этих напряжений – 75...85% от суммы всех напряжений. Напряжения от изгиба на шкивах составляют 200...220 Н/мм², от натяжения для делительных пил – 50...100 Н/мм², для пил бревнопильных станков – 100...150 Н/мм².

В работе [59] отмечается большой расход ленточных пил, связанный с их аварийностью. Коэффициент случайной убыли ленточных пил 2,5...3,5. По ширине полотна ленточные пилы имеют ограниченное использование. Доля используемой рабочей зоны составляет 0,29...0,3 от начальной ширины пилы.

В ряде работ уделяется внимание изучению межзубовых впадин, которые являются концентраторами напряжений. В работе [57] выполнены теоретические исследования концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил. В результате исследований получены следующие формулы для расчета коэффициентов концентрации напряжений:

Коэффициент концентрации при изгибе пилы:

$$k_{\text{и}} = 1 + 1,3 \cos^2 \frac{\beta'}{2} \sqrt{\frac{h_w}{R}} \quad (1.6)$$

где β' - угол раскрытия межзубовой впадины на расстоянии $0,33 h_\varphi$ от линии межзубовых впадин;

R – радиус сопряжения в нижней точке впадины, м;

h_w – высота зуба с учетом коэффициента разгрузки, определяемая из выражения:

$$h_w = \frac{e^{(2t/\pi h)} - 1}{e^{(2t/\pi h)} + 1} h ,$$

где h – высота зуба;

t – шаг зубьев.

Коэффициент концентрации при растяжении пины:

$$k_H = 1 + 0,65 \left(\cos \frac{\beta'}{2} + \cos^2 \frac{\beta'}{2} \right) \sqrt{\frac{h_w}{R}} \quad (1.7)$$

Расчеты коэффициентов концентрации напряжений по формулам (1,6 и 1,7) не приводились и достоверность их экспериментальным путем не проверялась.

В работе Добрынина Е.Д. [17] рекомендуется для уменьшения трещин в межзубовых впадинах вальцевать пины по линии межзубовых впадин. Малышев Ю.В. это предложение отвергает в работе [26]. Он экспериментально установил, что проведение такой операции вызывает повышение концентрации напряжений на линии межзубовых впадин в 1,2 раза и вызывает действие противоположное желаемому. Он рекомендует дополнительное вальцевание пины по линии межзубовых впадин, но нижний вальцовочный ролик необходимо выполнить с плоской рабочей поверхностью . Автор считает, что в этом случае произойдет упрочнение поверхностных слоев полотна пины и повысится ее долговечность. В работе [51] Трубников И. И. предложил для уменьшения трещинообразования подвергать межзубовые впадины обкатке специальным роликом.

Малышев Ю.В. в работе [26] рекомендует для повышения износостойкости зубьев ленточных пил оснащать их пластинками твердого сплава. Следует отметить, что повышать износостойкость ленточных пил возможно только при значительном увеличении их долговечности.

В работе [26] Малышев Ю.В. выполнил работы по определению коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах. Исследования выполнялись на образцах, имеющих следующие размеры: толщина $S = 1,2$ мм , ширина полотна(ширина образца за вычетом высоты зуба) $b = 20$ мм; длина образца $l = 250$ мм. Образцы испытывались при чистом изгибе и симметричном цикле. База испытаний была принята $N = 10^6$ циклов нагружения. Усталостные испытания проводились в лаборатории

«Строительная механика», ЛТА, на машинах для испытания на усталость плоских образцов.

В результате исследований получен коэффициент концентрации напряжений при изгибе $k_u = 1,24$. Коэффициент концентрации напряжений от поперечных рисков $k_{u3} = 1,27$.

Общий коэффициент концентрации напряжений с учетом поперечных рисков:

$$k_{u \text{ общ}} = 1,24 \cdot 1,27 = 1,57$$

При работе ленточные пилы испытывают не только изгиб, но и растяжение. Коэффициенты концентрации напряжений от растяжения ленты определялись с помощью поляризационно-оптического метода. Для профиля, представленного на рисунке 1.4а коэффициент концентрации напряжений $k_n = 1,9$. Как учитывалось влияние шероховатости поверхности межзубовых впадин на коэффициент k_n в работе ничего не говорится.

Анализируя приведенную работу можно сделать вывод, что проведена большая и полезная работа. В месте с этим по этой работе имеются следующие замечания:

1. Образцы не соответствуют элементам реальных делительных ленточных пил, выпускаемых по ГОСТ 6532-77 по толщине, ширине, профилю зубьев.

2. Базовое число циклов нагружения следует брать не 10^6 , а 10^7 циклов [13]

3. Не показаны параметры образцов при определении k_n .

4. При определении k_u не показан шаг зубьев на образцах

5. В результате исследований получен коэффициент концентрации напряжений $k_n = 1,9$, но автор рекомендует $k_n = 1,7$, так как считает что величина $k_n = 1,9$ слишком велика. При этом не приводит строгих обоснований.

6. Не показано как использовать коэффициенты k_u и k_n при определении коэффициента запаса прочности.

В работе [30] со ссылкой на работу шведского ученого Тунелла В. приводятся следующие значения коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах: $k_n = 1,26$ и $k_u = 1,65$

В работе А.Е. Феоктистова [52] приводится следующая формула для расчета коэффициента запаса прочности ленточной пилы:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a k + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \sigma_m} \quad (1.8)$$

где σ_{-1} - предел выносливости материала пилы при симметричном нагружении;

k – коэффициент концентрации напряжений (в работе принят $k = 1,7$);

σ_a – амплитуда цикла нагружения пилы;

σ_m – среднее напряжение цикла нагружения пилы;

σ_B – предел прочности материала пилы.

Отмечается, что коэффициент запаса прочности, полученный по этой формуле составляет $n = 2,8$.

По представленным материалам имеются следующие замечания:

- 1) отсутствует методика расчета
- 2) так как пилы периодически затачиваются, то следует брать не предел выносливости, а предел ограниченной выносливости σ_{-1N} ;
- 3) формула не учитывает качество заточки пил
- 4) формула не учитывает асимметрию цикла нагружения
- 5) коэффициент $n = 2,8$ явно завышен. При таком коэффициенте запаса прочности была обеспечена высокая долговечность пил, что не соответствует действительности.

И.И. Трубников [50] выполнил исследования по определению предела выносливости стали, из которой изготавливают ленточные пилы, при симметричном цикле нагружения и установил, что $\sigma_{-1} = 422$ МПа ($\sigma_{-1} = 43$ кгс/мм²)

Исследования проводились на образцах, размеры и форма которых показана на рисунке 1.10.

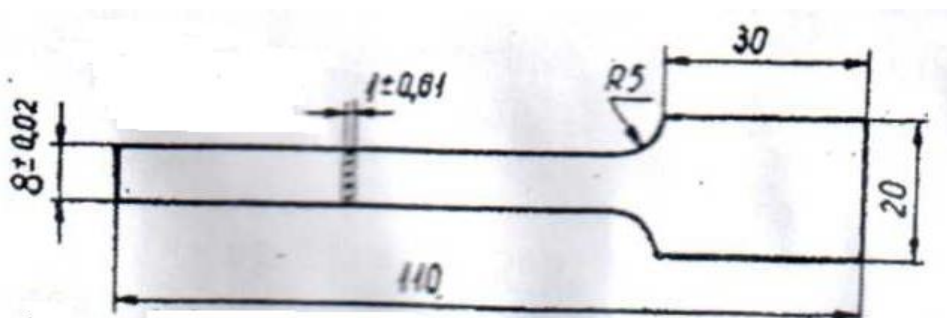


Рисунок 1.10. Конструкция образца пилы для определения предела выносливости материала пилы

В работе [31] приводится формула для определения коэффициента запаса прочности ленточных пил.

$$n = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_B} \left[\frac{K_3 \sigma_B}{\beta \sigma_{-1}} \left(\frac{\sigma_H}{2} + \Delta \sigma_H \right) + \left(\frac{\sigma_H}{2} + \Delta \sigma_H \right) \right]}. \quad (1.9)$$

У обычных ленточных пил (не оснащенных пластинками из твердых сплавов) при заточке зубьев межзубовые впадины через определенный промежуток времени обрабатываются и дефектный слой удаляется. Поэтому следует вместо предела выносливости σ_{-1} взять предел ограниченной выносливости σ_{-1N} .

Тогда коэффициент запаса прочности может быть определен по формуле

$$n = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_B} \left[\frac{K_\Sigma \sigma_B}{\beta \sigma_{-1N}} \left(\frac{\sigma_H}{2} + \Delta \sigma_H \right) + \left(\frac{\sigma_H}{2} + \Delta \sigma_H \right) \right]}. \quad (1.10)$$

Предел ограниченной выносливости может быть получен по формуле

$$\sigma_{-1N} = 1665 - 204 l g \frac{120000 t v}{L_\Pi}, \quad (1.11)$$

где t – время работы пилы между переточками, мин;
 v – скорость движения пилы (скорость резания), м/с;
 L_Π – длина пилы, мм.

Для удобства пользования формулой (1.11) на рисунке 1.11 построена номограмма.

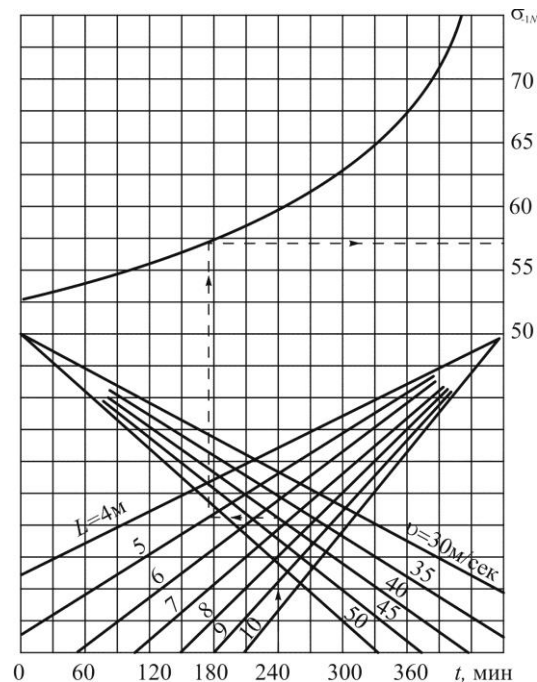


Рисунок 1.11. Номограмма для определения предела ограниченной выносливости материала пилы

В приведенных выше формулах (1.9) и (1.10) введены следующие обозначения:

$$k_\Sigma = \frac{k_H \sigma_H + k_N \sigma_N}{\sigma_H + \sigma_N} - \text{эквивалентный коэффициент концентрации напряжений} \quad (1.12)$$

$k_{\text{и}}$ - коэффициент концентрации напряжений при изгибе;

$\sigma_{\text{и}}$ - максимальные изгибающие напряжения, МПа;

$k_{\text{н}}$ - коэффициент концентрации напряжений при растяжении пилы;

$\sigma_{\text{н}}$ - максимальные напряжения при натяжении пилы, МПа;

$\Delta\sigma_{\text{н}}$ - изменение натяжения пилы, вызванное радиальным биением шкивов, МПа;

β - коэффициент, учитывающий влияние качества обработки поверхности впадин между зубьями.

В работе отмечается, что коэффициент β , характеризующий качество обработки поверхности впадин зубьев зависит не только от глубины неровностей при заточке пилы, но и от предела прочности стали $\sigma_{\text{в}}$. С ухудшением качества поверхности, ростом глубины микронеровностей увеличивается концентрация напряжений и снижается прочность пилы. Это снижение более резко выражено у высокопрочных сталей вследствие их большей чувствительности к концентрации напряжений. Зависимость коэффициента β от параметра шероховатости R_z и предела прочности стали $\sigma_{\text{в}}$ приведена на рисунке 1.12 [21].

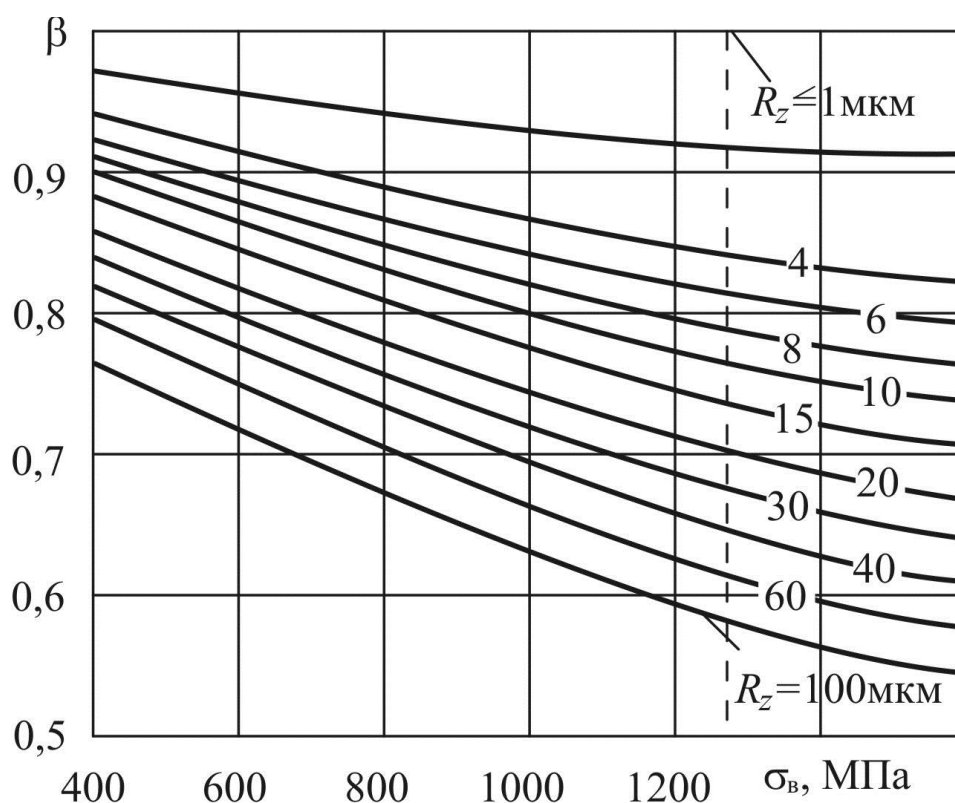


Рисунок 1.12. Зависимость коэффициента β от предела прочности стали $\sigma_{\text{в}}$ при изменении параметра шероховатости R_z

По материалам, представленным в работе [31] имеются следующие замечания:

- 1) формулы (1.9) и (1.10) получены на основании рассмотрения схематизированной диаграммы предельных амплитуд, в которой не учитывается отнулевой цикл нагружения;
- 2) неясно, как получена формула для определения предела ограниченной выносливости;
- 3) отсутствуют материалы для определения коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах $k_{\text{н}}$ и $k_{\text{н}}$ для стандартных пил.
- 4) не рассмотрен характер распространения трещин в полотне ленточной пилы в зависимости от времени ее эксплуатации;
- 5) отсутствуют современные рекомендации по торможению распространения трещин в ленточных пилах;
- 6) нет оценки долговечности пил ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими.

1.5. Работы, направленные на повышение долговечности ленточных пил

Ряд авторов дают рекомендации по повышению долговечности ленточных пил.

В работе [51] И.И. Трубников рекомендует путем поверхностного наклепа создавать в зоне зубьев сжимающие напряжения величиной до 300 МПа.

Необходимо стремиться к уменьшению изменения силы натяжения пил ($\Delta\sigma_{\text{н}}$) во время работы станка. В работе [31] указывается, что оно может быть вызвано биением ободов пильных шкивов (из-за неточности изготовления шкивов, износа их в процессе эксплуатации, биения подшипников) или попадания между пилой и шкивом инородных элементов.

Для уменьшения $\Delta\sigma_{\text{н}}$ необходимо повышать точность изготовления шкивов, применять в узле резания высокоточные подшипники, уменьшать износ шкивов и восстанавливать их точность путем шлифовки, устранять налипание на шкивы смолы, опилок и грязи и попадания между шкивами и пилой кусков древесины, применять ведомые шкивы малой массы. Механизм натяжения должен обладать высокой реакцией и быстро восстанавливать первоначальное заданное натяжение.

Радиальное биение пильных шкивов измеряют индикатором часового типа, закрепленным на стойке. Радиальное биение шкивов делительных и

бревнопильных ленточнопильных станков не должно превышать 0,15 мм (РИ 04-00 [48], РИ 05-00 [49]). Состоянию рабочих поверхностей шкивов необходимо уделять самое серьезное внимание, так как при эксплуатации станков рабочие поверхности шкивов изнашиваются. На рисунке 1.13 (РИ 05-00) показано, как с помощью поверочного угольника, поверочной линейки и набора щупов можно оценить состояние рабочих поверхностей шкива и степень их износа.

Измеряют щупом величины $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ в точках, удаленных от кромок шкива на расстояния $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$. Измеренные величины $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ сравнивают с соответственными значениями a_i для расстояний взятых из чертежа шкива завода-изготовителя станка. Допускаемое отклонение для новых шкивов $\pm 0,03$ мм, для шкивов, находящихся в эксплуатации, $\pm 0,2$ мм (РИ 05-00). Для замеров величин a_n вместо щупа может быть использован индикатор часового типа.

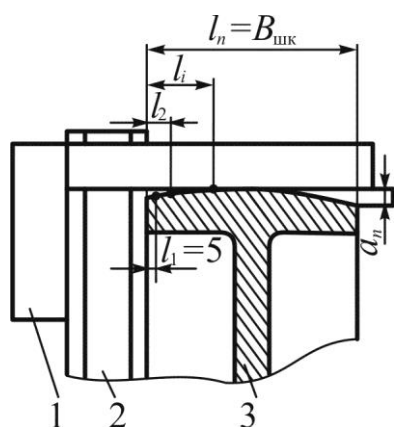


Рисунок 1.13. Контроль формы рабочих поверхностей шкивов ленточнопильного станка:

- 1 – поверочный угольник;
- 2 – поверочная линейка; 3 – шкив

Если отклонения рабочих поверхностей шкивов превышают нормативные значения, то необходимо рабочие поверхности шкивов шлифовать. Для этого имеется специальное приспособление, поставляемое со станком. Шведская фирма «Уддехолм» рекомендует шлифовать рабочие поверхности шкивов после 2000 ... 5000 ч работы.

Рабочие поверхности шкивов содержат в чистоте, используя устройства для очистки шкивов. Эти устройства могут конструктивно отличаться друг от друга у различных станков, но все они включают в себя металлическую щетку или скребок для удаления с рабочих поверхностей прилипших частиц коры, смолы, опилок и обтирку для смазки рабочих поверхностей шкивов жидкостью и снятия мелких частиц, не удаленных щеткой или скребком. Различие устройств может состоять в конструкции бачка для обтирки, устройства прижима обтирки и скребка к шкиву, в составе жидкости, подаваемой в бачок. Разными могут быть материалы, из которых приготовлены обтирка и скребок.

На рисунке 1.14 показано устройство для очистки верхнего шкива ленточнопильного станка модели CKS-GL-1500 японской фирмы «Чугоку Кикай». Из бачка через кран по виниловому шлангу в металлическую коробку поступает масло. В коробке находится в сжатом состоянии под действием пружины и прижимается к рабочей поверхности шкива обтирка. Материал обтирки – фетр. К выступу на коробке прикреплен скребок, выполненный из латуни. Прижим скребка к шкиву осуществляется с помощью рычага с грузом и опорой. Сила прижима скребка к шкиву регулируется путем перемещения груза по рычагу с последующим стопорением винтом.

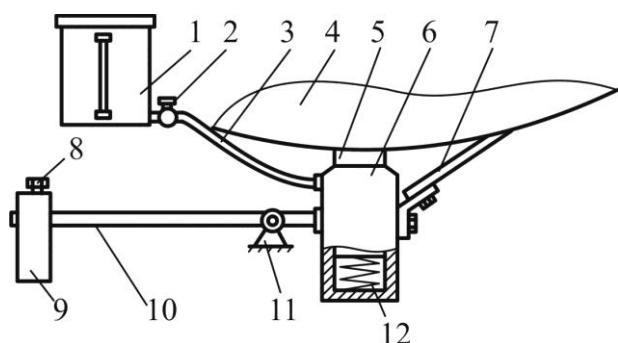


Рисунок 1.14. Устройство для очистки рабочей поверхности верхнего шкива ленточнопильного станка:
1 – бачок; 2 – кран; 3 – шланг;
4 – шкив; 5 – обтирка;
6 – коробка; 7 – скребок;
8 – винт; 9 – груз; 10 – рычаг; 11 – опора;
12 – пружина

Для уменьшения инерционности ведомого шкива масса его должна быть максимально уменьшена, она должна быть не менее чем в 2 раза меньше, чем масса ведущего шкива. Это достигается тем, что обод ведомого шкива соединен со ступицей спицами или сравнительно тонким диском. Оба типа шкивов нашли применение в конструкциях ленточнопильных шкивов. Применение спиц позволяет в большей степени уменьшить массу ведомого шкива. Недостатки таких шкивов: они менее технологичны в изготовлении, имеют большие аэродинамические сопротивления при вращении, повышенный шум. Шкивы с дисками лишены этих недостатков и, хотя имеют несколько большую массу, находят все большее применение в конструкциях ленточнопильных станков.

В работе [31] отмечается, что значительно снизить массу ведомого шкива и уменьшить его биение можно, если его выполнить в виде кольца, надетого на невращающийся диск, рабочая поверхность которого выполнена в виде аэростатической опоры. Конструкция узла резания такого станка приведена на рисунке 1.15. Выполнение ведомого шкива ленточнопильного станка в виде кольца, надетого на невращающийся диск, рабочая поверхность которого выполнена в виде аэростатической опоры, позволяет максимально снизить его инерционность и биение.

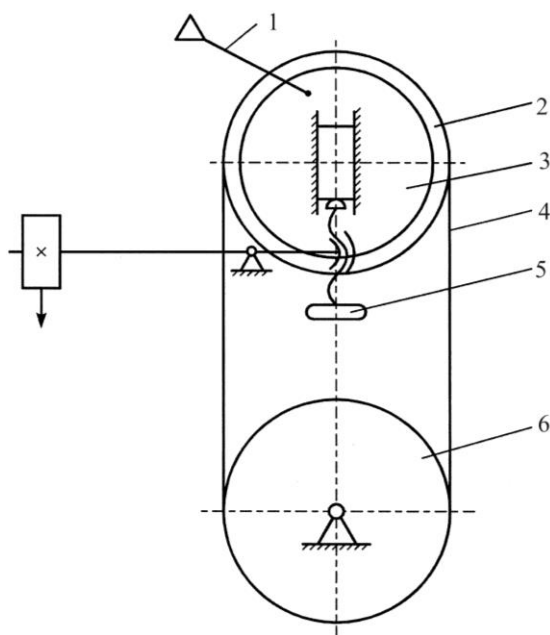


Рисунок 1.15. Конструкция узла резания ленточнопильного станка с новой конструкцией ведомого шкива: 1 – воздухопровод; 2 – ведомый шкив; 3 – диск; 4 – пила; 5 – механизм натяжения пилы; 6 – ведущий шкив

Не смотря на выполнение рекомендаций по повышению долговечности ленточных пил, разрушение пил из-за усталостных явлений происходит довольно часто. С целью безопасной работы все выпускаемые ленточнопильные станки имеют улавливатели ленты при ее обрыве. В месте с тем, устанавливаемые на станках улавливатели не обладают достаточной надежностью из-за большой инерционности их элементов и больших скоростей движения ленточной пилы. Представляет интерес устройство для улавливания ленточной пилы при обрыве к ленточнопильному станку с криволинейными направляющими по а.с. № 1346423 [3]. Принципиальная схема ленточнопильного станка с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим с улавливателем пилы при ее обрыве приведена на рисунке 1.16. Закрепленная на станине станка криволинейная колодка 1, охватывает подвижную направляющую 2 с зазором, превышающим толщину пилы 3. При обрыве пилы подвижная криволинейная направляющая перемещается механизмом натяжения пилы вверх и прижимает пилу к колодке 1. В устройстве отсутствуют передаточные механизмы, поэтому пила зажимается быстро и надежно. Также устройство использовано в ленточнопильном станке ЛД 150-1Э. Общий вид его показан на рисунке 1.17[31].

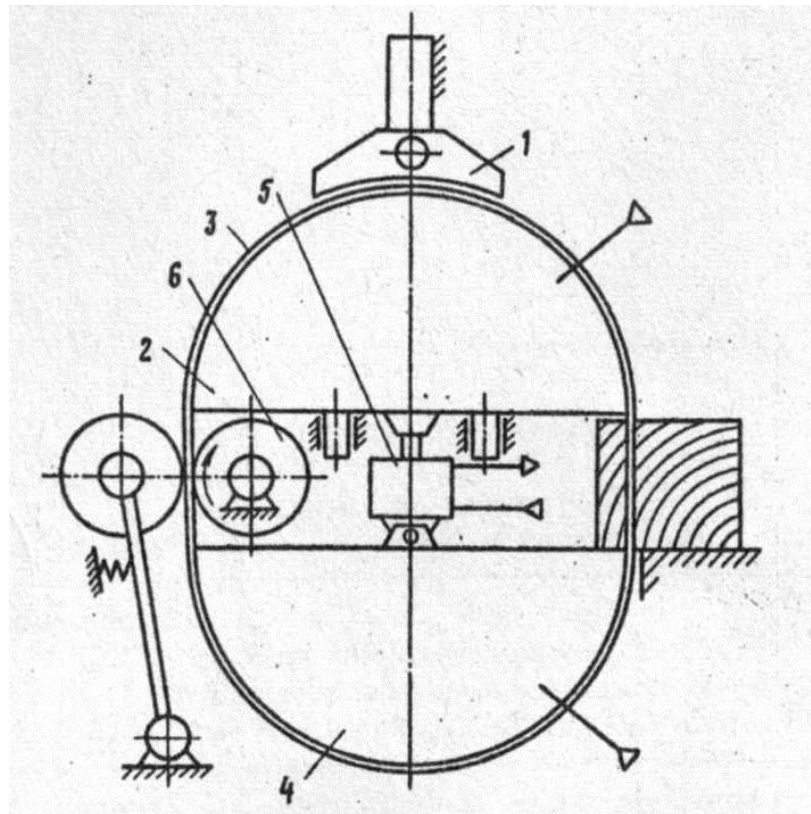


Рисунок 1.16. Схема ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими и улавливателем пилы по а.с. № 1346423 [3]: 1 - колодка; 2 – подвижная направляющая; 3 – ленточная пила; 4 - неподвижная направляющая; 5 – механизм натяжения пилы; 6 – привод пилы

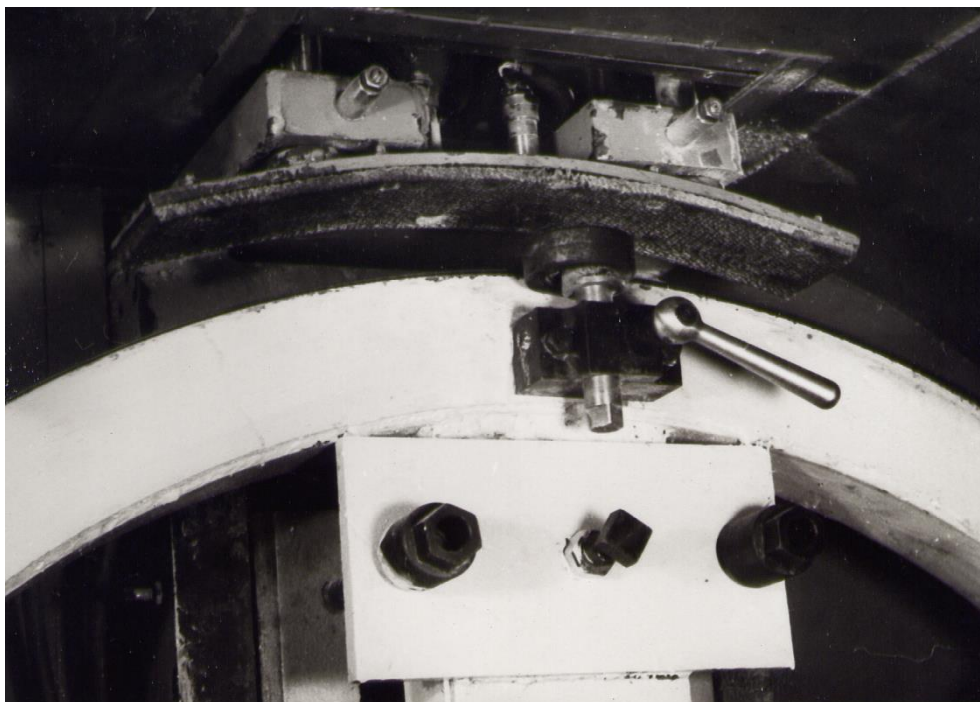


Рисунок 1.17. Общий вид устройства для улавливания ленточной пилы при ее обрыве

1.6. Выводы, цель и задачи исследований

На основании изучения состояния вопроса можно сделать следующие выводы.

1. Ленточнопильные станки являются перспективным видом лесопильного оборудования, так как позволяют получать высокий выход пиломатериалов, обеспечивают хорошее качество пиломатериалов по шероховатости, не требуют тщательной сортировки пиловочника по диаметрам перед распиловкой, могут быть использованы в качестве пильных модулей при создании гибких автоматизированных лесопильных линий.

2. Одним из крупных недостатков ленточнопильных станков является низкая долговечность ленточных пил, что снижает производительность станков, увеличивает затраты на приобретение и подготовку пил, создает опасность обслуживающему станок персоналу.

3. Многочисленными исследованиями установлено, что разрушению ленточных пил предшествует образование трещин в межзубовых впадинах, вызванное усталостью металла при повторно-переменных нагрузках.

4. В процессе эксплуатации в ленточных пилах возникают напряжения от изгиба на шкивах, натяжения, сил сопротивления резанию, вальцевания, сил инерции, температурного перепада по ширине полотна, изменения натяжения пилы, концентраторов напряжений. Наибольшее влияние на прочность оказывают напряжения от изгиба пил на шкивах и от натяжения. Доля этих напряжений составляет 75-85% от суммы всех напряжений.

5. В ряде работ большое внимание уделялось изучению концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил. Был выполнен значительный объем теоретических и экспериментальных исследований. Недостатки теоретических исследований в том, что они не были доведены до расчета конкретных значений коэффициентов концентрации напряжений при изгибе $k_{и}$ и натяжении $k_{н}$ и не была проверена экспериментально справедливость допущений, принятых при теоретических исследованиях. Недостатки экспериментальных исследований заключались в том, что они выполнялись на образцах, существенно отличающихся от реальных ленточных пил по толщине, ширине, профилю межзубовых впадин, наличию смежных межзубовых впадин. Отсюда большой разброс значений коэффициентов $k_{и}$ и $k_{н}$.

6. Отсутствуют исследования по характеру распространения трещины по ширине полотна пилы и рекомендации по эффективному торможению распространения трещины.

7. Исследования проводились при симметричном нагружении образцов,

но для построения схематизированной диаграммы желательно выполнить исследования усталостной прочности ленточных пил и при отнулевом цикле нагружения.

8. В работе [50] был определен предел выносливости стали 9ХФ при симметричном цикле нагружения. В исследованиях использовались образцы, существенно отличающиеся от реальных ленточных пил. Значения σ_{-1} требуют уточнения.

9. Многими исследователями отмечается положительное влияние на долговечность ленточных пил подшлифовки межзубовых впадин. Эта операция улучшает работу пилы, но не решает проблему повышения долговечности пил полностью.

10. Следовало рассмотреть два коэффициента концентрации напряжений: первый теоретический K_T , оцениваемый в статике и учитывающий влияние формы межзубовой впадины, и второй действительный K_d , определяемый в динамике и учитывающий не только форму межзубовой впадины, но и материал пилы. По этим данным следует определить коэффициент чувствительности материала пилы $q = (K_d - 1) / (K_T - 1)$.

11. Большая работа по оценке долговечности ленточных пил проведена профессором Г.Ф. Прокофьевым. Установлено, что для обеспечения требуемой долговечности ленточных пил коэффициент запаса прочности должен быть не менее 2,0. Дана методика расчета эквивалентного коэффициента концентрации напряжений K_3 . Показано, что при определении коэффициента запаса прочности расчет необходимо вести не по пределу выносливости σ_{-1} , а по пределу ограниченной выносливости σ_{-1N} . Приведена математическая модель для расчета коэффициента запаса прочности ленточной пилы с учетом эквивалентного коэффициента концентрации напряжений K_3 , предела прочности материала пилы σ_b , напряжений изгиба $\sigma_{из}$, напряжений от натяжения пилы $\sigma_{н}$, изменения напряжений от натяжения $\Delta\sigma_{н}$, коэффициента шероховатости поверхности межзубовых впадин β . Эта формула позволяет оценить надежность работы пилы и анализировать основные направления повышения долговечности ленточных пил. Для ее успешного использования необходимо уточнить значение коэффициентов концентрации напряжений $k_{из}$ и $k_{н}$, а также получить коэффициент, учитывающий асимметрию цикла.

Цель работы - повышение долговечности ленточных пил для распиловки древесины.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследований.

1. Выполнить экспериментальные исследования коэффициентов

концентрации напряжений в межзубовых впадинах k_n и $k_{нн}$.

2. Изучить характер распространения усталостной трещины по ширине полотна пилы и разработать рекомендации по торможению трещины.

3. Исследовать усталостную прочность ленточных пил при симметричном и отнулевом циклах нагружения и уточнить методику расчета коэффициента запаса прочности ленточных пил с учетом асимметрии цикла.

4. Сделать выводы и дать рекомендации по повышению долговечности ленточных пил.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕЖЗУБОВЫХ ВПАДИНАХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ ПРИ ИЗГИБЕ

2.1 Вступительные замечания

Цели экспериментов – определение следующих параметров: определение пределов выносливости при изгибе ленточной пилы, изготовленной из стали 9ХФ при симметричном и отнулевом циклах нагружения, коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при изгибе, коэффициента чувствительности материала к концентрации напряжений. Пределы выносливости при симметричном σ_{-1} и отнулевом σ_0 необходимо знать для расчета коэффициента запаса прочности пилы. Коэффициент концентрации напряжений при изгибе k_{σ} позволяет совместно с коэффициентом концентрации напряжений при растяжении k_{σ} определить эквивалентный коэффициент концентрации напряжений, который также используется при расчетах коэффициента запаса прочности пилы. Коэффициент чувствительности материала пилы позволяет по теоретическому коэффициенту концентрации напряжений α_{σ} , равному отношению максимального напряжения в зоне концентрации $\sigma_{\max}$ к номинальному $\sigma_{\text{ном}}$, определить эффективный коэффициент концентрации напряжений k_{σ} , равный отношению предела выносливости образца без концентратора напряжений σ_{-1} к пределу выносливости образца с концентратором напряжений σ'_{-1} .

2.2. Экспериментальная установка

Для проведения исследований создана специальная экспериментальная установка, принципиальная схема которой приведена на рисунке 2.1. Во время экспериментов использовались образцы в виде отрезка пилы изготовленной по ГОСТ 6532 – 77 [11] и подготовленной в соответствии с технологическими режимами РИ 04-00 [48]. Образцы пилы имели следующие параметры: длина образцов $l=500$ мм, толщина $S = 1,2$ мм, материал пилы сталь 9ХФ. Часть образцов пил была с зубьями, которые имели следующие размеры: ширина $B = 125$ мм, шаг зубьев $t = 30$ мм, высота зубьев $h = 10$ мм. Часть образцов пил без зубьев имели ширину $b = 115$ мм.

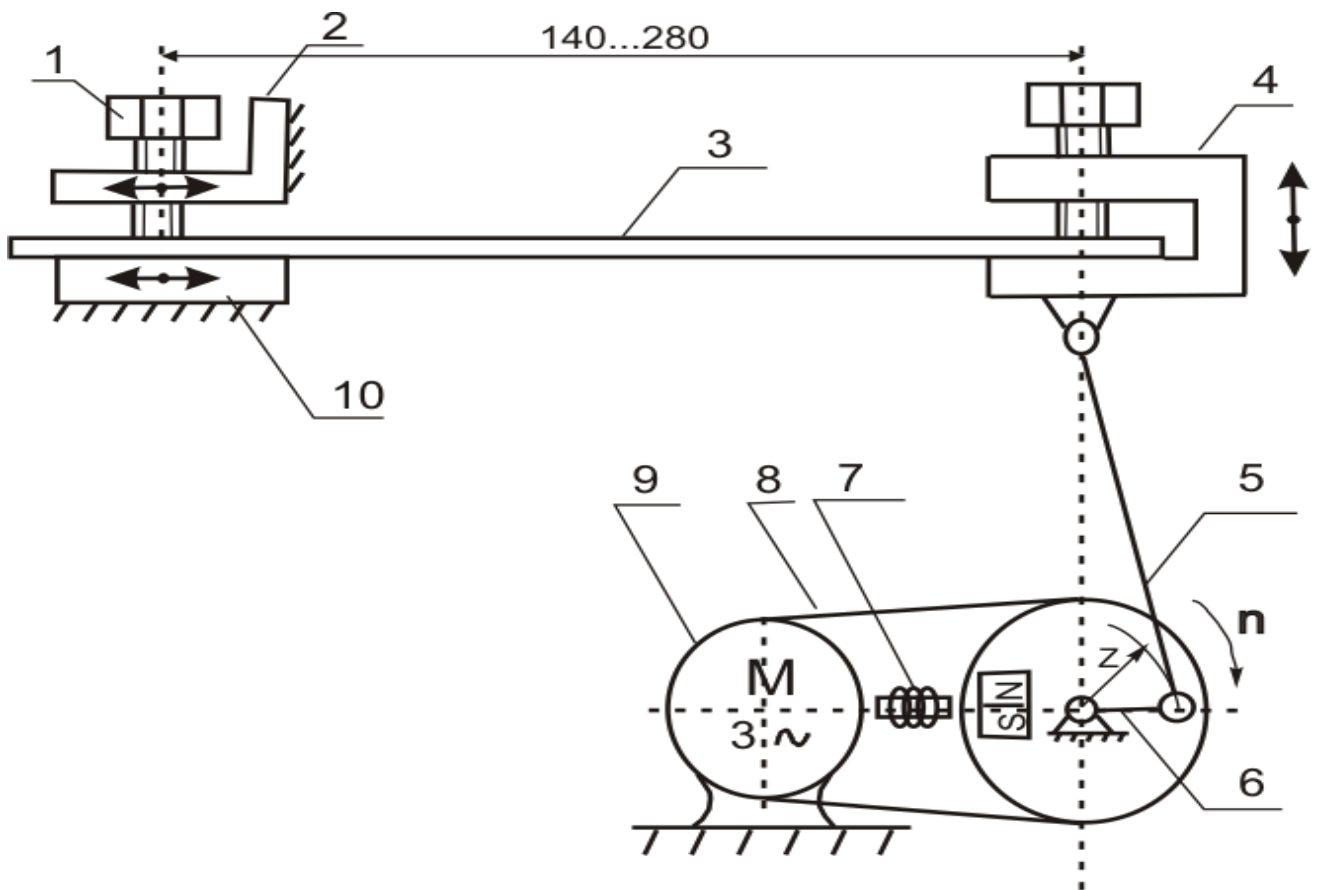


Рисунок 2.1. Принципиальная схема экспериментальной установки:
 1 – зажим; 2 – кронштейн; 3 – образец пилы; 4 – захват; 5 – шатун;
 6 – кривошип; 7 – датчик Холла; 8 – ременная передача;
 9 – электродвигатель; 10 – опора

Каждый образец закреплялся одним концом в захвате 4. На определенном расстоянии в зависимости от задаваемого напряжения изгиба образец пилы зажимался с помощью винта 1, проходящего через резьбовое отверстие в кронштейне 2, и опоры 10, жестко закрепленных на станине установки. Для проведения следующего опыта с получением другого заданного напряжения изгиба образца пилы ослабляли винт 1 и кронштейн 2 с опорой 10 открепляли от станины, затем перемещали на определенное заданное расстояние кронштейн 2 и опору 10 и закрепляли образец в заданном положении с помощью винта 1. Изгиб образца осуществлялся за счет вертикального перемещения его конца с помощью кривошипно-шатунного механизма, включающего шатун 5 и кривошип 6. При повороте кривошипа на 90^0 и 270^0 от вертикального положения образец занимает горизонтальное (нейтральное) положение и изгиб образца отсутствует. При вращении кривошипа происходит перемещение конца образца в вертикальном направлении на величины $\pm z$, что соответствует симметричному циклу.

Для получения отнулевого цикла нагружения образца кронштейн 2 и опору 10 необходимо переместить вверх в вертикальном направлении на величину $z = 50$ мм, равную радиусу кривошипа. Частота вращения кривошипа $n = 500$ об/мин осуществляется от электродвигателя 9 через ременную передачу 8. Число циклов нагружения определяется с помощью датчика Холла 7. Общий вид экспериментальной установки дан на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2. Экспериментальная установка для исследования ленточных пил на усталостную прочность при изгибе.

Напряжения в образце ленточной пилы в месте ее заделки можно определить аналитическим путем.

Дифференциальное уравнение изогнутой оси образца ленточной пилы (рисунок 2.3) имеет вид [15].

$$EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (2.1)$$

где EJ – изгибная жесткость образца пилы, Н·мм²

E – модуль упругости материала пилы при изгибе, МПа;

$J = \frac{bs^3}{12}$ – момент инерции сечения образца пилы, мм⁴;

b – ширина полотна пилы, мм;

s – толщина пилы, мм;

$\frac{d^2 y}{dx^2}$ – вторая производная;

$M = Q \cdot l$ – изгибающий момент, Н·мм

Q – сила, приложенная к образцу ленточной пилы на расстоянии l от заделки, Н

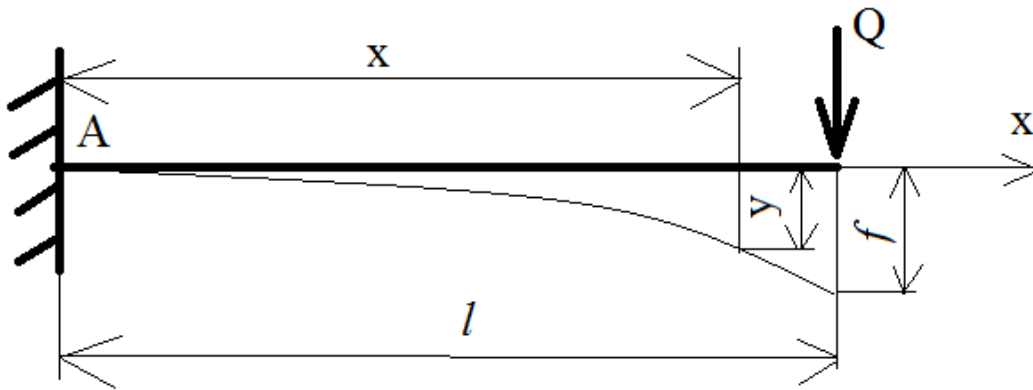


Рисунок 2.3. Схема заделки ленточной пилы и ее деформации при нагружении.

Изгибающий момент в сечении на расстоянии x определяется:

$$M = Q (l - x)$$

Дифференциальное уравнение (1) принимает вид

$$EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = Q (l - x) \quad (2.2)$$

Дважды проинтегрировав уравнение (2.2), получим

$$EJ \frac{dy}{dx} = Q \left(lx - \frac{x^2}{2} \right) + C; \quad (2.3)$$

$$EJ y = Q \left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right) + Cx + D \quad (2.4)$$

Для определения C и D возьмем сечение, в котором заранее знаем величину прогиба y и угла поворота $\frac{dy}{dx}$. Таким сечением является сечение А, для которого при $x = 0$, значения $y = 0$ и $\frac{dy}{dx} = 0$. Из уравнения (2.3) имеем $C = 0$. Из уравнения (2.4) имеем $D = 0$. Тогда

$$y = \frac{Qlx^2}{6EJ} \left(3 - \frac{x}{l} \right)$$

Отсюда при $x = l$, находим

$$Q = \frac{3EJy}{l^3} \quad (2.5)$$

Напряжение в образце ленточной пилы в месте ее заделки определяется

$$\sigma_u = \frac{M}{W_u}$$

где $W_u = \frac{bs^2}{6}$ – осевой момент сопротивления сечения изгибу образца ленточной пилы, мм^3 .

Так как величина максимального прогиба образца $y_{\max} = f$, то учитывая уравнение (2.5), получаем уравнение для определения напряжений в образце

ленточной пилы в месте ее заделки при величине прогиба f , равном радиусу кривошипа экспериментальной установки, т. е. $f = Z$ (см. рисунок 2.1).

$$\sigma_u = \frac{3EsZ}{2l^2} \quad (2.6)$$

При этом величина l будет меняться в пределах 140 -280 мм (см. рисунок 2.1), а величина Z является постоянной и составляет 50 мм.

Более точно фактическая величина действующих напряжений в образце ленточной пилы в месте ее заделки определялась методом тензометрирования. Разница напряжений определенных по формуле (2.6) и методом тензометрирования не превышала 6%.

2.3. Методика исследований

Действующие напряжения изгиба в образцах ленточных пил определялись методом тензометрирования. В качестве измерительных датчиков применялись проволочные тензорезисторы ПКБ -10-100

Градуировку датчиков производили на калибровочной балке равного сечения с использованием измерительного комплекса Zet – 210, общий вид которого показан на рисунке 2.4. Программное обеспечение для измерительного комплекса работает в операционной среде Windows XP. Для увеличения уровня сигнала датчиков используется дифференциальный усилитель Zet – 410.



Рисунок 2.4 - Измерительный комплекс для градуировки тензодатчиков

Схема нагружения калибровочной балки представлена на рисунке 2.5. Тензодатчики, наклеенные вдоль балки в пределах расстояния между опорами испытывают деформацию чистого изгиба. Каждой величине прогиба балки соответствует определенный уровень сигнала датчика, выраженный в милливольтках.

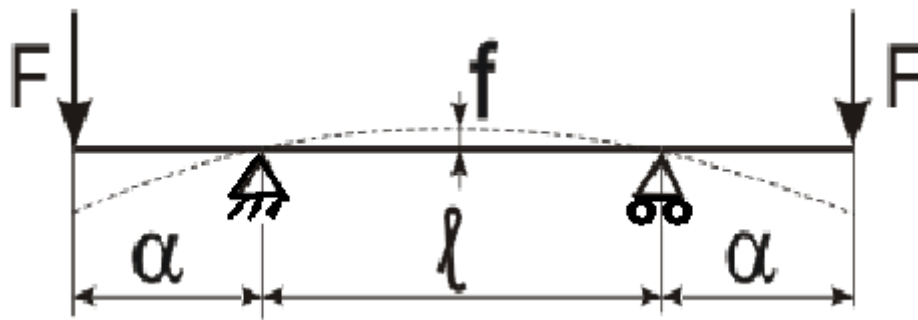


Рисунок 2.5. Схема нагружения калибровочной балки.

Напряжения изгиба на калибровочной балке, испытывающей в пролете между опорами чистый изгиб определяли следующим образом. Балка в пролете между опорами испытывает постоянный момент $F \cdot a$. Напряжение на поверхности балки между опорами определяются по уравнению, имеющему вид :

$$\sigma_u = \frac{M}{W} = \frac{F \cdot a}{W} \quad (2.7)$$

Где F – сила приложенная на концах консолей, Н;

a – длина консолей, мм;

$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$ – осевой момент сопротивления, мм³;

b - ширина балки, мм;

h – толщина балки, $h = 6$ мм.

В работе [5] для такой балки графоаналитическим методом получена формула прогиба f балки. Она имеет следующий вид:

$$f = \frac{F \cdot a \cdot l^2}{8EJ} \quad (2.8)$$

где l – расстояние между опорами в мм, $l = 200$ мм

$J = \frac{b \cdot h^3}{12}$ - осевой момент сопротивления балки, мм⁴

E – модуль упругости для стали, $E=2.1 \cdot 10^5$ МПа

Выразив из уравнения (2.8) $F = \frac{8EJf}{al^2}$ и подставив в уравнение (2.7) имеем зависимость напряжений изгиба от величины прогиба балки f на середине пролета:

$$\sigma_u = \frac{4Eh}{l^2} f ;$$

Величина прогиба f измерялась индикатором часового типа.

По результатам градуировки тензодатчиков построен график, представленный на рисунке 2.6.

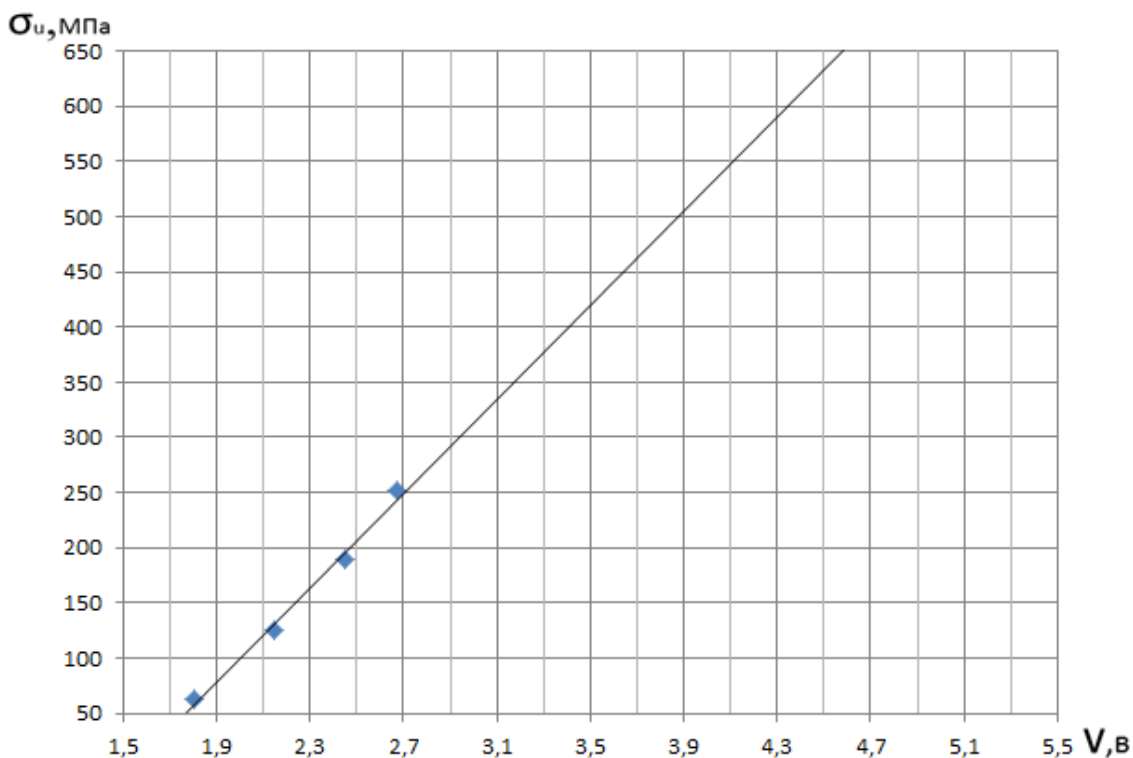


Рисунок 2.6. График градуировки тензодатчиков

Для определения действующих напряжений при испытаниях была применена четверть-мостовая схема с использованием подстроечного резистора [24] (рисунок 2.7). Наклейка датчиков производилась с помощью бакелито-фенольного клея БФ-2 в непосредственной близости от межзубовой впадины и в середине полотна ленточной пилы (рисунок 2.8). Отношение значений сигналов датчиков, расположенных в непосредственной близости от впадины и в середине полотна ленточной пилы дает возможность определить

теоретический коэффициент концентрации напряжений α_σ в межзубовых впадинах ленточных пил:

$$\alpha_\sigma = \frac{V_{\text{вп}}}{V} = \frac{3,8}{3} = 1,27$$

где $V_{\text{вп}}$ – значение сигнала датчика в милливольтках в непосредственной близости от межзубовой впадины;

V – значение сигнала датчика в милливольтках в середине полотна ленточной пилы.

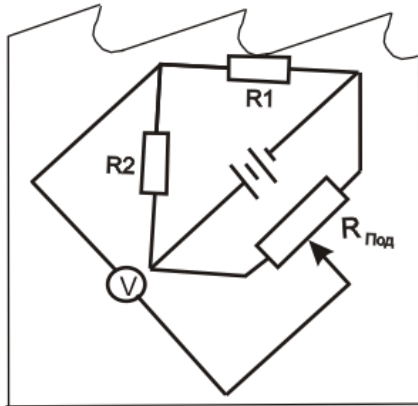


Рисунок 2.7. Измерительная четверть-мостовая схема с подстроечным резистором: R1- тензорезистор, испытывающий деформацию изгиба; R2 – тензорезистор для температурной компенсации, R_{под} – подстроечный тензорезистор.

Согласно ГОСТ 25.502 – 79 [13] для построения семейства кривых усталости испытания целесообразно проводить на четырех - шести уровнях напряжения.

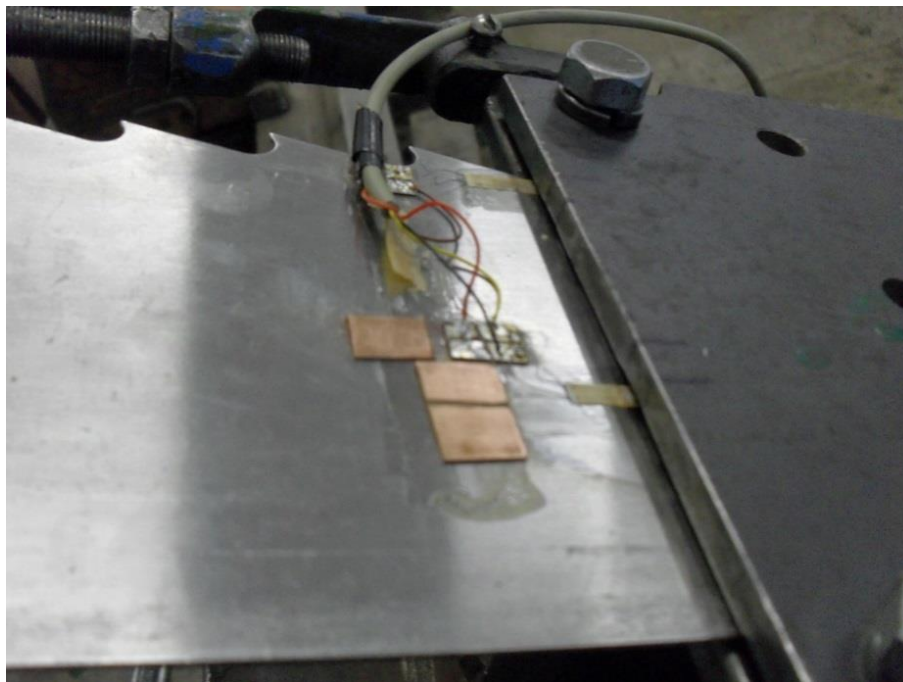


Рисунок 2.8. Измерительная четверть-мостовая схема для определения напряжений, действующих в непосредственной близости от впадины и в середине полотна ленточной пилы при изгибе.

Объем серии образцов n вычисляют по формуле [13]:

$$n \geq 1,5 + \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2}{2\Delta_\sigma^2}$$

где $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ - квантиль нормированного нормального распределения, принимаем $Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$ [13];

Δ_σ = предельная относительная ошибка при доверительной вероятности $P=0,95$, принимаем $\Delta_\sigma = 0,5$ [13]

$$n \geq 1,5 + \frac{(1,96)^2}{2 \cdot (0,5)^2} \geq 9,2$$

Таким образом для построения семейства кривых усталости и определения предела выносливости, соответствующих вероятности разрушения 50 % испытывали 10 одинаковых образцов на каждом из четырех уровней напряжения.

База испытаний для определения предела выносливости принималась равной 10^7 циклов нагружения [13].

Испытания образцов ленточных пил на усталостную прочность при изгибе проводились на четырех уровнях напряжений при следующих значениях напряжений:

- для симметричного цикла нагружения - 300 МПа, 350 МПа, 400 МПа, 450 МПа;
- для отнулевого цикла нагружения – 500 МПа, 550 МПа, 600 МПа, 650 МПа.

Указанные значения напряжений изгиба были выбраны с учетом результатов разведочных опытов и исходя из анализа литературных источников [27, 54].

Количество циклов нагружения до излома образца определялось с помощью датчика Холла [23]. Программа работы датчика Холла приведена в приложении 2.

2.4 Результаты исследований

Испытания проводились для типов образцов, имеющих следующие параметры:

- 1 - ленточная пила 3405-0032 ГОСТ 6532-77 сталь 9ХФ (толщина $S = 1,2$ мм, шаг зубьев $t = 30$ мм) – с зубьями.
- 2 – полотно ленточной пилы (сталь 9ХФ, ширина $h = 115$ мм, толщина $S = 1,2$ мм) – без зубьев.

Результаты испытаний образцов ленточных пил на усталостную прочность при изгибе при симметричном и отнулевом циклах нагружения приведены соответственно в таблице 2.1 и в таблице 2.2.

Таблица 2.1 - Количество циклов нагружения до излома образца при симметричном цикле нагружения при изгибе

Число опытов	Предельные значения напряжений, МПа							
	450		400		350		300	
	Ленточные пилы с насеченными зубьями и без них (+/-)							
	+	-	+	-	+	-	+	-
1	137600	137882	310 459	350857	436482	1 074 238	1 621 036	4 650 323
2	149466	167456	331784	377 986	489346	1 325 626	2 014 982	> 10 ⁷
3	159763	187340	369806	408903	539572	1 567 894	2 234 517	> 10 ⁷
4	168498	198786	369 933	465567	585638	2 215 037	2 602 781	> 10 ⁷
5	178998	221765	401573	521983	687450	2 711 786	3 223 459	> 10 ⁷
6	182750	245352	429876	569684	739654	> 10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁷
7	205781	250455	467345	593402	850349	> 10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁷
8	231456	278324	486760	622987	864435	> 10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁷
9	287654	326457	489453	647121	972675	> 10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁷
10	318200	378765	523221	687234	1 029 349	> 10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁷
Ncp	202016,6	239258,2	418 021	524 572	719495	-	-	-
S	60031,6	73655,8	72558,1	118540,8	206297,5	-	-	-

Таблица 2.2 - Количество циклов нагружения до излома образца при отнулевом цикле нагружения при изгибе

Число опытов	Предельные значения напряжений, МПа							
	650		600		550		500	
	Ленточные пилы с насеченными зубьями и без них (+/-)							
	+	-	+	-	+	-	+	-
1	313937	388346	411345	459075	579641	1 163 639	1 858 943	4 752 023
2	344986	397453	434760	498345	668450	1 556 322	2 748 094	5 687 938
3	367543	418923	474832	541908	738047	1 987 978	3 436 870	> 10 ⁷
4	380465	437349	521987	542677	791239	2 474 057	3 784 122	> 10 ⁷
5	385 234	456828	589343	587453	877385	2 906 971	3 911 367	> 10 ⁷
6	389 430	474832	602346	593421	940123	2 968 834	4 137 204	> 10 ⁷
7	400742	486376	631576	644197	982091	3 217 312	> 10 ⁷	> 10 ⁷
8	415098	492678	652345	644982	984432	> 10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁷
9	430962	503453	677202	697641	1 102 973	> 10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁷
10	451357	515231	689473	762479	1 151 298	> 10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁷
Ncp	396201,9	457146,9	568520,9	597217,8	851 598	-	-	-
S	32569,6	44842,5	101412,5	92428,6	169707,5			

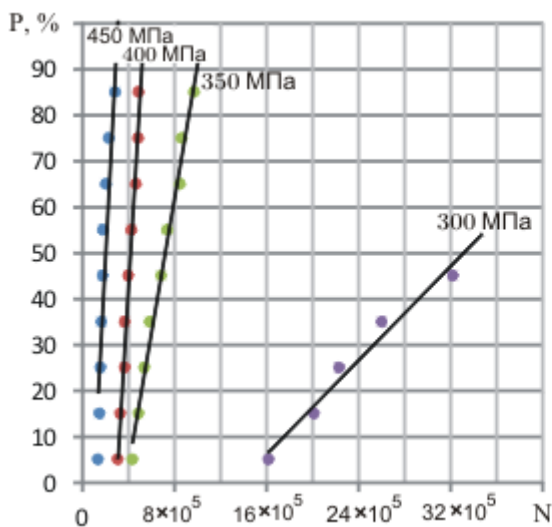
По результатам испытаний построены кривые распределения долговечности образцов ленточных пил (рисунок 2.9 и рисунок 2.10).

По оси абсцисс откладываем значения долговечности образцов N , а по оси ординат значения вероятности разрушения (P , %) образцов (накопленные частоты), вычисляемые по формуле:

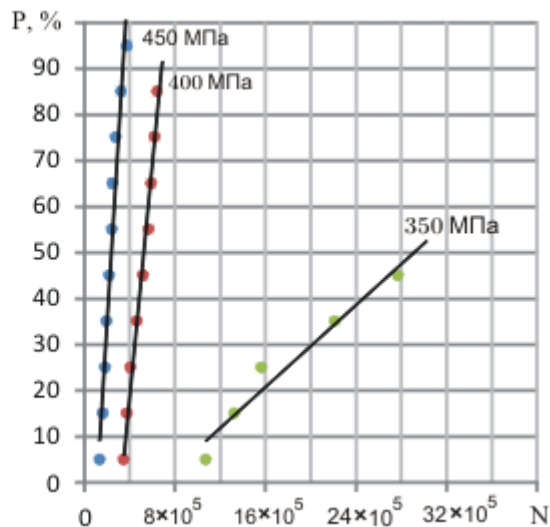
$$P = \frac{i - 0,5}{n} 100 \%$$

Где i – номер образца в вариационном ряду (табл. 1);

n – число испытанных образцов ($n=10$).

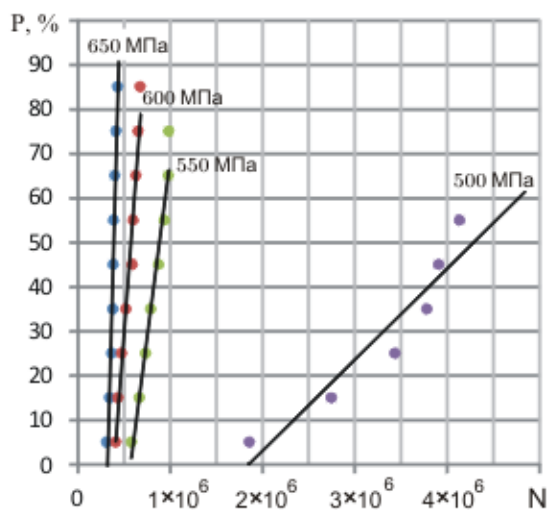


а)

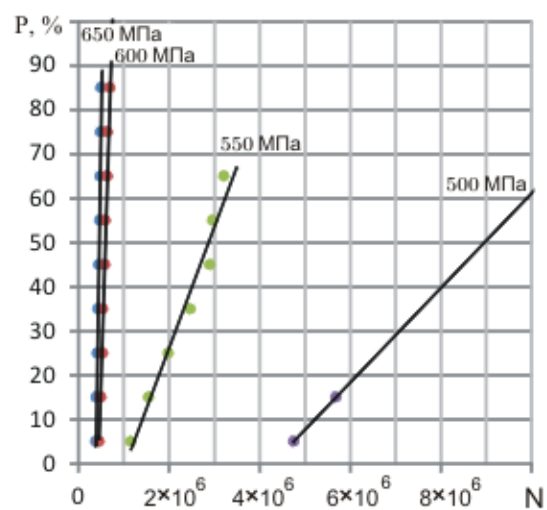


б)

Рисунок 2.9. - Кривые распределения долговечности образцов ленточных пил при симметричном цикле нагружения: а) с зубьями; б) без зубьев



а)



б)

Рисунок 2.10. - Кривые распределения долговечности образцов ленточных пил при отнулевом цикле нагружения: а) с зубьями; б) без зубьев

По результатам испытаний построены кривые усталостной прочности образцов ленточных пил, соответствующие 50 % вероятности разрушения (ГОСТ 25.502 – 79): а)-при симметричном цикле нагружения (рисунок 2.11), б) - при отнулевом цикле нагружения (рисунок 2.12).

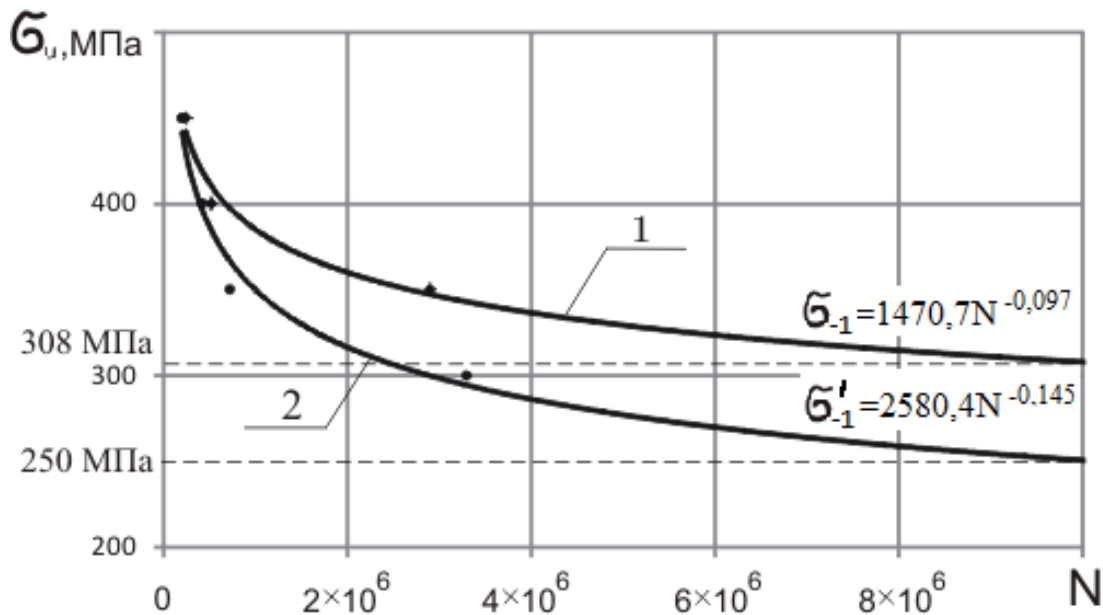


Рисунок 2.11 - Кривые усталостной прочности при изгибе образцов ленточных пил при симметричном цикле нагружения соответствующие 50 % вероятности разрушения: 1 – для полотен ленточных пил без зубьев, 2 – для ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532-77 сталь 9ХФ.

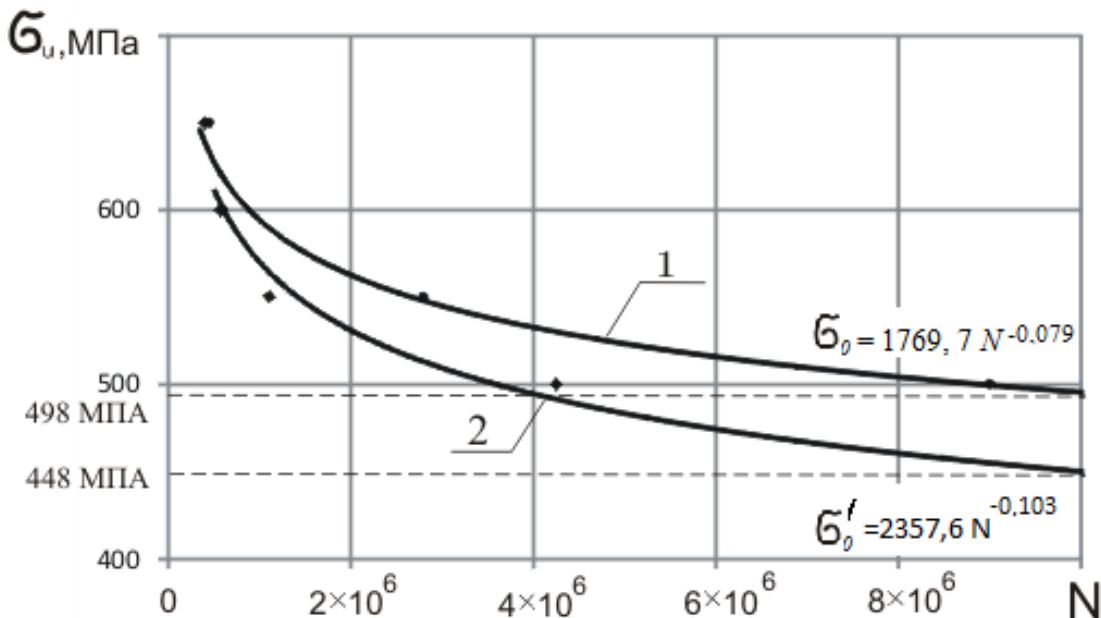


Рисунок 2.12 - Кривые усталостной прочности при изгибе образцов ленточных пил при отнулевом цикле нагружения соответствующие 50 % вероятности разрушения: 1 – для полотен ленточных пил без зубьев, 2 – для ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532-77 сталь 9ХФ.

Кривые усталостной прочности в обоих случаях не имеют горизонтального участка. Это свойство характерно для кривых усталости деталей из высокопрочных сталей [21,22]. Представленные кривые усталостной прочности получены в результате аппроксимации зависимости к степенной функции с помощью программы Microsoft Excel 2010. Ординаты пересечения кривой усталости и абсциссы $N=10^7$ циклов нагружения дают значения предела выносливости.

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований определены следующие пределы выносливости при изгибе образцов ленточных пил:

$\sigma_{-1} = 308$ МПа - для полотен ленточных пил без зубьев (сталь 9ХФ, толщина $S=1,2$ мм) при симметричном цикле нагружения;

$\sigma'_{-1} = 250$ МПа – для ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532-77 сталь 9ХФ (толщина $S=1,2$ мм, шаг зубьев $t=30$ мм) при симметричном цикле нагружения;

$\sigma_0 = 498$ МПа - для полотен ленточных пил без зубьев (сталь 9ХФ, толщина $S=1,2$ мм) при отнулевом цикле нагружения;

$\sigma'_{-1} = 448$ МПа - для ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532-77 сталь 9ХФ (толщина $S=1,2$ мм, шаг зубьев $t=30$ мм) при отнулевом цикле нагружения.

Полученные значения пределов выносливости ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532-77 (сталь 9ХФ) и полотен ленточных без зубьев (Сталь 9ХФ) при симметричном цикле нагружения меньше пределов выносливости для стали 9ХФ, полученных другими исследователями [50,57]. Это объясняется влиянием масштабного фактора, поскольку испытания проводились непосредственно с ленточными пилами, а не с уменьшенными лабораторными образцами.

Действительный коэффициент концентрации напряжений при симметричном изгибе ленточной пилы определяется:

$$k_{\text{и}} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma'_{-1}} = \frac{308}{250} = 1,23$$

Для определения эквивалентного коэффициента концентрации напряжений k_{Σ} необходимо также определить напряжения в зоне межзубовых впадин от натяжения ленточных пил.

Ряд авторов приводят различные коэффициенты концентрации напряжений, так как условия, при которых они определены, и методы определения различны. Например, в работе [50] рассмотрено определение коэффициента

концентрации напряжений у зубьев пил со следующими параметрами: ширина пилы $b = 85$ мм; толщина пилы $s = 1$ мм; шаг зубьев $t = 40$ мм; высота зубьев $h_z = 10$ мм; радиус межзубовых впадин $r = 4$ мм. В результате исследований получены коэффициенты концентрации напряжений при растяжении $k_n = 1,58$ и изгибе $k_n = 1,21$. В работе [26, 27] в результате усталостных испытаний определен коэффициент концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе $k_n = 1,24$ для следующих параметров зубьев пил: $r = 4$ мм; $t = 50$ мм; $h_z = 10$ мм.

Значения теоретического $\alpha_\sigma = 1,27$ и действительного $k_n = 1,23$ коэффициентов концентрации напряжений, полученные в данной работе, отличаются. Это обусловлено чувствительностью металла к концентрации напряжений и характеризуется соответствующим коэффициентом чувствительности [15]:

$$q = \frac{k_n - 1}{\alpha_\sigma - 1}$$

Подставив найденные значения k_n и α_σ в эту формулу, получим $q = 0,85$. Данный результат подтверждает высокую чувствительность стали 9ХФ к концентрации напряжений.

За рубежом ленточные дереворежущие пилы производят из холоднокатанной, закаленной и отпущенной стали, так же как и отечественные пилы из стали 9ХФ. По своему химическому составу импортные пилы схожи с отечественными пилами, хотя легируются дополнительными элементами для улучшения их эксплуатационных свойств. Высокопрочные легированные стали также имеют высокую чувствительность к концентрации напряжений, поэтому выводы, сделанные в работе, справедливы и в отношении импортных ленточных пил.

2.5 Выводы:

1. Результаты, выполненных испытаний подтверждают, что разрушение ленточных пил носит усталостный характер.
2. Теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений при симметричном изгибе в межзубовых впадинах ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532-77 сталь 9ХФ составляют соответственно: $\alpha_\sigma = 1,27$, $k_n = 1,23$. Также определен коэффициент чувствительности материала ленточных пил для тех же условий: $q = 0,85$.

3. Для повышения долговечности ленточных пил необходимы меры конструктивного и технологического характера:
 - изменение профиля впадин
 - торможение развития усталостной трещины, например, термопластическим способом [41].
4. После проведения исследований по определению коэффициентов концентрации напряжений при растяжении пилы следует определить эквивалентный коэффициент концентрации напряжений, который можно использовать при расчете ленточных пил на прочность.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕЖЗУБОВЫХ ВПАДИНАХ ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ ПРИ ЕЕ НАТЯЖЕНИИ

3.1. Вступительные замечания.

Ленточные пилы для повышения жесткости и устойчивости, а следовательно и точности пиления натягиваются с помощью механизма натяжения. В соответствии с технологическими режимами РИ 04-00 [48] натяжение делительных ленточных пил рекомендуется создавать таким, чтобы напряжения в пилах от натяжения не превышала 100 МПа. В отечественных ленточнопильных станках в основном используется рычажно-грузовой механизм натяжения. Он обладает простотой конструкции, но не является идеальным. Общий вид рычажно-грузового механизма натяжения ленточных пил показан на рисунке 3.1. Эффективность натяжного устройства можно характеризовать двумя показателями – временем реакции на изменение натяжения пилы и временем восстановления первоначального натяжения. В общих случаях время должно быть минимальным. Этими свойствами рычажно-грузовой механизм не обладает, поэтому необходимо вести работы по его совершенствованию.

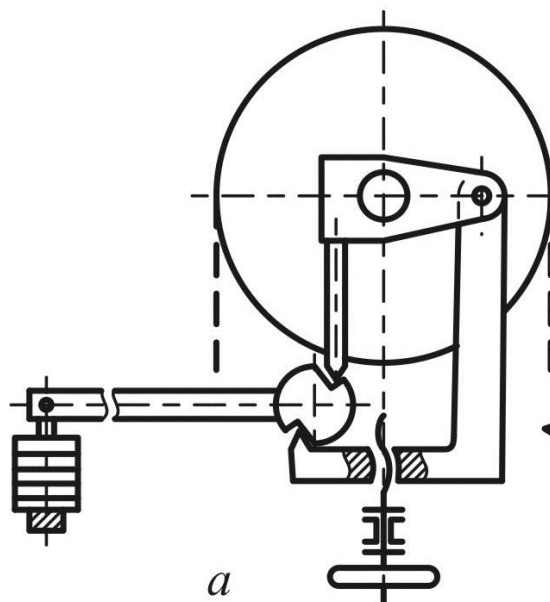


Рисунок 3.1 Конструкция рычажно-грузового механизма натяжения ленточных пил.

Действительный коэффициент концентрации напряжений от натяжения пил k_n , который необходимо использовать при расчетах ленточных пил на прочность, определяем по формуле $k_n = 1 + q (\alpha_\sigma - 1)$. В этой формуле q – это

коэффициент чувствительности материала ленточной пилы, определенный в разделе 2.

3.2 Экспериментальная установка

При определении коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах использована экспериментальная установка основу которой составляла универсальная электромеханическая испытательная машина с компьютерным управлением TIME WDW200E. Общий вид установки приведен на рисунке 3.2. Технические характеристики испытательной машины, взятой в качестве экспериментальной установки, даны в таб. 3.1. Образец ленточной пилы длиной 320 мм закрепляли в захватах 3 (рисунок 3.2). Верхний захват крепился на траверсе 2 (рисунок 3.2). Установка образца пилы в захватах показана на рисунке 3.3. Путем перемещения траверсы с верхним захватом производится натяжение образца пилы.

3.3 Методика исследований

На середине свободой длины образца (на середине расстояния между захватами) с помощью бакелито-фенольного клея БФ-2 приклеивали 5 проволочных тензорезисторов марки ПКБ-20-200. Один из них размещали в непосредственной близости от межзубовой впадины, остальные были закреплены на равных расстояниях по ширине образца пилы, как показано на рисунке 3.4. Электрическая измерительная схема для определения напряжений по ширине полотна образца пилы при его растяжении дана на рисунке 3.5.

Натяжение пилы изменяли от 5,0 до 15 кН через 2,5 кН, что соответствовало напряжению от 36 до 109 МПа. Величина напряжений характеризовалась величиной электрического напряжения в милливольтках. Было проведено 5 опытов, в каждом опыте было выполнено по 10 наблюдений.

3.4. Результаты исследований

Результаты наблюдений в каждом из 5 опытов приведены в таблице 3.2. В каждом опыте определяли отношение средних значений показаний тензометра, приклеенного в непосредственной близости от межзубовой впадины к среднему значению показаний остальных резисторов. При силах натяжения 5,0; 7,5; 10; 12,5; 15 кН получены следующие значения теоретического коэффициента концентрации напряжений в межзубовой впадине пилы от натяжения: соответственно 1,64, 1,60; 1,61; 1,62; 1,61. С достаточной точностью можно принять среднее значение теоретического коэффициента концентрации напряжений в межзубовой впадине пилы от натяжения $\alpha_H = 1,62$.

Во второй главе данной работы определен коэффициент чувствительности материала пилы $q = 0,85$. Эффективный коэффициент концентрации напряжений в междубовой впадине при натяжении пилы может быть определен по формуле [15]:

$$k_n = 1 + q(\alpha_n - 1) = 1 + 0,85(1,62 - 1) = 1,53$$



Рисунок 3.2. Экспериментальная универсальная испытательная машина WDW – 200E: 1 – станина, 2 – траверса, 3 - захваты

Таблица 3.1

Технические характеристики испытательной машины WDW-200E

Максимальная нагрузка	200 кН
Жесткость силовой рамы	600 кН
Точность нагрузки	$\pm 1\%$ ($\pm 0,5\%$ по заказу)
Диапазон нагрузки	0,4-100%
Диапазон деформации	2-100%
Точность деформации	$\pm 1\%$ ($\pm 0,5\%$ по заказу)
Разрешение перемещения	0,001 мм
Точность перемещения	$\pm 1\%$
Диапазон скоростей нагружения	0,005-500 мм/мин
Максимальное перемещение траверсы при растяжении	600 мм
Максимальное перемещение траверсы при сжатии	600 мм
Ширина рабочего пространства для испытаний	600 мм
Габаритные размеры	1110x785x2525 мм
Вес силовой рамы	2000 кг
Мощность	3 кВт
Параметры электропитания	380В $\pm 10\%$, 50 Гц, 3 фазы
Система привода	MINAS A4 Panasonic Co. Ltd (Япония), цифровая система измерений и управления



Рисунок 3.3. Установка образца ленточной пилы в захватах

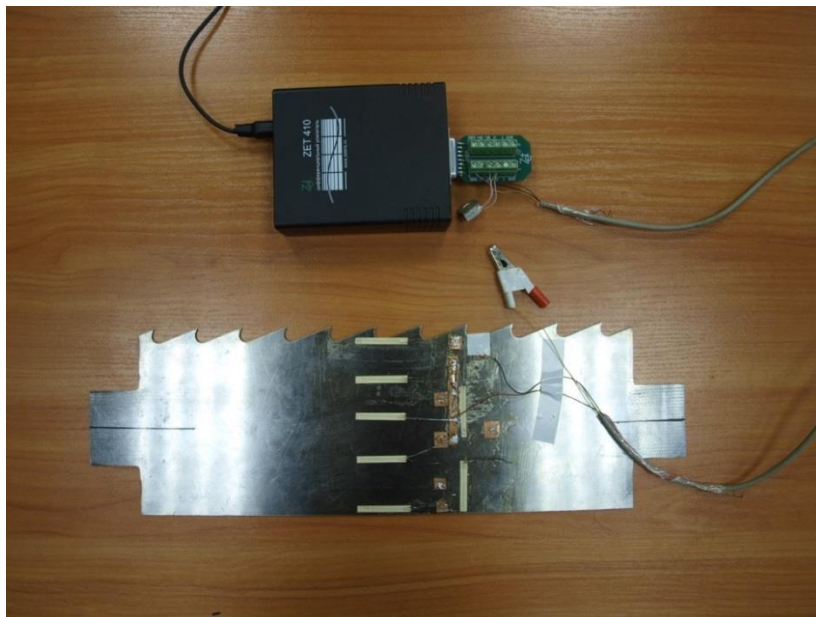


Рисунок 3.4. Размещение тензорезисторов, наклеенных на образец ленточной пилы

Таблица 3.2. Показания 5 тензодатчиков в милливольтках при растяжении образца ленточной пилы

Опыт № набл.	5 кН					7,5 кН					10 кН					12,5 кН					15 кН				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5	1	0,6	0,6	0,6	0,6	1,2	0,9	0,8	0,9	0,9	1,6	1	1	1,1	1,1	1,9	1,2	1,2	1,2	1,4
2	0,7	0,5	0,4	0,5	0,5	1	0,7	0,6	0,7	0,6	1,3	0,9	0,9	0,9	0,9	1,6	1	1	1	1,1	2	1,3	1,3	1,2	1,4
3	0,8	0,5	0,5	0,4	0,4	1,1	0,7	0,7	0,6	0,6	1,4	0,8	0,9	0,8	0,8	1,7	1,1	1,1	1	1	2	1,4	1,3	1,2	1,2
4	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	1,1	0,6	0,7	0,6	0,7	1,4	0,8	0,8	0,8	0,8	1,7	1,1	1	0,9	0,9	1,9	1,2	1,2	1,1	1,1
5	0,7	0,4	0,4	0,5	0,4	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	1,3	0,7	0,8	0,8	0,8	1,6	0,9	1	1	1	1,9	1,1	1,1	1,3	1,3
6	0,7	0,5	0,3	0,5	0,4	0,9	0,6	0,6	0,7	0,7	1,4	0,8	0,8	0,9	0,8	1,7	0,9	1	1	1	2	1,2	1,2	1,3	1,2
7	0,8	0,4	0,4	0,3	0,5	1,1	0,6	0,7	0,6	0,7	1,4	0,8	0,8	0,9	0,9	1,7	1,1	1,1	1	1,1	2	1,2	1,2	1,2	1,2
8	0,8	0,5	0,4	0,4	0,3	0,9	0,5	0,6	0,6	0,5	1,4	0,9	0,9	0,8	0,9	1,6	1,1	0,9	1,1	1	2	1,3	1,3	1,3	1,2
9	0,8	0,4	0,4	0,5	0,5	1	0,6	0,6	0,6	0,6	1,4	0,9	0,8	0,9	0,8	1,7	1	1,1	1	1,1	2	1,2	1,2	1,2	1,2
10	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,6	0,5	0,6	0,6	1,3	0,9	0,7	0,8	0,8	1,6	1	1	1	1	1,9	1,2	1,1	1,2	1,1
V _{ср}	0,74	0,46	0,43	0,46	0,45	0,99	0,61	0,62	0,62	0,62	1,35	0,84	0,82	0,85	0,84	1,65	1,02	1,02	1,01	1,03	1,96	1,23	1,21	1,22	1,23

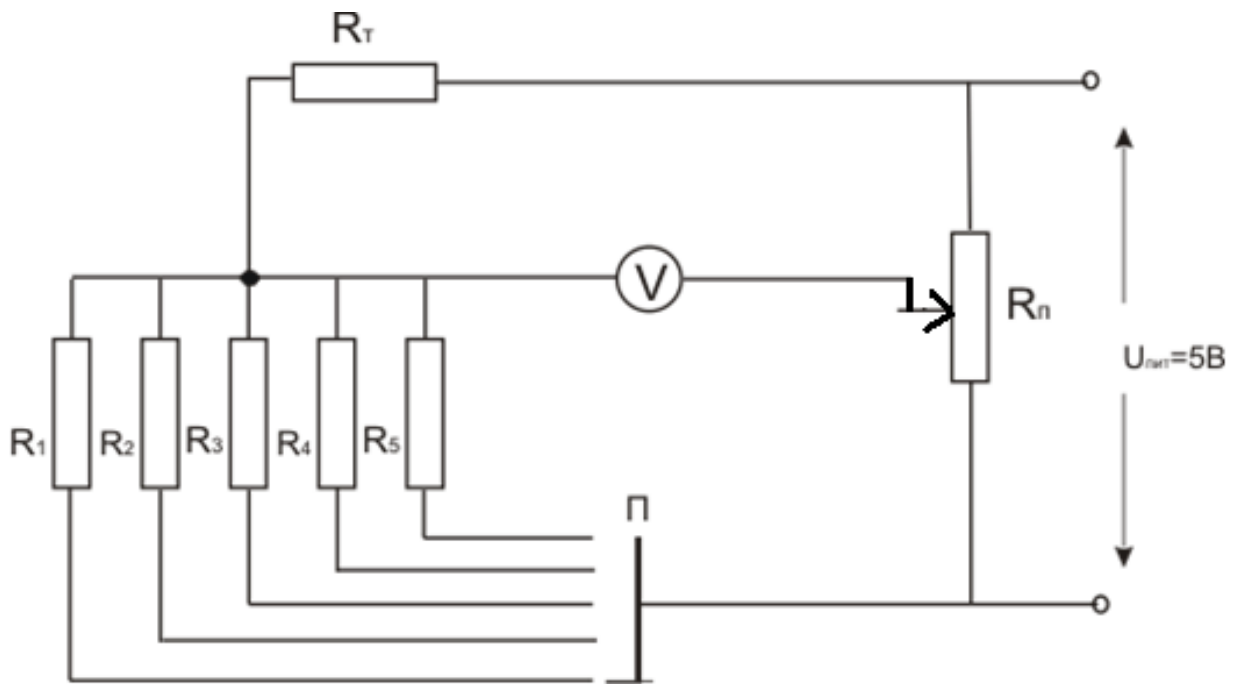


Рисунок 3.5. Электрическая измерительная схема для определения напряжений в образце ленточной пилы при его натяжении: R_T – температурный резистор; R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 – резисторы для измерения напряжений в образце пилы; R_n – подстроечный резистор; Π – переключатель резисторов.

3.5. Выводы

1. Определены теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при ее натяжении, выпускаемой по ГОСТ 6532-77. Они составляют соответственно: $\alpha_n = 1,62$; $k_n = 1,53$.
2. Полученные коэффициенты концентрации $k_{и}$ и k_n напряжений могут быть использованы при определении эквивалентного коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил и определении коэффициента запаса прочности.
3. Рассмотренная методика может быть использована при определении коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах и для пил с другими геометрическими параметрами.

4. ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

4.1 Вступительные замечания

Межзубовые впадины ленточных пил являются концентраторами напряжений. Для определения эквивалентного коэффициента концентрации напряжений необходимо знать коэффициенты концентрации напряжений при изгибе k_n и натяжении k_n пилы. Ленточные пилы испытывают изгиб при огибании пильных шкивов. В ленточнопильных станках выпускаемых в РФ для повышения жесткости ленточных пил используются щелевые направляющие установленные над и под распиливаемым материалом. В последнее время имеется тенденция использовать отжимные направляющие, так как они в большей степени повышают жесткость пил и частично устойчивость. Отжимные направляющие могут быть двух типов: в виде свободно вращающихся роликов или в виде пластин. Роликовые направляющие использованы в многопильном ленточнопильном станке 6ПЛС, но не нашли широкого применения по следующим причинам: дополнительные изгибы на роликах снижают долговечность пилы, износ рабочих поверхностей роликов, расположенных в непосредственной близости от зоны резания снижает точность движения пилы и точность пиления, большие частоты вращения роликов снижают работоспособность подшипников.

Плоские отжимные направляющие лишены этих недостатков. Для устранения износа их рабочие поверхности проф. Прокофьев Г.Ф. предложил выполнить в виде аэроэластических опор [30]. Такие направляющие повышают значительно жесткость пил и частично устойчивость. Вместе с тем они дают дополнительный изгиб пилы и снижают ее долговечность, поэтому отжим пилы не должен превышать 10 мм, при большей величине отжима снижение долговечности пил необходимо учитывать.

4.2 Разработка математической модели определения коэффициента запаса прочности ленточных пил

Прочность пилы считается обеспеченной, если коэффициент запаса прочности n не менее требуемого [5], то есть должно быть выполнено условие $n \geq [n]$. Обычно $[n] = 1,4 \dots 3,0$. Величина требуемого коэффициента запаса прочности любой детали зависит от ее назначения, действующих нагрузок, характеристик материала, наличия концентраторов напряжений, технологий

изготовления и подготовки к работе. В работе [30] с учетом перечисленных условий рекомендовано принимать $[n] = 2$. При расчете ленточных пил на прочность в работе [30] использована схематизированная диаграмма предельных амплитуд. При этом на оси абсцисс откладывалась величина предела прочности σ_b , а на оси ординат - величина предела выносливости при симметричном цикле нагружения σ_{-1} . Прямая линия, соединяющая эти точки, соответствует усталостному разрушению пилы. Кроме этого принципиально возможно возникновение в пиле пластических деформаций, если напряжения превысят предел текучести σ_T . На диаграмме дополнительно откладываются значения предела текучести σ_T на осях абсцисс и ординат. Прямая линия, соединяющая эти точки, соответствует пластическим деформациям.

В современных прочностных расчетах широко применяется диаграмма Серенсена – Кинасошвили. На кривой, соответствующей усталостному разрушению, дополнительно вводится точка, соответствующая отнулевому циклу нагружения. Достоинство применения такой диаграммы – более высокая точность расчетов. В данной работе принят этот вид схематизированной диаграммы (рисунок 4.1). Участок усталостной кривой заменен прямой линией, проходящей через точки А и С, соответствующие предельным симметричному и отнулевому циклам. Для пластичных материалов, к которым относится и материал ленточных пил, опасно не только усталостное разрушение, но и возникновение остаточных деформаций при достижении предела текучести. На диаграмме (рисунок 4.1) показана область, ограниченная линией ML, внутри которой все точки безопасны от остаточных деформаций.

Уравнение прямой AC, проходящей через точки с координатами А (0; σ_{-1}) и С ($\sigma_o/2$; $\sigma_o/2$), имеет вид:

$$\sigma_a = \sigma_m \left(1 - \frac{2\sigma_{-1}}{\sigma_o} \right) + \sigma_{-1} \quad (4.1)$$

где σ_a - амплитуда цикла

σ_m - среднее напряжение цикла

Уравнение прямой ML, проходящей через точки с координатами М (0; σ_T) и L (σ_T ; 0) имеет вид:

$$\sigma_a = \sigma_T - \sigma_m \quad (4.2)$$

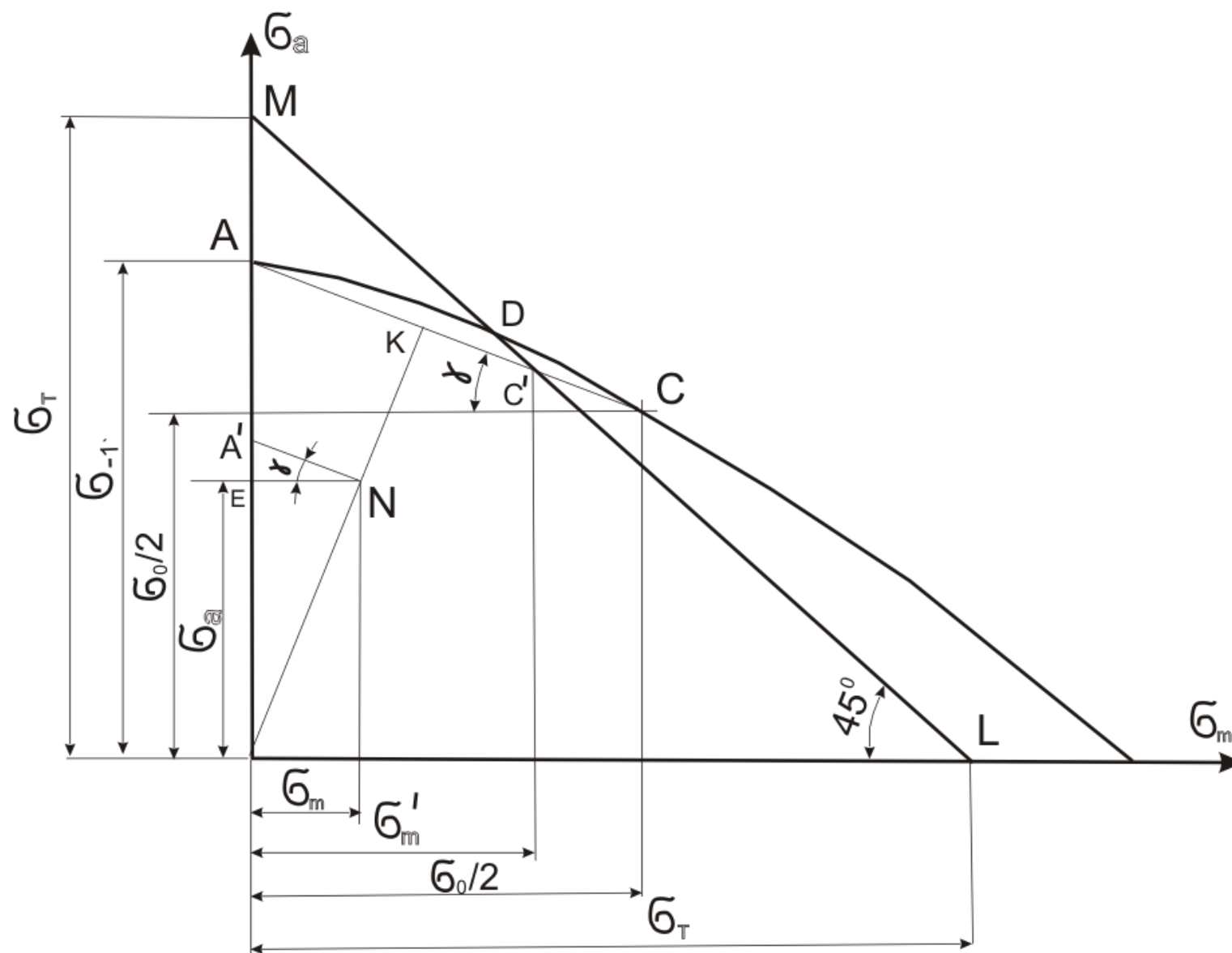


Рисунок 4.1. Схематизированная диаграмма предельных амплитуд

Решая систему уравнений (4.1) и (4.2), имеем абсциссу точки C' пересечения этих прямых:

$$\sigma'_m = \frac{\sigma_T - \sigma_{-1}}{2 \left(1 - \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_o}\right)} \quad (4.3)$$

При $\sigma_m < \sigma'_m$ возможно усталостное разрушение, а при $\sigma_m > \sigma'_m$ возможно возникновение пластичных деформаций, при превышении предела текучести.

Коэффициент запаса прочности по усталостному разрушению для цикла, соответствующего точке N, определится как отношение $\frac{OK}{ON}$. Из подобия треугольников OAK и OA'N следует, что $n = \frac{OK}{ON} = \frac{OA}{OA'}$. Из рисунка 1 находим $OA = \sigma_{-1}$ и $OA' = OE + EA' = \sigma_a + \sigma_m \cdot \operatorname{tg} \gamma = \sigma_a + \sigma_m \left(\frac{2\sigma_{-1} - \sigma_o}{\sigma_o}\right)$.

Отсюда имеем

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \sigma_m \left(\frac{2\sigma_{-1} - \sigma_o}{\sigma_o}\right)} \quad (4.4)$$

Для расчета коэффициента запаса прочности необходимо кроме отмеченных факторов учитывать качество заточки зубьев, которое оценивается коэффициентом $\beta = 0,6 \dots 0,9$ и эффективным коэффициентом концентрации напряжений, определяемым по формуле [30]:

$$k_\beta = \frac{k_u \sigma_u + k_H \sigma_H}{\sigma_u + \sigma_H}, \quad (4.5)$$

где k_u и k_H - коэффициенты концентрации напряжений, соответственно при изгибе и натяжении. Значения k_u и k_H приведены соответственно в работах [33,34].

Таким образом коэффициент запаса прочности ленточных пил при длительной работе без обработки межзубовых впадин может быть определен по следующей формуле:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\beta}{\beta} \sigma_a + \sigma_m \left(\frac{2\sigma_{-1} - \sigma_o}{\sigma_o}\right)} \quad (4.6)$$

Определим долговечность делительной ленточной пилы, изготовленной по ГОСТ 6532-77 [11], имеющей толщину 1,2 мм и ширину полотна $b = 115$ мм. Диаметр пильных шкивов делительного ленточнопильного станка $D = 1250$ мм.

Пила должна быть натянута и испытывать напряжения от силы натяжения 50...100 МПа [48]. Принимаем $\sigma_H = 80$ МПа.

Напряжения от изгиба пилы на шкивах:

$$\sigma_u = \frac{S}{D} \cdot E$$

где $E = 2,1 \cdot 10^5$ - модуль упругости материала пилы, МПа

При $S = 1,2$ мм, $D = 1250$ мм, $\sigma_u = 201,6$ МПа. Коэффициенты концентрации напряжений при изгибе пилы $k_u = 1,23$ и натяжения $k_H = 1,53$ приведены соответственно в работах [33] и [34]. Эквивалентный коэффициент концентрации напряжений при рекомендуемых значениях σ_u и σ_H :

$$k_\Sigma = \frac{k_u \sigma_u + k_H \sigma_H}{\sigma_u + \sigma_H} = \frac{1,23 \cdot 201,6 + 1,53 \cdot 80}{201,6 + 80} = 1,32$$

Согласно технологическим режимам РИ 04 – 00 [48] допускается радиальное биение пильных шкивов делительных ленточнопильных станков 0,15 мм, что дает дополнительное натяжение пил $\Delta\sigma_H = \frac{\Delta L}{L} E$. При свободной длине пил $L=2000$ мм, $\Delta\sigma_H = \frac{0,15}{2000} 2,1 \cdot 10^5 = 15,75$ МПа.

В рассматриваемой работе приводится значение предела выносливости при симметричном цикле нагружения при изгибе полотна ленточной пилы $\sigma_{-1}=308$ МПа и при отнулевом цикле нагружения $\sigma_0 = 498$ МПа

Среднее напряжение цикла для наружных слоев ленточной пилы:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_u}{2} + \sigma_H = \frac{201,6}{2} + 80 = 180,8 \text{ МПа}$$

Амплитуда цикла нагружения ленточной пилы для наружных и внутренних слоев пилы:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_u}{2} + \Delta\sigma_H = \frac{201,6}{2} + 15,75 = 116,55 \text{ МПа}$$

Следует также при расчетах ленточных пил на прочность учитывать качество заточки зубьев, характеризующее шероховатость поверхности межзубовых впадин. Она оценивается коэффициентом $\beta = 0,6...0,9$. Меньшее значение соответствует грубой заточке. Принимаем $\beta = 0,9$.

Подставив значения σ_{-1} , k_Σ , β , σ_a , σ_m и σ_0 в уравнение (4.6) получаем коэффициент запаса прочности ленточной пилы делительного ленточнопильного станка:

$$n = \frac{308}{\frac{1,32}{0,9} 116,55 + 180,8 \left(\frac{2 \cdot 308}{498} - 1 \right)} = 1,44$$

При более грубой заточке, коэффициент $\beta = 0,6$, имеем следующий коэффициент запаса прочности ленточной пилы делительного ленточнопильного станка:

$$n = \frac{308}{\frac{1,32}{0,6} 116,35 + 180,8(\frac{2 \cdot 308}{498} - 1)} = 1,02$$

Расчеты позволяют сделать два вывода: запас прочности ленточных пил при длительной работе очень мал и разрушение пил от усталостных явлений неизбежно; подшлифовка межзубовых впадин повышает прочность пил до 40 %. Для длительной безаварийной эксплуатации пил необходимо периодически затачивать пилы не только для устранения затупления режущих кромок зубьев, но и для удаления дефектного слоя в межзубовых впадинах, образующегося в результате усталостных явлений. Вместе с тем частая заточка пил сопряжена с большим расходом инструмента и ростом трудозатрат на его подготовку.

При периодической заточке пил при расчетах их на прочность в формулу для определения коэффициента запаса прочности следует вместо пределов выносливости при симметричном и отнулевом циклах σ_{-1} и σ_0 брать пределы ограниченной выносливости σ_{-1N} и σ_{0N} , соответствующие количеству полученных циклов нагружения пилы. В этом случае формула для определения коэффициента запаса прочности имеет вид

$$n = \frac{\sigma_{-1N}}{\frac{k_\beta}{\beta} \sigma_a + \sigma_m(\frac{2\sigma_{-1N}}{\sigma_{0N}} - 1)} \quad (4.7)$$

В разделе 3 для симметричного цикла нагружения получена эмпирическая зависимость предельных напряжений от числа циклов нагружения. Она имеет вид

$$\sigma_{-1} = 1470,7 \cdot N^{-0,097} \quad (4.8)$$

где N – число циклов нагружения пилы

При работе ленточной пилы число циклов нагружения ее может быть определено по формуле

$$N = \frac{120000 \cdot t \cdot v}{L_\pi} \quad (4.9)$$

Где t – время работы пилы, мин

v – скорость движения пилы, (скорость резания), м/с;

$L_\pi = 2\pi R + 2l$ – длина пилы, мм;

R – радиус пильных шкивов или криволинейных направляющих, мм;

l – свободная длина пилы – расстояние между осями пильных шкивов или расстояние между криволинейными направляющими, мм.

При базовом количестве симметричных циклов нагружения пилы ($N = 10^7$) предел выносливости полученный по формуле (4.8) $\sigma_{-1} = 308$ МПа. Во время заточки заточки пилы удаляется в межзубовой впадине дефектный слой, образованный в результате усталостных явлений, поэтому в формулу для определения коэффициента запаса прочности необходимо подставить вместо σ_{-1} предел ограниченной выносливости σ_{-1N} , определяемый по выражению $\sigma_{-1N} = 1470,7 \cdot N^{-0,097}$. Так при $t = 240$ мин, $v = 40$ м/с, $2R = 1250$ мм и $l = 2000$ мм имеем $N = 145362$ и $\sigma_{-1N} = 463,9$ МПа.

В разделе 3 для отнулевого цикла нагружения приводится эмпирическая зависимость предельных напряжений от числа циклов нагружения. Она имеет вид

$$\sigma_0 = 1769,7 N^{-0,079} \quad (4.10)$$

При базовом числе циклов нагружения $N = 10^7$ имеем $\sigma_0 = 498$ МПа

Для принятых ранее значений t , v , L_{π} имеем $N = 145362$ и по уравнению (4.10) находим для отнулевого цикла предел ограниченной выносливости $\sigma_{0N} = 691,3$ МПа. Подставив в формулу (4.7) значения $k_s = 1,32$, $\sigma_a = 116,55$, $\sigma_m = 180,8$ МПа; $\sigma_{-1N} = 463,9$ МПа, $\sigma_{0N} = 691,3$ МПа при грубой заточке $\beta = 0,6$ имеем коэффициент запаса прочности $n = 1,46$. При тех же данных для случая когда после заточки зубьев делается подшлифовка межзубовой впадины, как показано на рисунке 4.2 [30] имеем коэффициент $\beta = 0,9$, получаем $n = 1,99$.

Расчеты показывают, что при грубой заточке зубьев трудно избежать трещинообразования. Подшлифовка впадин зубьев повышает прочность пилы на 40 %, но и в этом случае большого запаса прочности не наблюдается.

Следует отметить, что в результате заточки возможно искажение профиля зубьев, что увеличивает концентрацию напряжений $k_{\text{и}}$ и $k_{\text{н}}$, - поэтому необходимо своевременно править шлифовальный круг.

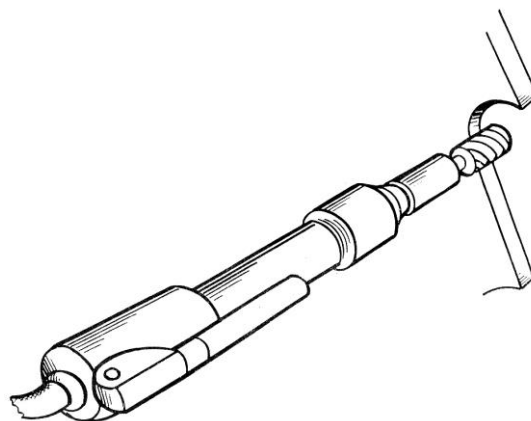


Рисунок 4.2. Приспособление для повышения качества обработки межзубовых впадин ленточных пил

4.3 Мероприятия, направленные на повышение коэффициента запаса прочности ленточных пил

Профессором Прокофьевым Г.Ф. предложен новый тип ленточнопильного станка. Тонкая стальная лента движется по двум криволинейным аэростатическим направляющим, расположенным над и под распиливаемым материалом. Конструкция такого ленточнопильного станка показана на рисунке 4.3. Общий вид станка приведен на рисунке 4.4 [31]. Подробное описание станка дано в работе [31].

Дадим оценку долговечности ленточной пилы нового ленточнопильного станка.

Характеристика станка: ленточная пила толщиной $S=1,0$ мм движется по криволинейным аэростатическим направляющим, имеющим ширину $b=100$ мм. Радиус направляющих $R=750$ мм. Сила натяжения пилы $T=5000$ Н. Биение пилы отсутствует $\Delta\sigma_n=0$.

$$\text{Напряжение изгиба пилы } \sigma_u = \frac{s}{2R} \cdot E = \frac{1,0}{2 \cdot 750} 2,1 \cdot 10^5 = 140 \text{ МПа}$$

$$\text{Напряжение натяжения пилы } \sigma_n = \frac{T}{S \cdot b} = \frac{5000}{1,0 \cdot 100} = 50 \text{ МПа}$$

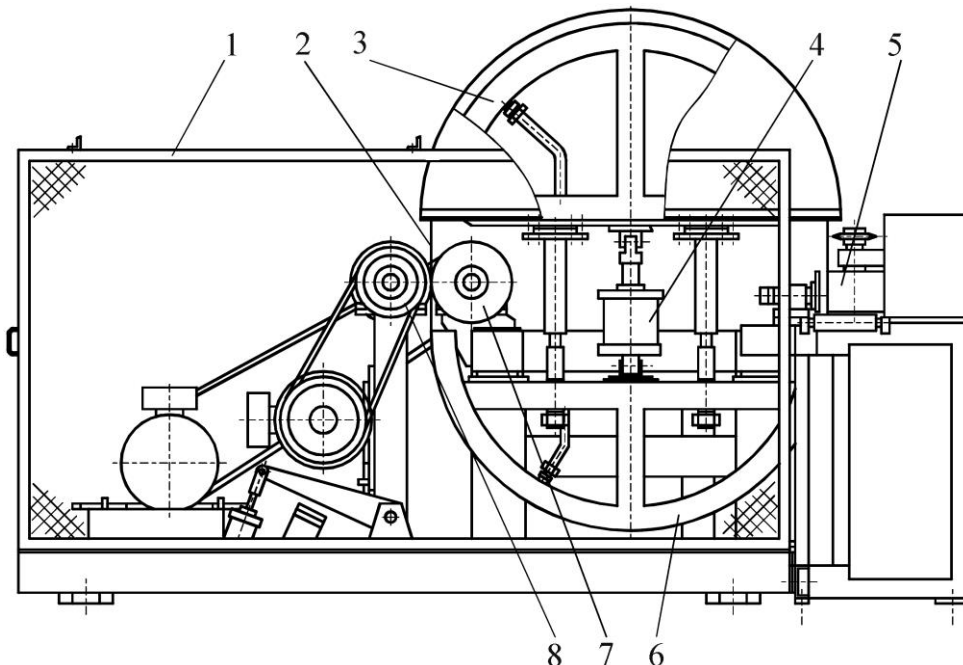


Рисунок 4.3. Ленточнопильный станок с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим:

1 – ограждение; 2 – пила; 3, 6 – верхняя и нижняя криволинейные аэростатические направляющие; 4 – механизм натяжения пилы; 5 – механизм подачи; 7, 8 – приводные фрикционные колеса

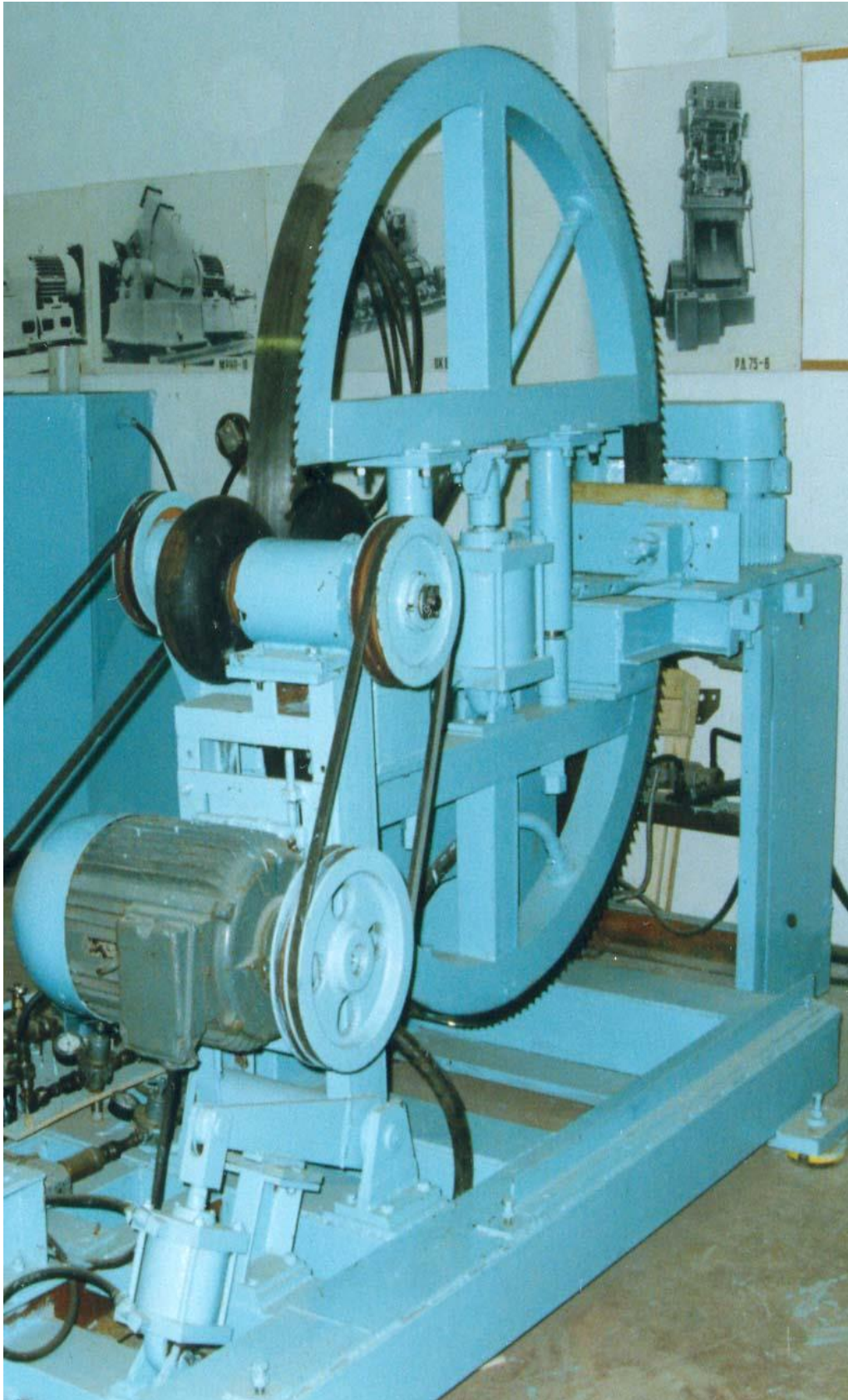


Рисунок 4.4. Общий вид делительного ленточнопильного станка с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим

Эквивалентный коэффициент концентрации напряжений:

$$k_{\varepsilon} = \frac{k_u \sigma_u + k_n \sigma_n}{\sigma_u + \sigma_n} = \frac{1,23 \cdot 140 + 1,53 \cdot 50}{140 + 50} = 1,3$$

Среднее напряжение цикла:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_u}{2} + \sigma_n = \frac{140}{2} + 50 = 120 \text{ МПа}$$

Амплитуда цикла нагружения:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_u}{2} = \frac{140}{2} = 70 \text{ МПа}$$

Предел выносливости при симметричном нагружении $\sigma_{-1} = 308$ МПа. Предел выносливости при отнулевом цикле нагружения $\sigma_0 = 498$ МПа. Коэффициент, учитывающий качество обработки межзубовых впадин принимаем $\beta = 0,9$. Подставив значения σ_{-1} , k_{ε} , β , σ_a , σ_m и σ_0 в формулу (4.6) имеем $n = 2,4$.

Для проверки результатов расчетов на ЭПЗ «Красный октябрь» (г. Архангельск) были проведены испытания на долговечность пилы экспериментального делительного ленточнопильного станка с криволинейными аэроэстатическими направляющими ЛД150 – 1Э [39]. Испытания проводились на ленточной пиле, изготовленной по ГОСТ 6532-77, имеющей толщину $S=1,0$ мм, ширину $B=125$ мм, шаг зубьев $t=30$ мм и длину $L=5500$ мм. Пила была подготовлена в соответствии с технологическими режимами РИ04-00 «Подготовка делительных ленточных пил» [48]. Каждая ветвь пилы была натянута с силой $N=6,0$ кН. Скорость движения составляла 30 м/с.

Пила работала вхолостую 20 дней по 3 часа. В процессе испытаний межзубовые впадины зубьев не обрабатывались и обследовались через каждые 3 часа. Установлено, что после 60 часов испытаний на холостом ходу ни одной трещины в межзубовых впадинах не обнаружено. Во время испытаний пила претерпела $2,5 \cdot 10^6$ циклов нагружения.

На основании выполненных расчетов и результатов испытаний можно заключить, что конструкция ленточнопильного станка с криволинейными аэроэстатическими направляющими значительно увеличивает долговечность пил и позволяет применять на станках такого типа ленточные пилы, оснащенные твердым сплавом без периодической обработки межзубовых впадин. Сокращается расход пил, снижаются трудозатраты на их подготовку, повышается качество пиления древесины.

4.4 Выводы

1. Разработана математическая модель для расчета ленточных пил на долговечность.

2. Длительная работа ленточных пил делительных ленточнопильных станков традиционной конструкции с пильными шкивами возможна при частой заточке пил с проточкой межзубовых впадин и удаления дефектного слоя.

3. Тщательная подшлифовка межзубовых впадин позволяет не только уменьшить глубину рисок, но и их направление, что дает повышение долговечности ленточных пил на 40 %.

4. Конструкция ленточнопильного станка нового типа с криволинейными аэростатическими направляющими позволяет обеспечить длительную безаварийную работу ленточных пил с зубьями, оснащенными износостойкими материалами.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

5.1 Изучение характера развития трещин в ленточных пилах

Как отмечалось ранее, в процессе работы в ленточных пилах возникают усталостные явления, приводящие к разрушению их полотен.

Коэффициент случайной убыли ленточных пил, как отмечается в справочной литературе [59] составляет $2,5 \dots 3,5$. Большие значения относятся к предприятиям с низкой культурой подготовки и эксплуатации ленточных пил. Это самый высокий показатель аварийного расхода пил в лесопилении. Для лучшего понимания характера развития трещин в ленточных пилах в процессе их работы и определение путей повышения надежности их эксплуатации были проведены наблюдения за характером развития трещин в полотнах ленточных пил. Общий вид трещин в полотне ленточной пилы, полученных при исследовании особенностей образования трещин в ленточных пилах показан на рисунке 5.1. Наблюдения выполнялись на экспериментальной установке, описание которой дано в разделе 3, и в производственных условиях. Характер роста трещин в результате усталостных явлений в ленточных пилах поясняется приведенным рисунком 5.2.



Рисунок 5.1. Усталостные трещины в ленточной пиле при испытаниях

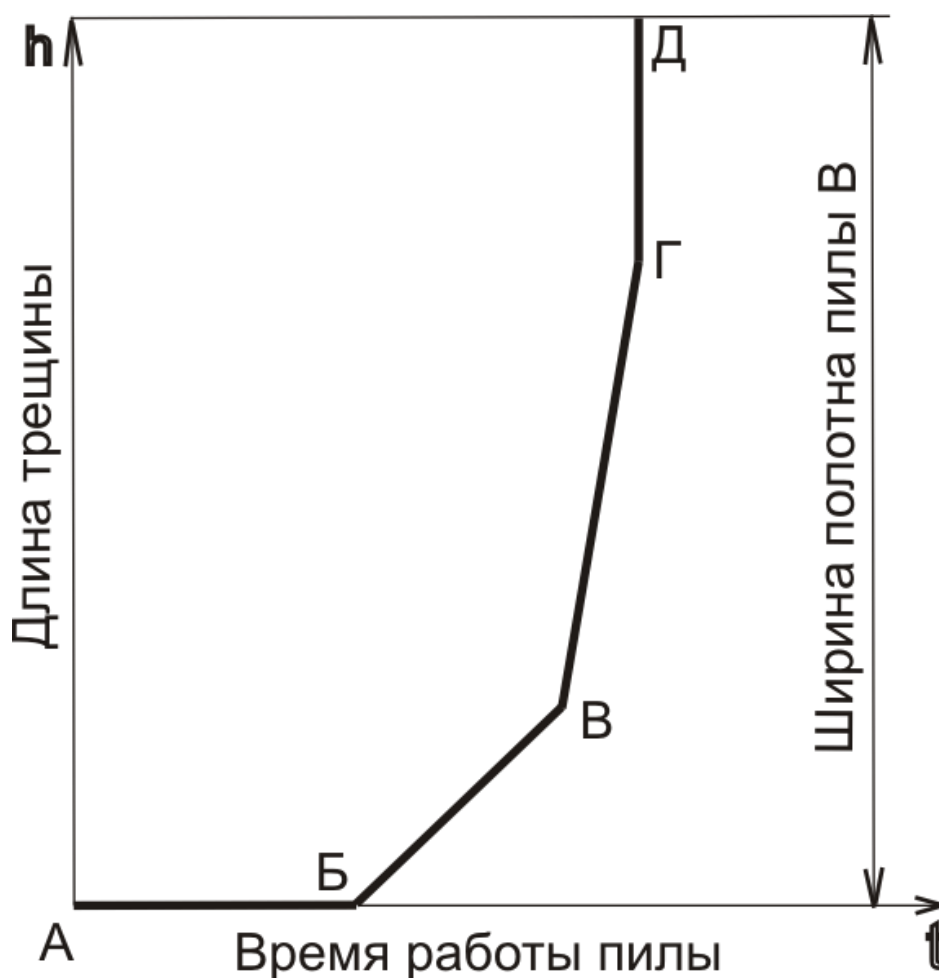


Рисунок 5.2. Характер распространения трещины по ширине полотна ленточной пилы.

В начальный период работы пилы, возникающая трещина находится внутри полотна и визуально не видна. (участок АБ). При периодических своевременных заточках зубьев дефектный слой а межзубовых впадинах удаляется и пила как бы обновляется для последующей эксплуатации.

Расчеты показывают, что при применении ленточнопильного станка с пилой движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим для повышения износостойкости зубьев можно использовать оснащение пил твердым сплавом и не требуется обработка межзубовых впадин для удаления дефектного слоя. В этом случае существенно уменьшается расход и затраты на их подготовку и эксплуатацию. Рекомендации по оснащению зубьев таких пил пластинками твердого сплава при распиловке сухой древесины приведены в приложении 3, рекомендации по оснащению зубьев ленточных пил литым твердым сплавом при распиловке влажной древесины приведены в приложении 4.

Время между переточками (участок АБ) на каждом предприятии должно устанавливаться индивидуально. С одной стороны при каждой заточке

повышается качество получаемых пиломатериалов и снижаются энергозатраты при пилении за счет уменьшения радиуса закругления главной режущей кромки зубьев, но ее конечная величина зависит от породы древесины, ее гидротермического состояния, высоты пропила, положения ленточнопильного станка в лесопильном потоке и необходимости одновременно затачивать другие дереворежущие инструменты. Величина износа зубьев ленточных пил до очередной переточки незначительная, но имеет широкий диапазон в пределах 0,02...0,05 мм [29, 59]. Вместе с тем, частая заточка также нежелательна, так как при заточке снимается значительный слой 0,2...0,4 мм [29, 59] и уменьшается ширина рабочей зоны пилы. Рекомендуемые значения начального и конечного размеров ширины ленточной пилы приведены в таблице 5.1 [59].

Таблица 5.1

Ширина пилы, мм		Ширина рабочей зоны $B_n - B_k$, мм
Начальная B_n , мм	Конечная B_k , мм	
100	70	30
125	90	35
150	107	43
175	125	50

Таким образом, частая заточка приводит к повышенным затратам на приобретение пил и подготовку их к работе.

Выполнение рекомендаций по повышению долговечности ленточных пил в большинстве случаев обеспечивает надежную работу ленточных пил между переточками, но полностью избежать трещинообразования сложно, что и подтверждается большим значением коэффициента случайной убыли ленточных пил.

На участке БВ неудаленная путем заточки трещина появляется на поверхности пилы и монотонно распространяется от межзубовой впадины. Внутренняя поверхность трещины на этом участке гладкая, что указывает на ее усталостный характер. Протяженность трещины на участке БВ составляет 8...12 мм. На этой стадии развития трещины возможно ее торможение.

5.2. Способы торможения трещин в ленточных пилах

Торможение развития трещины может осуществляться одним из двух способов. Первый способ - засверливание в конце трещины при длине ее 8... 12 мм (участок БВ). Отверстия диаметром 3...4 мм центровым комбинированным сверлом согласно ГОСТ 14932 – 75 (рисунок 5.3,а). Торможение развития трещины в этом случае осуществляется путем уменьшения в конце трещины концентрации напряжений. При уменьшении диаметра отверстия снижается эффективность способа, а при увеличении диаметра возникает опасность поломки пилы, если две трещины идут из соседних межзубовых впадин.

При другом способе торможения распространения трещины путем нанесения ударов через кернер по обе стороны от конца трещины и под ней (рисунок 5.3,б). Получаются напряжения сжатия вокруг кернового углубления и дальнейшее распространение трещины прекращается. Этот способ рекомендован шведской фирмой «UDDEHOLM» в ее руководстве по изготовлению и уходу за дереворежущими ленточными пилами. На рисунке 5.4 показана процедура кернения полотна ленточной пилы у конца трещины.

Несмотря на свою простоту этот способ имеет недостаток – трудно оптимизировать величину напряжений сжатия у конца трещины. При слабом ударе по пиле через кернер и на большом расстоянии от конца трещины напряжения будут незначительными и не дадут ощутимого эффекта. При сильном ударе по пиле через кернер и на малом расстоянии от конца трещины может произойти ее увеличение.

Необходимо для торможения трещины создать у ее конца нормированные напряжения сжатия металла пилы.

Поставленная цель достигается тем, что участок пилы радиусом 2-5 мм с центром в конце трещины нагревается до температуры 350-550⁰ С (рисунок 5.3,в), выдерживается при этой температуре 20-50 с и охлаждается до температуры окружающей среды.

Диапазон температуры нагрева обусловлен следующим. При нагреве до температуры менее 350⁰ С в пиле возникают только упругие деформации, которые при охлаждении пилы пропадают. При температуре более 550⁰ С происходит отпуск металла пилы и изменяется его структура и твердость, что недопустимо.

При нагреве участка пилы вокруг конца трещины металл этого участка расширяется и напряжения растяжения превышают предел текучести. Металл вокруг участка нагрева расширяется упруго. При охлаждении термообрабатываемого участка в нем возникает остаточная деформация. Окружающие этот участок слои, растянутые упруго, при охлаждении стремятся вернуться в исходное состояние и сжимают слои металла термообработанного участка. Таким образом происходит термопластическая обработка участка пилы, окружающего конец трещины. Создаваемые на этом участке пилы напряжения сжатия будут тормозить распространение трещины в ленточной пиле. Величина создаваемых напряжений сжатия будет зависеть от температуры нагрева термообрабатываемого участка, которая должна находиться в диапазоне от 350 до 550⁰ С. Рассмотренный способ торможения трещины защищен патентом [41], который представлен в приложении 1.

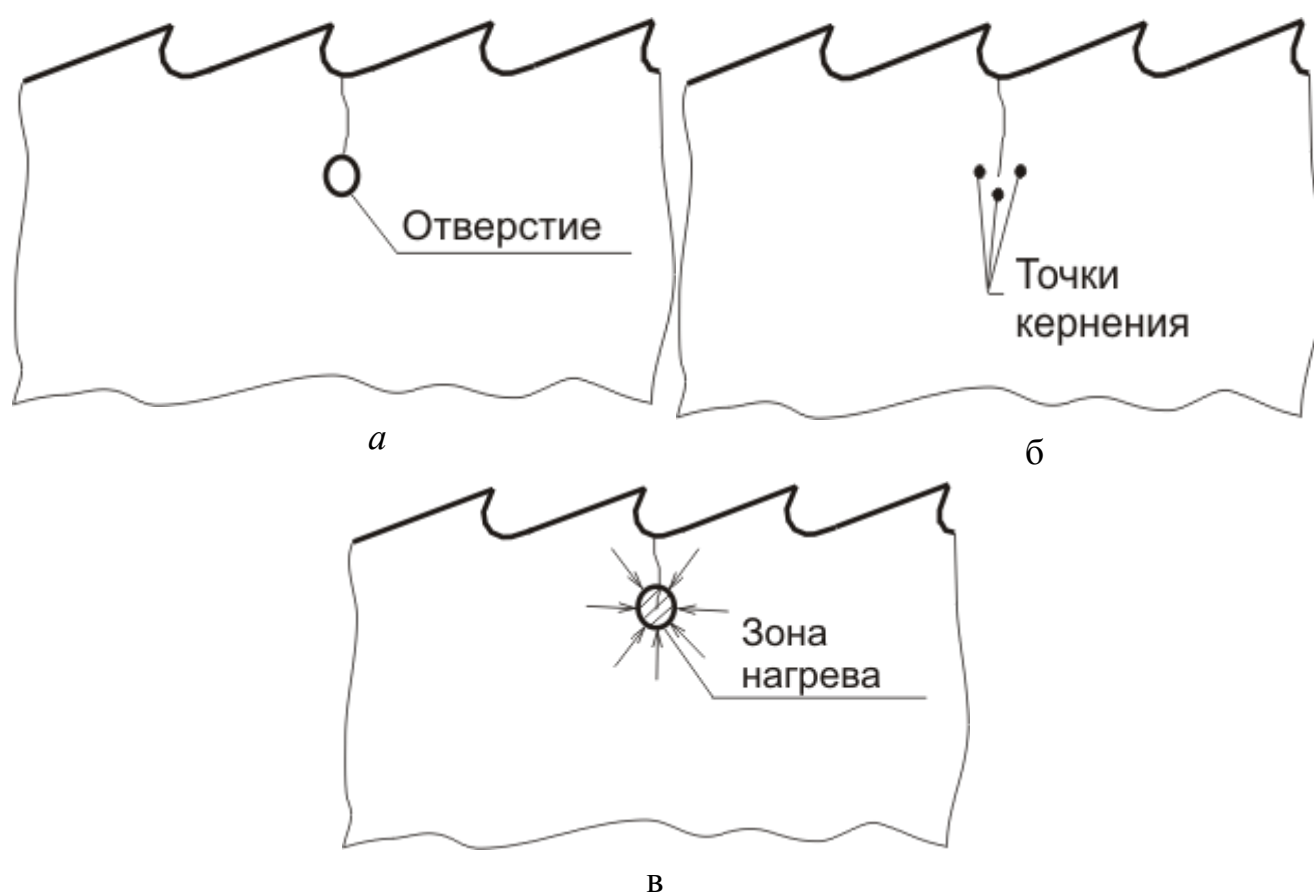


Рисунок 5.3. Способы торможения распространения трещины:

а – сверлением отверстия в конце трещины; *б* – кернением у конца трещины; *в* – нагревом у конца трещины.

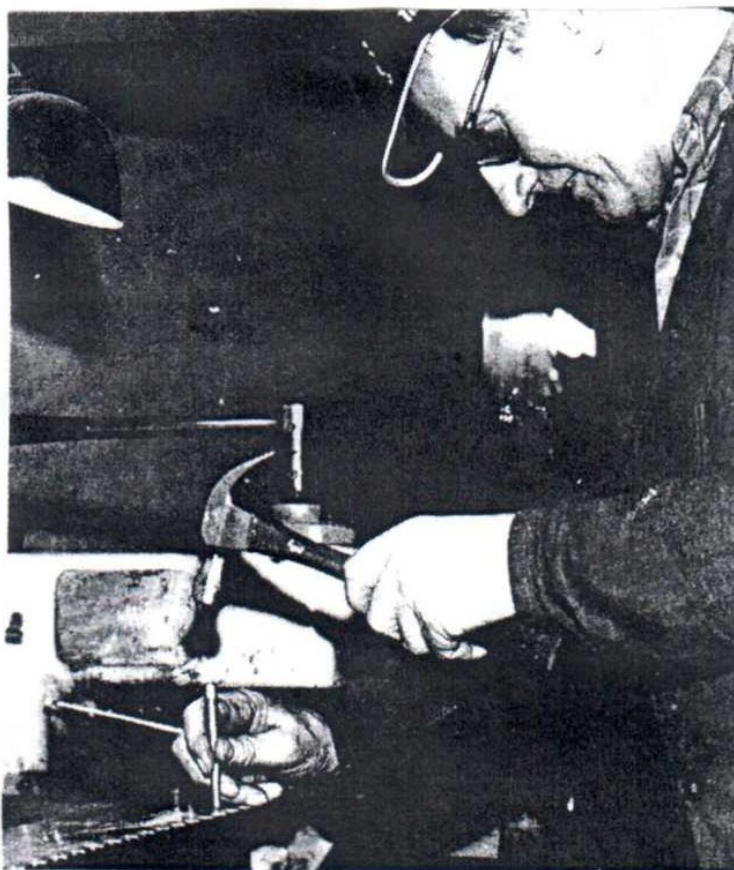


Рисунок 5.4. Процедура кернения полотна ленточной пилы для торможения распространения трещины.

5.3 Ремонт ленточных пил

В тех случаях, когда имеется одиночная трещина протяженностью более 12 мм (участок ВГ) или когда имеется 4...5 трещин на длине 400..500 мм возможен ремонт пилы. Он включает следующие операции:

- 1) вырезка дефектной зоны пилы (не менее 500 мм);
- 2) выбор вставки в виде отрезка пилы одинаковой толщины и ширины с ремонтируемой пилой;
- 3) электросварка с помощью агрегата АСЛП – 18 вставки с пилой после вырезки дефектной зоны
- 4) подготовка концов пилы и вставки, режим сварки, обработка сварного шва, контроль качества соединения пилы с вставкой выполняют в соответствии с пунктами 3.3, 3.4, 8.5, 9.6 технологических режимов РИ 04 – 00 [48].

Если возникшая трещина не удалена в результате заточки, торможения и ремонта, она выходит на участок ГД, напряжения достигают предела прочности и происходит внезапное хрупкое разрушение пилы.

5.4 Выводы

Представленные в разделе материалы позволяют:

- 1) ознакомиться с характером развития трещин в ленточных пилах;
- 2) определить условия, при которых возможно торможение распространения трещины в полотне пилы;
- 3) рассмотреть способы торможения распространения трещины в полотне пилы и выбрать оптимальный вариант;
- 4) определить возможность ремонта ленточных пил с дефектными участками.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании изучения состояния вопроса, наблюдений за работой пил в производственных условиях и результатов исследований сделаны следующие выводы и даны рекомендации.

1. Основным недостатком пиления древесины на ленточнопильных станках является низкая долговечность ленточных пил.
2. Коэффициент аварийного расхода ленточных пил на отдельных предприятиях достигает 3,5. Это худший показатель аварийного расхода дереворежущего инструмента.
3. Разрушение ленточных пил носит усталостный характер.
4. Создана экспериментальная установка для изучения характера разрушения ленточных пил от усталостных явлений.
5. Экспериментальные образцы представляют собой отрезки реальных ленточных пил, изготовленных по ГОСТ 6532 – 77.
6. Определены зависимости предельных напряжений от количества симметричного и отнулевого циклов нагружения.
7. Рассчитаны коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при изгибе и натяжении пилы, что позволяет рассчитать эквивалентный коэффициент концентрации напряжений.
8. Построена схематизированная диаграмма предельных амплитуд с учетом отнулевого цикла напряжений.
9. Разработана математическая модель определения коэффициента запаса прочности ленточной пилы с учетом периодической заточки пилы и обработкой межзубовых впадин.
10. Установлено, что качественная обработка межзубовых впадин с последующей их подшлифовкой позволяет повысить долговечность пил на 40 %.
11. При заточке пил происходит износ шлифовального круга и отклонение профиля межзубовых впадин от стандартной. Это приводит к увеличению концентрации напряжений, поэтому требуется периодически осуществлять правку шлифовального круга.
12. Изучен характер и стадии распространения усталостных трещин в ленточных пилах.
13. Определены условия при которых возможно торможение распространения трещин в ленточных пилах.
14. Предложен новый способ торможения распространения усталостных трещин в ленточных пилах.

15. Установлено, что при использовании ленточнопильного станка с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим долговечность пилы повышается настолько, что можно использовать пилы, оснащенные твердыми сплавами и периодическая обработка межзубовых впадин не требуется. Испытания ленточнопильного станка в производственных условиях подтвердили результаты расчетов.

Литература

1. А.С. 408773 СССР, М.Кл.В 27 в 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. – № 1802797/29-33; заявл. 29.06.72; опубл. 30.11.73, Бюл. № 48.
2. А.С. 1069992 СССР, М.Кл.В 27 в 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. – № 34925/29-15; заявл. 28.09.82; опубл. 30.01.84, Бюл. № 4.
3. А.с. 1346423 СССР, МПК В27В 13/14. Устройство для улавливания ленточной пилы при обрыве к ленточнопильному станку с криволинейными направляющими / Е.Л.Чебыкин, Г.Ф.Прокофьев – № 4017628/29-15; заявл. 04.02.86; опубл. 23.10.87, Бюл. № 39
4. Банников, А.А. Повышение точности пиления древесины на делительных ленточнопильных станках [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / А.А. Банников. – Архангельск, 2007. – 20 с.
5. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. – М.: Гос. изд-во физико-теоретической литературы, 1956 г. - 853 с.
6. Берлин, Э.П. О методах повышения устойчивости ленточных пил [Текст] / Э.П. Берлин // Науч. тр. ЦНИИМОД. – Архангельск. 1968. – С. 119–123.
7. Бершадский, А.Л. Резание древесины [Текст] / А.Л. Бершадский, Н.И. Цветкова – Минск: Вышэйш. шк., 1975. – 303 с.
8. Веселков В. И. Исследование работоспособности различных конструкций механизмов натяжения пил ленточнопильных станков [Текст] / В.И. Веселков, Б.А. Веселкова, Т.С. Исупова // Машины и инструменты деревообрабатывающих производств: межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. – 1981. – С. 60–64.
9. Веселков В. И. Теория и конструкция ленточнопильных станков: учебное пособие [Текст] / В.И. Веселков,. – Архангельск: РИО АЛТИ. – 1992 – 84 с
10. Веселкова Б.А. Исследование и разработка рекомендаций по повышению работоспособности ленточных пил для распиловки древесины [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук. – Л.: ЛТА. 1978 - 16 с.
11. ГОСТ 6532-77. Пилы ленточные для распиловки древесины. Технические условия. Введ.1977-25-05.-М: Изд-во стандартов. 1977. – 6 с.
12. ГОСТ 10670-77 Пилы ленточные для распиловки бревен и брусьев Технические условия. Введ.1978-01-07.-М: Изд-во стандартов. 1977. – 6 с.
13. ГОСТ 25.502-79 - Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. Введ. 1979-30-10. – М.: Изд-во стандартов, 1980.

14. ГОСТ 24771-81 Станки ленточнопильные делительные для продольной распиловки досок и горбылей. Нормы точности. - Введ. 01.03.82.
15. Дарков А.В. Сопротивление материалов [Текст] / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро - Изд. 3-е. М., Высшая школа, 1969. – 734 с.
16. Добрынин Е. Д. Концентрация напряжений в полотнах пил от насечки зубьев [Текст] / Е.Д. Добрынин // Деревообрабатывающая промышленность. – 1962. № 4– С. 10—11
17. Добрынин, Е.Д. Исследование причин аварийного расхода ленточных пил [Текст] / Е.Д. Добрынин // Механическая технология древесины: межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. – 1976. – С. 45–46.
18. Жернокуй М. А. Влияние отклонения формы и толщины ленточных пил на их устойчивость и прочность[Текст] / М. А. Жернокуй, Г.П. Печкуров // Деревообр. пром-сть – 1979. - № 2 – с. 6-7.
19. Иванкин, И.И. Основные задачи разработки гибких автоматизированных лесопильных линий / И.И. Иванкин, Г.Ф. Прокофьев // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. / АГТУ. – Архангельск, 2006. – Вып. 64. – С. 86–89.
20. Иванкин, И.И. Использование новых пильных модулей в гибких автоматизированных линиях [текст] / И.И.Иванкин, Г.Ф.Прокофьев, - Воронеж: ВГЛТА. 2006 - с. 178-182
21. Когаев В.П., Прочность и износостойкость деталей машин: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов [Текст] / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. - М.: Высш. школа, 1991. – 319 с.
22. Когаев, В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени [Текст] / В.П. Когаев – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
23. Коваленко О.Л. Экспериментальная установка для исследования усталостной прочности ленточных пил [Текст] / О.Л. Коваленко // Наука - северному региону; Сборник научных Трудов / АГТУ. - Архангельск, 2002 г. – с.110-112
24. Логинов В.Н. Электрические измерения механических величин [Текст] / В.Н. Логинов - М.: Энергия, 1970. - 80 с.
25. Лейхтлинг К. А. Исследования характера трещин в ленточных пилах [Текст] / К. А. Лейхтлинг, А. М. Кузнецов, М.С. Синяговская //Механическая обработка древесины: науч. техн. реф. сб. /ВНИПИЭИлеспром. – 1971.- № 10. - с. 7-8.
26. Малышев Ю.В. Исследование некоторых условий, обеспечивающих рациональную эксплуатацию ленточных делительных пил с твердым

сплавом для распиловки древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / Ю.В. Малышев. – Ленинград, 1974. – 20 с.

27. Малышев Ю.В. Влияние некоторых факторов на долговечность полотен ленточных делительных пил [Текст] / Ю.В. Малышев, ЛЛТА – Л., 1974. – 10 с. – Деп. Во ВНИПИЭИлеспроме 18.06.74 № Д740114.
28. Методические указания по определению потребности в дереворежущих инструментах. Отрасль: Лесопильное производство/ ЦНИИМОД. - Архангельск, 1978. – 19 с.
29. Настенко А.А.. Подготовка ленточных пил [Текст] /– А.А. Настенко. - М: Лесн. Пром-сть, 1989. – 152 с.
30. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев – М: Лесн. Пром-сть, 1990.– 240 с.
31. Прокофьев Г.Ф. Повышение эффективности пиления древесины на лесопильных рамах и ленточнопильных станках: монография [Текст] / Г. Ф. Прокофьев, И. И. Иванкин. - Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, , 2009 - 380 с.
32. Прокофьев Г.Ф. Новые направления использования аэростатических опор: монография [Текст] / Г.Ф. Прокофьев И.И. Иванкин. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2009 – 103 с.
33. Прокофьев Г.Ф. Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, О.Л. Коваленко, С.А. Черепанов // Лесной журнал - 2015 г - № 4 – с. 50-56 (Изв. высш. учебных заведений).
34. Прокофьев Г.Ф. Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при ее натяжении [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, О. Л. Коваленко // Лесной журнал - 2016 г - № 3 – с. 117-123 (Изв. высш. учебных заведений).
35. Прокофьев, Г.Ф. Точность пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Лесн. журн. – 1996. – № 6. – С. 74–80. – (Изв. высш. учеб. заведений).
36. Прокофьев, Г.Ф. Гибкие автоматизированные линии в лесопилении [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин // Деревообр. пром-сть. – 2004. – № 6. – С. 15–17.
37. Прокофьев, Г.Ф. Устойчивость рамных и ленточных пил в направляющих [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Совершенствование конструкций и методов подготовки и эксплуатации режущего инструмента и лесопильно-

деревообрабатывающего оборудования: науч. тр. / ЦНИИМОД. – Архангельск, 1977. – С. 43–48.

38. Прокофьев Г.Ф. Определение требуемой прочности многопильных ленточнопильных станков [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Лесной журнал - 1989 г - № 6 – с. 81-85 (Изв. высш. учебных заведений).
39. Прокофьев Г.Ф. Долговечность пилы ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Деревообработ. Пром-сть. – 1991. – №5. – с. 8-10.
40. Прокофьев Г.Ф. Создание высокотехнологичных лесопильных станков: монография [Текст] / Г.Ф. Прокофьев– Архангельск: АО «СОЛТИ», 2018. – 157 с.
41. Пат. 2395388, Российская Федерация, МПК В27В 13/00, Способ торможения распространения трещины в ленточной пиле [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, О.Л. Коваленко. - № 2009115975/02; заявл. 27.04.2009, опубл. 27.04.2010, Бюл. № 21.
42. Печкуров Г. П. Причины образования трещин в полотнах ленточных пил при их подготовке [Текст] / Г. П. Печкуров// Механическая обработка древесины: науч. техн. реф. сб. / ВНИПИЭИлеспром. – 1976. - №8. - с. 12-13
43. Почекутов С.П. Исследование точности распиловки бревен на ленточнопильном станке «Stenner» [Текст] / С.П. Почекутов: Матер. конф. по итогам науч.-иссл. работ СибТИ. – Красноярск, 1969 – с. 243-246
44. Санев В. И. К вопросу о запасе прочности полотен ленточных пил [Текст] / В. И. Санев , ЛЛТА. – Л., 1981. – 8 с. - Деп. во ВНИПИЭИлеспром
45. Санев В. И. О нагреве ленточных пил при распиловке древесины на ленточнопильных станках. [Текст] / В.И. Санев // Лесной журнал - 1969 г - № 3 – с. 64-67 (Изв. высш. учебных заведений).
46. Светлицкий В.А. Расчет на прочность передач со стальной гибкой лентой. [Текст] / В.А. Светлицкий // В. кн.: «Расчеты на прочность»:1962 - № 8 – с.61.
47. Ступнев Г.К. Пиление древесины ленточными пилами вдоль волокон [Текст] / Г.К. Ступнев, Н.П. Рутнов, Ю.В. Вологдин – М.: Лесн. пром-сть, 1980.-208 с.
48. Технологические режимы РИ 04 – 00. Подготовка делительных ленточных пил [Текст] / А.А. Настенко., В.И. Веселков.– Архангельск: ЦНИИМОД, 1976. – 66 с.

49. Технологические режимы РИ 05-00. Подготовка ленточных пил для распиловки бревен и брусьев [Текст] / В.П. Власов, М.А. Жернокуй, А.М. Кузнецов - Красноярск: СибНИИЛП, 1980. – 106 с.
50. Трубников И.И. . Усталостное разрушение полотен ленточных пил [Текст] / И.И. Трубников // Лесной журнал – 1965. - № 6 – с. 91-93 (Изв. высш. учебных заведений).
51. Трубников И.И. Напряжения в полотне ленточных пил, подвергнутых поверхностному наклепу [Текст] / И.И. Трубников // Лесной журнал – 1965. - № 2 – с. 104-108. (Изв. высш. учебных заведений).
52. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки [Текст] / А.Е. Феоктистов. – М: Лесн. пром-сть, 1976. – 152 с.
53. Феоктистов А.Е. Причины появления трещин в полотнах ленточных пил [Текст] / А.Е. Феоктистов // Деревообр. пром-сть. – 1960. – № 5. – с. 12–14.
54. Феоктистов, А.Е. Подготовка ленточных пил к работе [Текст] / А.Е. Феоктистов. – М: Лесн. пром-сть, 1971. – 71 с.
55. Феоктистов, А.Е. Устойчивость пильной ленты при воздействии на нее усилия подачи [Текст] / А.Е. Феоктистов // Лесн. журн. – 1960. – № 3. – С. 95–106. – (Изв. высш. учеб. заведений).
56. Фергин, В.П. Интенсификация процессов пиления древесины / В.П. Фергин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 114 с.
57. Швамм, Л.Г. Исследование и разработка методов повышения долговечности ленточных пил для распиловки древесины [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л.Г. Швамм. – Л.: ЛТА, 1982. – 20 с.
58. Шилько В.К. Механизмы резания ленточнопильных станков [Текст] / В.К. Шилько – Томск: ТГАСУ. – 2004 – 151 с. – Деп. в ВИНТИ № 766. – 17.05.2004.
59. Справочник по лесопилению, под редакцией Копейкина. А.М. – 2-е изд. перераб. и доп. [Текст]/ Ю.А. Варфоломеев, И.С. Дружин, Ю.А. Дьячков и др. / – М.: «Экология», 1991. – 496 с.
60. Simmonds A. Wide banolsaws (The Art of Saw Doctoring). – London, 1980. – 224 p.
61. Williston Ed. M. Saws. Design, selection, operation, maintenance. – San – Francisco, 1978. – 228 p.
62. Porter A. Some Engineering Consideration of High-Strain // Forest Products Journal. – 1977. –V. 21, n 4. – p. 24–32.
63. Suqihara H. Untersuchungen über die am Sägeband wirkenden krafte // Internationaler Holzmark. – 1955. – № 10. – P. 8–13.

64. Thunell, B. Forstschritte bei der Zerspaltung – Sprossung von Holz / B. Thunell // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1951. – № 1. – S. 11–20.
65. Thunell, B. Dimensional Accuracy in Sawing // Svenska Träforskning Institutet. – 1975. – Serie B. – № 109. – 17 p.
66. Thunell, B. Stability of the Band Saw Blade // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1970. – № 9. – P. 343–348.

Приложение 1

Патент на изобретение «Способ торможения распространения трещины в ленточной пиле»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2395388

**СПОСОБ ТОРМОЖЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ТРЕЩИНЫ В ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЕ**

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Архангельский
государственный технический университет Федерального агентства по
образованию (Рособразование) (АГТУ) (RU)*

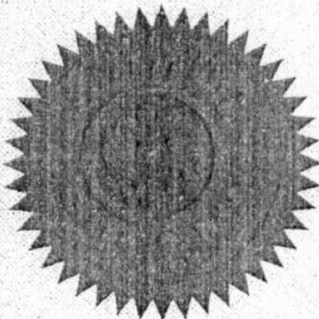
Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2009115975

Приоритет изобретения 27 апреля 2009 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 27 июля 2010 г.

Срок действия патента истекает 27 апреля 2029 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 395 388** (13) **C1**(51) МПК
B27B 33/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21), (22) Заявка: 2009115975/03, 27.04.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.04.2009

(45) Опубликовано: 27.07.2010 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2008142 C1, 28.02.1994. RU 2326175 C2,
10.06.2008. RU 2235136 C1, 27.08.2004. SU
1138267 A1, 07.02.1985. GB 2439070 A,
19.12.2007.

Адрес для переписки:

163002, г.Архангельск, наб. Северной
Двины, 17, Архангельский государственный
технический университет, № 07, патентоведу

(72) Автор(ы):

Прокофьев Геннадий Фёдорович (RU),
Иванкин Илья Игоревич (RU),
Коваленко Олег Леонидович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования Архангельский
государственный технический университет
Федерального агентства по образованию
(Рособразование) (АГТУ) (RU)**(54) СПОСОБ ТОРМОЖЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРЕЩИНЫ В ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЕ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к лесопильной
промышленности. Способ включает создание в
зоне пилы у конца трещины начальных
напряжений сжатия. Участок пилы радиусом 2-5 мм с центром в конце трещины нагревают до
температуры 350-550°C, выдерживают при этой
температуре 20-50 с и охлаждают до
температуры окружающей среды. Изобретение
повышает надежность полотна пилы.

RU 2 395 388 C1

RU 2 395 388 C1

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 395 388** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
B27B 33/00 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2009115975/03, 27.04.2009

(24) Effective date for property rights:
27.04.2009

(45) Date of publication: 27.07.2010 Bull. 21

Mail address:

163002, g. Arkhangel'sk, nab. Severnoj Dviny, 17,
Arkhangel'skij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet, № 07, patentovedu

(72) Inventor(s):

Prokof'ev Gennadij Fedorovich (RU),
Ivankin Il'ja Igorevich (RU),
Kovalenko Oleg Leonidovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovaniya
Arkhangel'skij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet Federal'nogo agentstva po
obrazovaniju (Rosobrazovanie) (AGTU) (RU)

(54) METHOD OF DECELERATING CRACK PROPAGATION IN BELT SAW

(57) Abstract:

FIELD: process engineering.

SUBSTANCE: invention relates to sawmilling
industry. Proposed method comprises creating initial
stress in sawing zone nearby crack end. Saw section
with radius of 2 to 5 mm with center at the saw end

is heated to 350-550 °C and kept at this temperature
for 20 to 50 s and cooled down to ambient
temperature.

EFFECT: higher reliability of saw web.

1 ex

RU 2 395 388 C1

RU 2 395 388 C1

RU 2 395 388 C1

Изобретение относится к ленточным пилам для распиловки древесины и может быть использовано на лесопильных и деревообрабатывающих предприятиях.

В процессе эксплуатации ленточные пилы испытывают большие напряжения от изгиба их на пильных шкивах и от натяжения. При определенном числе циклов нагружения в межзубовых впадинах ленточных пил возникают усталостные трещины.

Путем частой заточки можно удалить дефектный слой пилы в межзубовых впадинах и избежать образования трещин. Но частая заточка острых пил приводит к большому их расходу (у ленточных пил используется только 1/3 часть их ширины) и увеличению трудозатрат на их подготовку. По этим причинам трещинообразование в ленточных пилах является распространенным явлением.

Для того чтобы продлить срок эксплуатации ленточных пил, необходимо при возникновении трещин затормозить их дальнейшее распространение. Шведское акционерное общество «Uddeholm» в своем руководстве по изготовлению и уходу за дереворежущими пильными лентами на странице 38 рекомендует для торможения распространения трещин просверлить отверстие диаметром 3 мм в конце трещины. Концентрация напряжений в отверстии диаметром 3 мм значительно меньше, чем в конце трещины, но все же она значительна. Увеличение диаметра отверстия может привести к снижению прочности пилы, особенно в случае, если имеются трещины, идущие из соседних межзубовых впадин.

В этом же руководстве приводится другой способ торможения трещины в ленточной пиле. Путем нанесения ударов через кернер по двум сторонам трещины и ниже ее конца создаются в пиле у конца трещины напряжения сжатия, препятствующие дальнейшему распространению трещины.

Этот способ торможения распространения трещины в ленточной пиле взят за прототип.

Несмотря на свою простоту, этот способ имеет недостаток - трудно оптимизировать величину напряжений сжатия у конца трещины. При слабом ударе по пиле через кернер и на большом расстоянии от конца трещины напряжения будут незначительными и не дадут ощутимого эффекта. При сильном ударе по пиле через кернер и на малом расстоянии от конца трещины может произойти ее увеличение.

Необходимо для торможения трещины создать у ее конца нормированные напряжения сжатия металла пилы.

Это достигается тем, что участок пилы радиусом 2-5 мм с центром в конце трещины нагревается до температуры 350-550°C, выдерживается при этой температуре 20-50 с и охлаждается до температуры окружающей среды.

Диапазон температуры нагрева обусловлен следующим. При нагреве до температуры менее 350°C в пиле возникают только упругие деформации, которые при охлаждении пилы пропадают. При температуре более 550°C происходит отпуск металла пилы и изменяется его структура и твердость, что недопустимо.

При нагреве участка пилы вокруг конца трещины металл этого участка расширяется и напряжения растяжения превышают предел текучести. Металл вокруг участка нагрева расширяется упруго. При охлаждении термообрабатываемого участка в нем возникает остаточная деформация. Окружающие этот участок слои, растянутые упруго, при охлаждении стремятся вернуться в исходное состояние и сжимают слои металла термообработанного участка. Таким образом происходит термопластическая обработка участка пилы, окружающего конец трещины. Создаваемые на этом участке пилы напряжения сжатия будут тормозить распространение трещины в ленточной пиле. Величина создаваемых напряжений

RU 2 395 388 C1

сжатия будет зависеть от температуры нагрева термообрабатываемого участка, которая должна находиться в диапазоне от 350 до 550°C.

Пример. Ленточная пила толщиной 1,2 мм имеет длину трещины 10 мм с началом у одной из межзубовых впадин. На электроконтактной установке производим нагрев участка пилы радиусом 3 мм с центром в конце трещины до температуры 400°C и выдерживаем при этой температуре 40 с. Затем раздвигаем электроконтакты и охлаждаем пилу на воздухе. В результате термопластической обработки участка пилы вокруг конца трещины создаются на этом участке напряжения сжатия, препятствующие распространению трещины.

Формула изобретения

Способ торможения распространения трещины в ленточной пиле, включающий создание в зоне пилы у конца трещины начальных напряжений сжатия, отличающийся тем, что участок пилы радиусом 2-5 мм с центром в конце трещины нагревают до температуры 350-550°C, выдерживают при этой температуре 20-50 с и охлаждают до температуры окружающей среды.

Приложение 2

Программа работы датчика Холла

Program SysTimer;

Uses Crt;

Var

A :Long Int;	счетчик оборотов
B1 :Byte;	предыдущее состояние датчика
B2 :Byte;	текущее состояние датчика
D :Char;	

Const

C= \$378;	базовый адрес порта
-----------	---------------------

Begin

Clr Scr;

Port [C]:=\$FF;	подача напряжения на датчик
-----------------	-----------------------------

A:=0;	обнуляем счетчик оборотов
-------	---------------------------

Goto XY(30,10);	определяем подключение датчика к
-----------------	----------------------------------

компьютеру

IF Port[C+1]= 127

Then Begin

WriteLn	("Подключи датчик!");
---------	-----------------------

Repeat Until KeyPressed;

Port [\$378]:=0;

Exit;

End;

D:='1';	{задание начального значения клавиши}
---------	---------------------------------------

B1:=Port[C+1] And \$80;	{определяем состояние датчика}
-------------------------	--------------------------------

While D<> Chr(27) DO

Begin

Repeat

B2:=Port[C+1];	{определяем состояние датчика}
----------------	--------------------------------

If B1<B2

Then Begin

Inc(A);	{увеличиваем значение счетчика на 1}
---------	--------------------------------------

Goto XY(30,10);

```
        Write(A:10);
        B1:= B2;           {присваиваем текущее значение состояния
                             датчика предыдущему}

    End
Else Begin
    B1:=B2
    End;
Until KeyPressed;
D:= Read Key;
IF D='r'
    Then Begin
        A:=0;
        Goto XY(30,10);
        Write (A:10);
    End;
End;
Port [$378]:=0;
End.
```

Приложение 3

Рекомендации по оснащению зубьев пил ленточнопильного станка с
криволинейными аэростатическими направляющими

Возможность и целесообразность оснащения зубьев пилы ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими пластинками твердого сплава.

Ленточные пилы, применяемые на ленточнопильных станках традиционной конструкции (с пильными шкивами) имеют низкую долговечность полотен. При определенном числе циклов нагружения в межзубовых впадинах пил образуются трещины, которые, развиваясь, приводят к разрушению полотен пил. Во время заточки пил, дефектный слой в межзубовых впадинах удаляется. Отсюда следует, что значительное повышение стойкости зубьев пил (например, за счет оснащения зубьев пил пластинками и твердого сплава) сдерживается малой долговечностью полотен.

У ленточнопильного станка нового отсутствует биение и инерционность шкивов, что обеспечивает постоянство величины натяжения пилы в зоне резания ($\Delta\sigma_n=0$); отношение толщины пилы к диаметру криволинейных направляющих ($2R$) равно 6,67:10, в то время как у станков традиционной конструкции оно равно 1:10, это позволяет уменьшить напряжения от изгиба пилы в 1,5 раза, повышает жесткость и устойчивость пил за счет уменьшения свободной длины пил, что позволяет уменьшить силу натяжения пил в 1,5 раза. Отсюда следует, что имеется большой резерв повышения долговечности пил, который может быть реализован путем повышения стойкости зубьев пил и увеличения срока их работы без заточки.

В 4 главе рассмотрен длительный ленточнопильный станок, у которого ленточная пила толщиной $S=1,0$ мм движется по криволинейным аэростатическим направляющим, имеющим ширину $b=100$ мм. Радиус направляющих $R=750$ мм. Сила натяжения $T=5000$ Н. Биение пилы отсутствует $\Delta\sigma_n=0$. Расчеты показали, что коэффициент запаса прочности пилы такого станка $n=2,4$, не требуется периодической обработки межзубовых впадин и имеется возможность и целесообразность для повышения износостойкости зубьев оснастить их твердосплавными пластинками.

Особенности оснащения зубьев пил ленточнопильного станка нового типа.

Отсутствует опыт промышленного применения ленточных пил с зубьями, оснащенными пластинками из твердого сплава, поэтому рекомендации по припайке пластинок и их заточке могут быть даны, в основном, на основании опыта применения дисковых пил с пластинками из твердого сплава.

Пластинки из твердого сплава могут быть припаяны к передней или задней граням зубьев (рисунок П.3.1.).

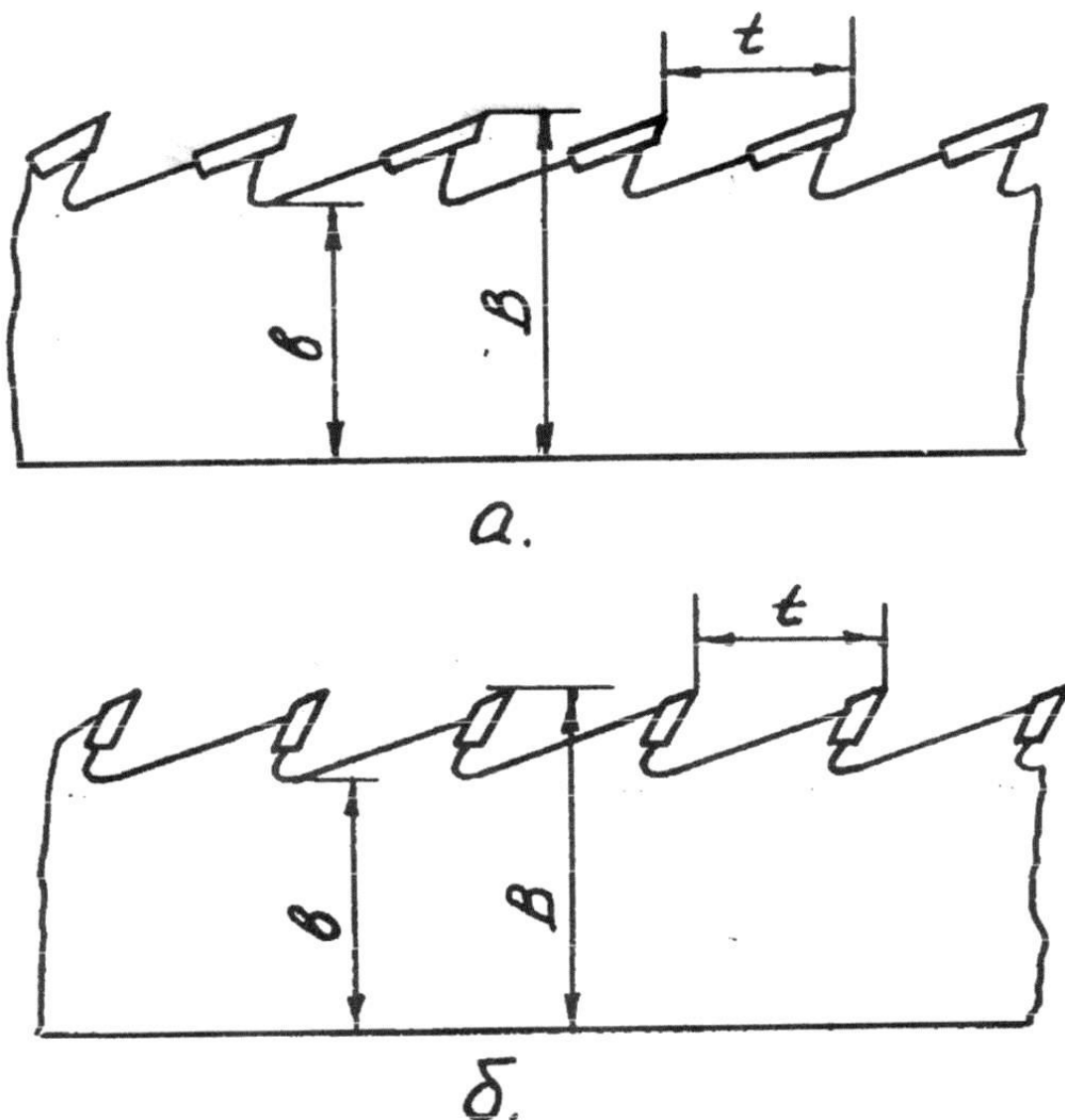


Рисунок П.3.1. Ленточная пила с зубьями, оснащенными пластинками из твердого сплава: *a* – по задней грани; *б* – по передней грани

Пайка – процесс создания неразъемного соединения различных материалов в твердом состоянии заполнением капиллярного зазора между ними промежуточным металлом или сплавом в жидком состоянии. Промежуточный металл или сплав называется припоем. Для защиты от окисления припоя и основного металла в процессе пайки применяют неметаллические вещества – флюсы.

Стадии процесса пайки: разогрев основного материала и припоя; расплавление флюса и растекание его по поверхностям, подлежащим пайке; расплавление припоя и заполнением им капиллярного зазора с вытеснением из него жидкого флюса; охлаждение паяного соединения.

Нагреватели. Для припайки пластинок наибольшее распространение получили два метода нагрева паяного соединения: индукционный – токами высокой частоты (ТВЧ), и электроконтактный.

При пайке ТВЧ зона термического влияния должна быть минимальной. Это обеспечивается двумя способами: за счет применения индукторов с минимальными размерами, обеспечивающих нагрев только участка пайки, или за счет применения охладителей пилы, уменьшающих зону термического влияния.

Электроконтактный метод нашел широкое применение благодаря простоте и низкой стоимости оборудывания. Минимальная зона нагрева обеспечивается за счет правильного выбора режимов.

Для оснащения ленточных пил пластинками из твердого сплава могут быть использованы генератор ТВЧ (марка ЛЗ1-25) с приспособлением для установки пил при пайке, индуктором и стойкой для базирования пластинок или электроконтактная установка для пайки конструкции СПКБ «Ленмебель» (марки НпЭ-60).

Пластинки из твердого сплава. Для оснащения дереворежущего инструмента применяют вольфрамкобальтовые твердые сплавы ВК6, ВК8, ВК15 по ГОСТ 3882-74. Стандартные размеры и форма пластинок выбираются по ГОСТ 13833-77. Для ленточных пил рекомендуется использовать пластинки из твердых сплавов ВК6 и ВК15. Рекомендуется форма пластинок 01Д (ГОСТ 13833-77) и минимальная ширина $l = 3,0$ мм (обозначение пластинки 3001-0001).

Технологический процесс подготовки пластинок твердого сплава начинают с контрольной операции.

Из партии отбраковывают пластинки с короблением, превышающим 0,05 мм на длине пластинки, с трещинами, отколами и выкрошенными кромками. Контроль производится визуально. У отобранных пластинок производится тщательная зачистка из опорных поверхностей. Такой поверхностью обычно является задняя поверхность пластинок. Пластинки зачищают вручную на вращающемся алмазном круге или в галтовочном барабане. Галтовочный барабан представляет собой полный цилиндр с хвостиком и навинчивающейся крышкой. Внутри к стенкам барабана приварены ребра для захвата пластинок. Барабан загружают на 2/3 объема пластинками и абразивной крошкой от шлифовального круга из карбида кремния (можно использовать крупный речной песок). Галтовочный барабан вращают 2 часа на токарном станке при скорости 80...90 об/мин. После зачистки пластинки промывают в спирте или ацетоне.

Припой. Для изготовления твердосплавных ленточных пил рекомендуется использовать твердые припои на медной основе: серебряные ПСр40, медноникелевые ПрМИц68-4-2, латунные Л61 и Л63.

Флюс. Для припайки пластинок из твердого сплава к зубьям ленточных пил рекомендуются флюсы, химический состав которых приведен в таблице П.3.1.

Таблица П.3.1

Номера и химический состав флюсов

Номер флюса	Химический состав, %				Припои, применяемые при пайке
	бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)	борная кислота (H_3BO_3)	фтористый кальций (CaF_2)	лигатура *	
1	100	-	-	-	Все припои
2	50	50	-	-	Латунные
3	-	51	49	-	Серебряные
4	69-73	21-23	4-10	-	Медноникелевые
5	14	80	5,5	0,5	Медные

*Лигатура: 48% Al, 48% Ca, 4% Mg.

Последовательность работы при пайке.

1. Уложить пластинку на базирующую поверхность столика стойки.
2. Посыпать пластинку тонким слоем флюса.

3. Положить на пластинку защищенную полосу припоя толщиной 0,2 мм, длиной, равной длине гнезда, а шириной несколько больше толщины пилы.
4. Посыпать припой флюсом.
5. Прижать сверху к пластинке оснащаемый твердым сплавом зуб пилы.
6. Включить нагрев, продолжая прижимать зуб к пластинке. После расплавления припоя через 2-3 сек. Выключить нагрев.
7. Отпуск паяного соединения выполняется на тех же установках сразу после пайки. Температура отпуска $450...550^0$, что соответствует началу свечения нагретой стали. Продолжительность отпуска 3...5 с.

Рекомендуется вести систематический контроль за качеством пайки путем оценки внешнего вида паяного соединения. Пайка хорошего качества характеризуется следующими признаками: зазор между пластинкой и зубом полностью пропаян, припой равномерно распределен по периметру шва в виде галтели и имеет блестящий вид, окалины или нагрева нет, зона засинения не выходит с поверхности зуба на полотно пилы.

Целесообразно периодически проверять качество пайки на пробных образцах путем нагружения оснащенных зубьев до разрушения. При правильной пайке и отпуске разрушение должно происходить по спаю при нагрузке не менее 300кгс.

Выборка гнезд под пластинку. Для повышения прочности пайки пластинок в зубья делаются гнезда под пластинки (Рисунок П.3.2.). Выборку гнезд производят методом глубокого шлифования на универсально-заточном станке. Длина и глубина гнезда под пластинку принимаются на 0,3...0,5 мм меньшими, чем длина и высота твердосплавной пластинки. Передний и задний углы, измеренные по твердосплавной пластинке должны быть 50 меньшими, чем передний и задний углы, измеренные по стальной части зубьев.

Заточка зубьев, оснащенных пластинками из твердого сплава. Гнезда под твердосплавные пластинки вышлифовывают на универсально-заточном станке кругами 1Т125х25х13х32 КЗ-40-СМ2-К8 (ГОСТ 2424-83) с подачей на врезание 0,2...0,5 мм/дв.ход. Размеры гнезд контролируют глубиномером штангенциркуля.

Для фуговки вершин зубьев после пайки можно использовать шлифовальный круг ПП125х10х32 КЗ-25-СМ1-к8 (ГОСТ 2424-83).

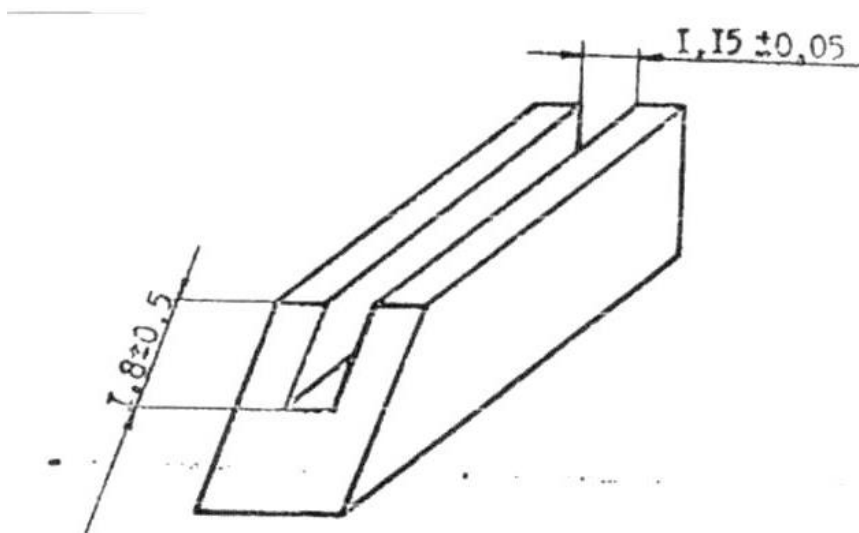


Рисунок П.3.2. Пластика из твердого сплава, припаяваемая к зубу ленточной пилы

Затачивают сначала переднюю, а затем заднюю грани зубьев (рисунок П.3.3.). Заточка зубьев по обеим граням обеспечивает лучшую режущую способность зубьев и допускает большее количество переточек. Для заточки твердосплавных пластинок рекомендуется использовать алмазный круг 2725-0012 (AT125x5x32) АСО125/100 Б1-100 (ГОСТ 16175-70). При заточке с передней грани снимается слой 0,04...0,05 мм, а с задней – 0,08...0,10 мм. При алмазной заточке без охлаждения рекомендуется обрабатывать только пластинку твердого сплава, не касаясь стальной части зубьев, во избежание «засаливания» алмазного круга и его усиленного износа. При появлении «засаливания» алмазного круга его чистят пемзой во время вращения с рабочей скоростью.

Необходимость шлифовки стальной части зубьев по задней грани возникает примерно через 10 переточек, а по передней грани – после 15 переточек.. Шлифовку стальной части зубьев производят после того, как возвышение стальной части зубьев над твердосплавной достигает 0,5 мм. Углы, под которыми шлифуют стальную часть зубьев, выбирают на 50 больше переднего и заднего углов, измеренных по твердосплавной пластинке. При заточке стальной части зубьев рекомендуется использовать шлифовальный круг 1Т150х16х32 Э9А-40-СМ2-К5 (ГОСТ 2424-83). В случае, если необходимо сошлифовать твердосплавную и стальную часть зубьев, можно использовать круг КЗ (из карбида кремния зеленого) 1Т125х13х32 КЗ-40-СМ2-К8 (ГОСТ 2424-83).

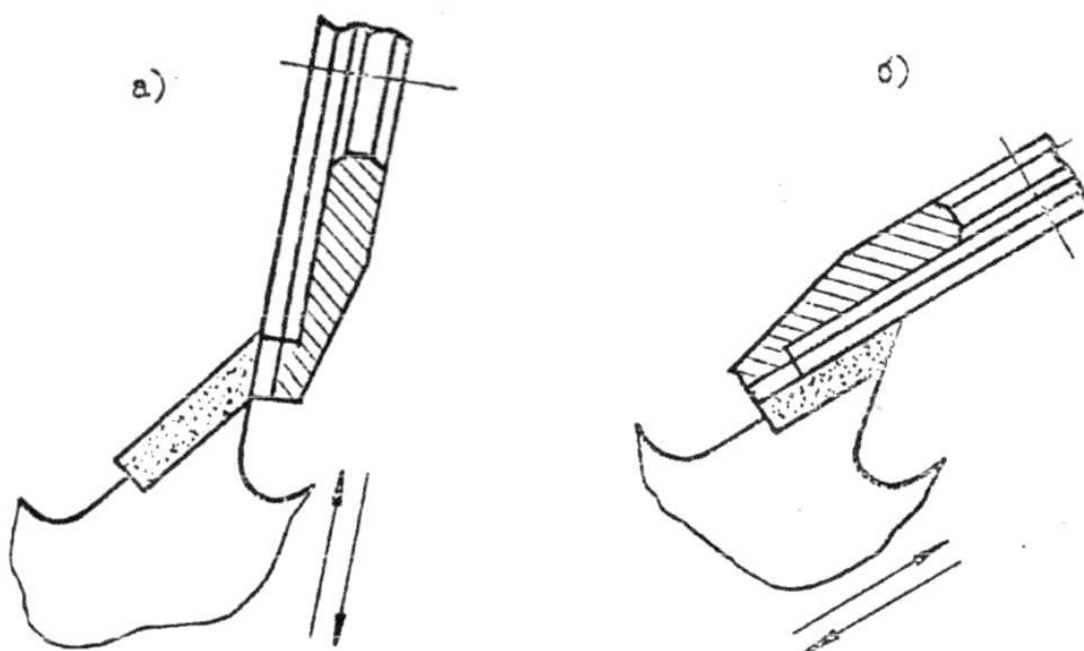


Рисунок П.3.3 Схемы заточки зубьев ленточной пилы: а – по передней грани; б – по задней грани

Продольное и поперечное поднутрения зубьев пил (рисунок П.3.4) осуществляют поворотом магнитной плиты, на которой закрепляются пилы при заточке, соответственно на угол продольного поднутрения ($t = 20$) и на угол поперечного поднутрения ($\lambda = 40$). Заточка боковых граней осуществляется алмазным кругом АПП 125х10 АСР160/125-Б8-100.

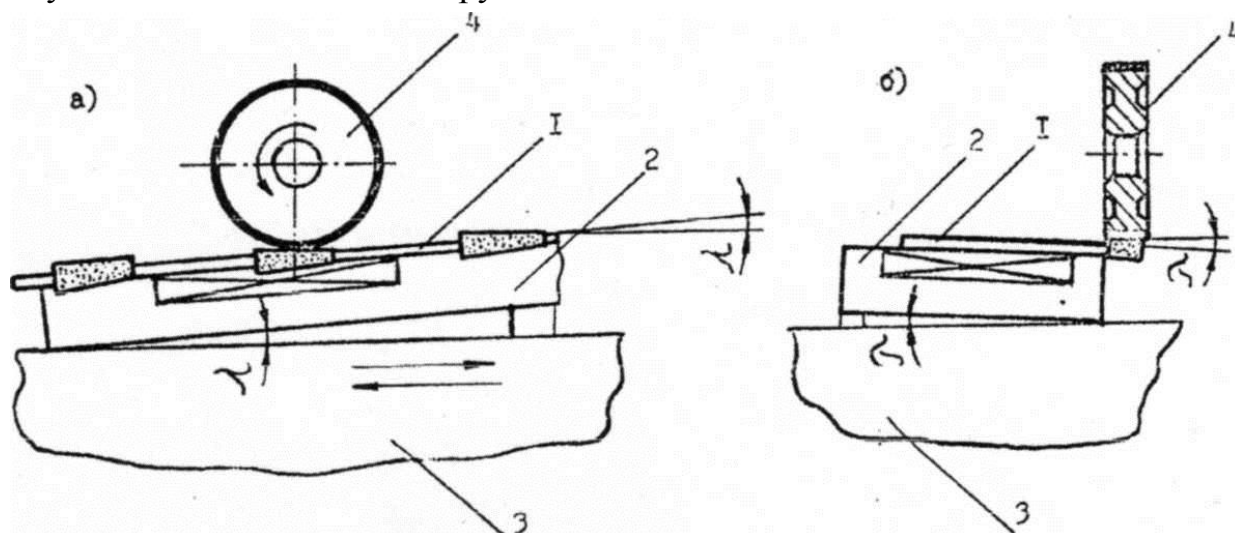


Рисунок П.3.4. Схемы продольного (а) и поперечного (б) поднутрения зубьев ленточной пилы: 1 – ленточная пила; 2 – магнитная плита; 3 – стол заточного станка; 4- алмазный круг

Первоначальная обточка зубьев ленточной пилы, не оснащенной твердым сплавом, выполняется на заточных станках ТчЛ-18 или ТчПА-6,7. Алмазная заточка зубьев, оснащенных пластинками из твердых сплавов, производится на универсально-заточных станках для металлорежущего инструмента 3А64Д, 3Б641, 3Б642, 3Б643 и др. Витебского завода заточных станков.

Приложение 4

Рекомендации по оснащению зубьев ленточных пил станка с
криволинейными аэростатическими направляющими стеллитом

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСНАЩЕНИЮ ЗУБЬЕВ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ СТАНКА С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ АЭРОСТАТИЧЕСКИМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ СТЕЛЛИТОМ

4.1. Вступительные пояснения

При заточке ленточных пил ширина их уменьшается. У ленточных пил, которые эксплуатируются на станках с криволинейными аэростатическими направляющими, минимальная ширина полотна не должна быть меньше ширины направляющих. Кроме этого при уменьшении ширины полотна пилы уменьшается ее устойчивость и точность пиления. С целью сохранения постоянства ширины полотна пилы путем увеличения периода стойкости зубьев, зубья ленточных пил целесообразно оснастить твердым сплавом. При пилении сухой древесины и древесины повышенной плотности целесообразно зубья ленточных пил оснащать пластинками из твердых сплавов.

При пилении древесины повышенной важности ($W > 30\%$) зубья пил для повышения износостойкости могут быть наплавлены литым твердым сплавом-стеллитом. Повышенная износостойкость в этом случае достигается за счет большого содержания карбидообразующих элементов в стеллите. Стеллит имеет высокую теплостойкость и химически пассивен к кислотам, щелочам и окислению.

Перед наплавкой ленточные пилы должны быть сварены, полотно пилы должно быть выправлено и устранены его дефекты, зубья расплющены.

4.2 Наплавка зубьев ленточных пил стеллитом

Участок для наплавки зубьев ленточных пил организуется у торцевой части верстака для правки и вальцовки пил. Вершины зубьев должны быть направлены вверх. Для наплавки зубьев ленточных пил стеллитом можно использовать приспособление НПЛ-1 (СибНИИЛП И 61-00-00). Наплавка стеллита может выполняться ручными горелками типа «Звездочка», выпускаемыми по ГОСТ 1077-69. По рукаву (ГОСТ 9356-60) с внутренним диаметром 6 мм (тип 1) подводится к горелке ацетилен (ГОСТ 5457-60),

поставляемый в баллонах (ГОСТ 949-73). Рекомендуется применять ацетиленовые редукторы РД-2АМ (ГОСТ 6268-68). По рукаву (ГОСТ 9356-60) с внутренним диаметром 6 мм (тип 111) подводится к горелке технический кислород (ГОСТ 5583-68), поставляемый в баллонах (ГОСТ 949-73). Для регулировки рекомендуется использовать кислородные редукторы РК-53БМ (ГОСТ 6268-68).

Структура ацетилено-кислородного пламени показана на рисунке П. 4.1. Часть пламени, которая находится около сопла наконечника горелки и имеет особенно сильное свечение, называется ядром. Далее идет наружный видимый конус пламени. Температура этой зоны – 2800...3000 градусов. Наплавка производится в этой зоне на расстоянии 3...5 мм от ядра пламени. При наплавке зубьев необходимо поддерживать пламя со средним избытком ацетилена, при этом длина видимого конуса в 2,5...3 раза больше ядра пламени.

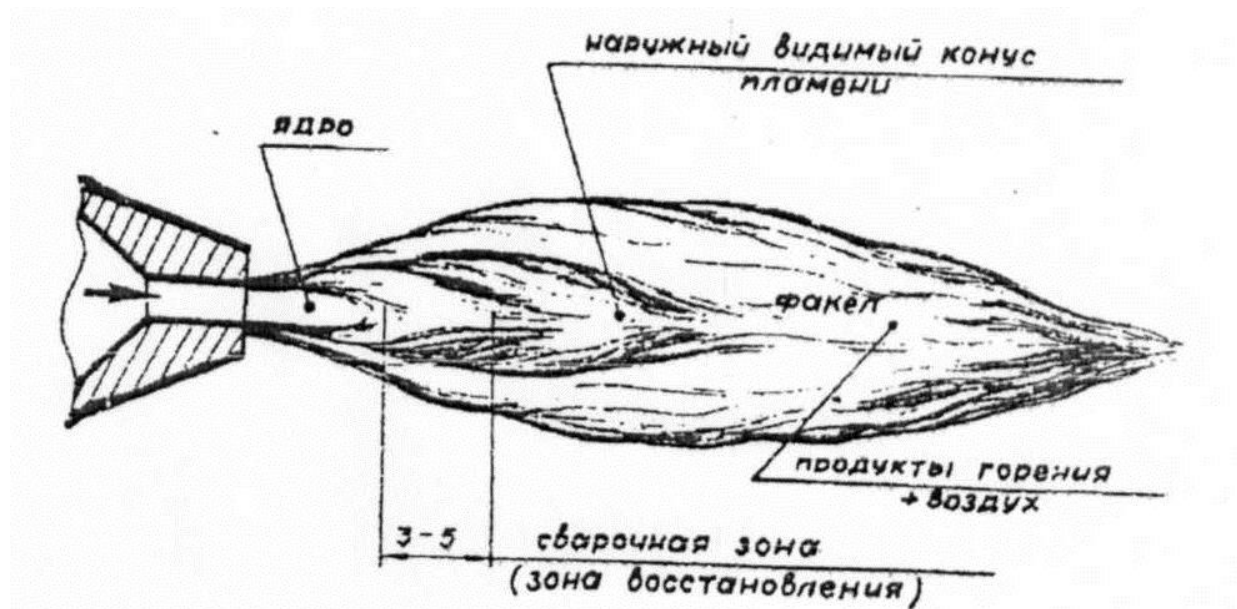


Рисунок П.4.1 Структура пламени горелки

На зубьях ленточных пил целесообразно направлять стеллит типа ВЗКР или ВЗК (ГОСТ 21449-75). Предпочтение следует отдавать стеллиту ВЗКР. Стеллиты ВЗКР и ВЗК выпускаются Торезским заводом наплавочных твердых сплавов в прутках 5-6 мм, а по особому заказу могут поставляться диаметром 4 мм. Для наплавки на зубья ленточных пил станка ЛСД 150 следует использовать горелку «Звездочка» с наконечником № 1, а прутки стеллита должны иметь диаметр не более 4 мм.

Наплавку зубьев следует вести правым способом, то есть горелку следует перемещать слева направо впереди прутка стеллита, начиная с

вершины зуба (рисунок П.4.2). При этом легко контролируется степень разогрева металла пилы и стеллита с металлом пилы.

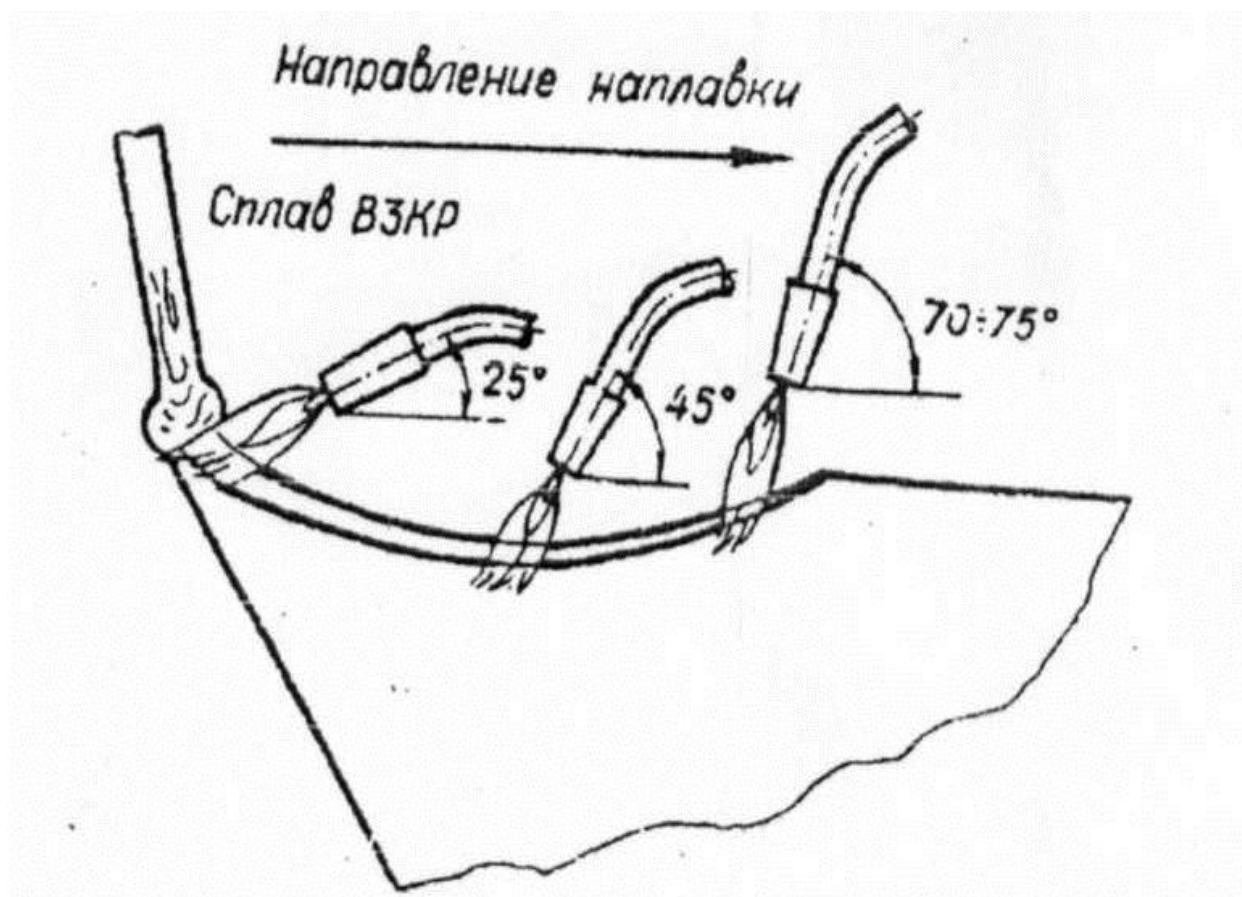


Рисунок П.4.2 Положение прутка стеллита и наконечника горелки при наплавке

При наплавке зуба сначала производится разогрев прутка до стадии сплавления, затем разогрев лунки плющение в вершине зуба до «запотевания». После этого немедленно сплавляют на зуб каплю сплава, не отрывая его от прутка.

Этим защищается кончик зуба от сгорания. В дальнейшем, по мере разогрева лунки до «запотевания», стеллит распространяется по лунке. После заполнения лунки стеллитом производится дозировка наплавки до нужной формы. Величина превышения наплавки над передней гранью зуба должна быть 0,8..1,0 мм (рис. П.4.3). Время наплавки одного зуба 4...6 с.

При наплавке не следует допускать перегрева стеллита и доведения его до кипения, так как это приводит к образованию пор и раковин.

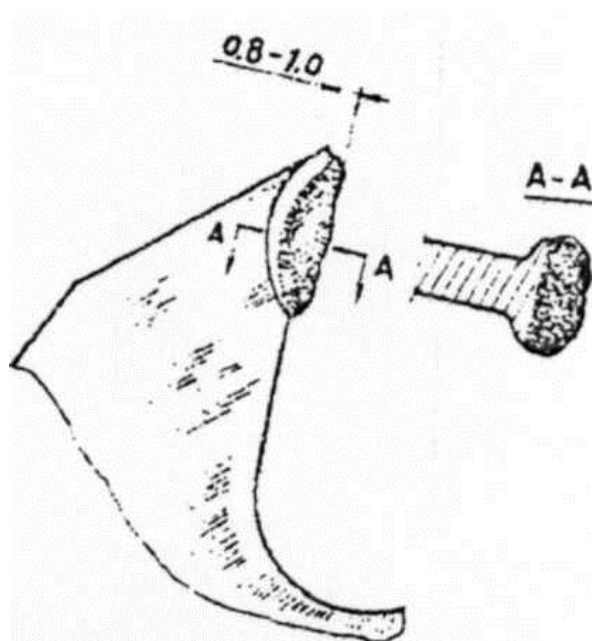


Рисунок П.4.3 Форма и габариты наплавки стеллита на зуб пилы

Ориентировочно для одного станка в год требуется сплава ВЗКР - 12...15 кг, карбида кальция для приготовления ацетилена – 130...150 кг, кислорода – 25...30 метров кубических.

4.3. Термообработка зубьев пил после наплавки

Термообработка зубьев пил предназначена для снятия мартенситной структуры в стали 9ХФ, закаливающейся на воздухе. Сам стеллит (сплавы ВЗКР и ВЗК) не требует термообработки, так как не меняет своей структуры и твердости при нагреве и охлаждении. Для стабильного получения качественных зубьев следует сразу после наплавки 8...10 зубьев производить отпуск, таким образом допустимое время нахождения зубьев в закаленном состоянии не должно превышать 1...1,5 мин.

Отпуск зубьев производится газовой горелкой пламенем той же мощность и состава, что и наплавка зубьев. Пламя направлено к вершине зуба под углом наклона наконечника к плоскости полотна пилы 30...45 градусов, причем наружный конус пламени должен касаться тела зуба примерно в третьей четверти наплавки, считая от его вершины (рис. П. 4.4).

Температура нагрева зуба при отпуске 500...600 градусов Цельсия. Такой температуре соответствует темно-красный цвет калия стали 9ХФ. Нагрев зуба прекращают, когда начинается видимое свечение сплава.

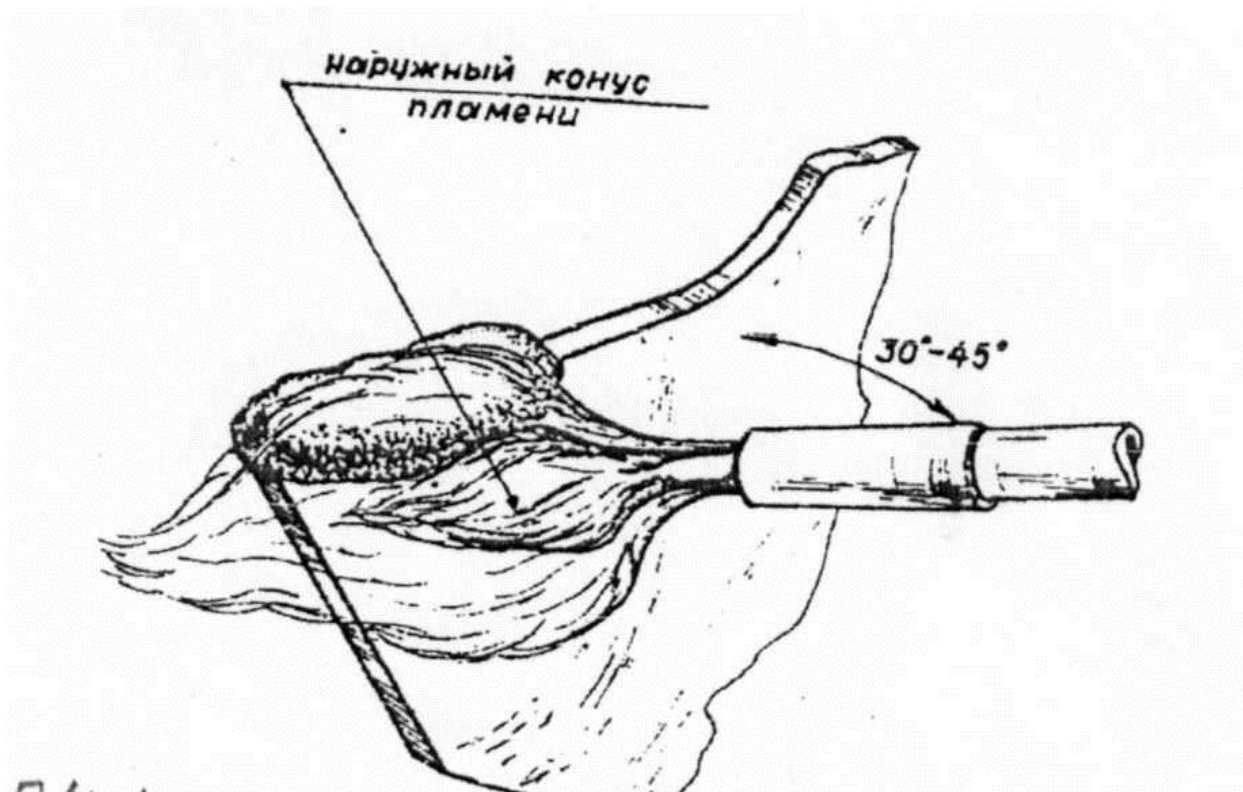


Рисунок П.4.4 Взаимоположение горелки относительно зуба при термообработке

При отпуске зубьев одинаково опасно как недогреть зубья до нужной температуры, так и перегреть. При перегреве материал пилы после охлаждения на воздухе может принять вторичную закалку, а при недогреве отпуска может не произойти. Контроль отпуска наплавленных зубьев производится личным напильником.

4.4. Наплавка стеллита на зубья ленточных пил в форму

Сотрудниками ЦНИИМОД рекомендовано приспособление для наплавки стеллита на зубья ленточных пил толщиной 1,0 мм без предварительного их плющения. Приспособление (рисунок П.4.5) представляет собой медную пластинку с прорезью под пилу и углублением в

зоне расположения вершинки зубьев. При наплавке стеллитом пила входит в прорезь приспособления.

Предварительно подготовленная вершинка зуба устанавливается так, чтобы ее передняя грань располагалась на 2...3 мм ниже верхнего уровня приспособления. Наплавляемый материал удерживается от скатывания с зуба пилы углублением, выполненным в приспособлении.

Технология наплавки стеллита и отпуска зуба описаны выше. С целью снижения температуры нагрева периферии пилы, прилегающей к кромке, необходимо непрерывно или периодически (после наплавки 2...3 зубьев) охлаждать приспособление.

Приспособление позволяет направлять неплющенные зубья, снизить расход стеллита и производить повторную его наплавку без стачивания остатков стеллита на зубьях, что уменьшает расход инструмента и снижает трудоемкость подготовки зубьев, оснащенных стеллитом.

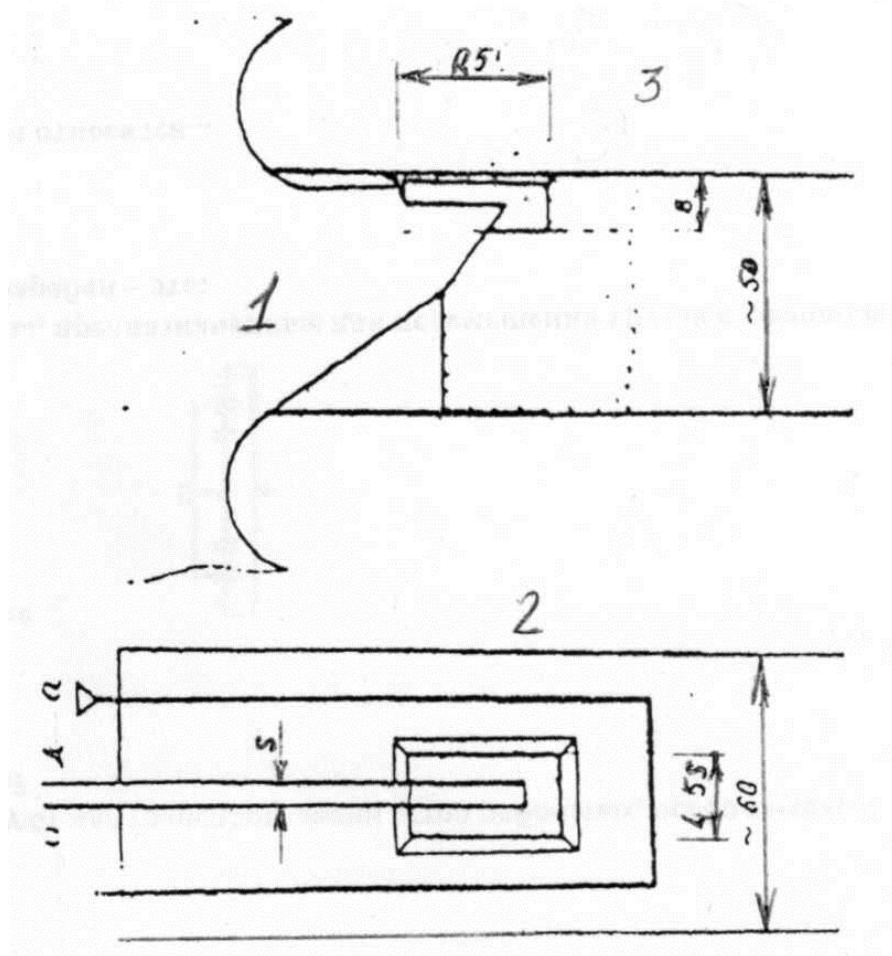


Рисунок П.4.5 Схема расположения зуба пилы в приспособлении для наплавки: 1 – пила; 2 – приспособление; 3- наплавляемый материал

4.5. Техника безопасности при наплавке и термообработке зубьев пил

При наплавке зубьев и отпуске необходимо выполнять следующие правила техники безопасности:

- 1) Ацетиленовые и кислородные баллоны нельзя бросать и подвергать ударам. Не допускается перевозить и хранить одновременно баллоны с ацетиленом и кислородом;
- 2) При размещении баллонов на рабочем месте расстояние их от источников открытого огня должно быть не менее 5м. Следует ограждать баллоны экранами из несгораемых материалов и защищать от попадания на них масла;
- 3) Запрещается подходить к баллону с зажженной горелкой;
- 4) Перед присоединением редуктора к баллону его вентиль следует продуть;
- 5) Наплавщик должен работать в защитных очках и в спецодежде;
- 6) Рабочее место наплавщика должно быть обеспечено вытяжной вентиляцией и направленным источником света достаточной мощности для различения цветов побежалости на зубьях пил;
- 7) Необходимо помнить, что зубья пил после термообработки горячие, поэтому следует соблюдать осторожность при снятии, транспортировке и перемещении пил.

4.6. Заточка зубьев ленточных пил, оснащенных стеллитом

Для заточки зубьев пил по контуру используются заточные станки: специализированные типа ТчЛ и универсальные типа ТчПА. В отличие от зубьев ленточных пил, не оснащенных стеллитом, зубья ленточных пил, оснащенных стеллитом, требуют заточки боковых грней. Боковая заточка может быть выполнена на специализированном станке ТчПБ или а универсальном заточном станке.

Допускается использование импортных специализированных станков для заточки боковых граней зубьев пил, обеспечивающих получение одновременно вертикального и продольного поднутрения зубьев.

Черновую заточку следует начинать ориентируясь на зубья с наиболее выступающими наплавками сплава над их передней гранью. Подающую

собачку необходимо настроить таким образом, чтобы она упиралась в переднюю грань зуба, а не в наплавку.

Боковая заточка на станках ТчПБ выполняется кругами профиля ПП 25 на 20 на 32 – 2А – 25СМ1К8. Производительность боковой заточки – 30 зубьев в минуту. Окружная скорость круга – 25...30 метров в секунду. Максимальная величина снимаемого слоя с одной стороны зуба – 1,5 мм. Количество проходов – 2.

Приложение 5

Акт внедрения в учебный процесс результатов диссертационной работы
«Повышение долговечности ленточных пил для распиловки древесины»

Первый проректор по стратегическому развитию и науке

П.А. Марьяндышев

«25» июня 2021 г.



Коваленко Олега Леонидовича

«Повышение долговечности ленточных пил для распиловки древесины»

Настоящим Актом подтверждаем, что результаты диссертационной работы Коваленко О. Л. «Повышение долговечности ленточных пил для распиловки древесины» используются в учебном процессе кафедры инжиниринга транспортно-технологических средств и оборудования при проведении занятий с обучающимися направления 15.04.02 Технологические машины и оборудование по магистерской программе : «Эксплуатационный инжиниринг транспортных и технологических машин».

При этом информация, представленная в указанной диссертационной работе, применяется в процессе преподавания дисциплины «Инновационное развитие транспортно-технологических машин и оборудования». Материалы диссертационной работы используются при проведении практических занятий в качестве примеров инноваций в области совершенствования технологии и оборудования деревопереработки.

И.о. заведующего кафедрой
инжиниринга транспортно-
технологических средств
и оборудования, доцент,
кандидат технических наук.

доцент кафедры инжиниринга
транспортно-технологических
средств и оборудования, доцент,
кандидат технических наук

И.О. Думанский

А.А. Елепов

Личную подпись Дуванченко Ч.О.
заверяю: ученый секретарь ученого совета САФУ
Рассел Е.Б. Раменская

Личную подпись Беленов А.А.
заверяю: ученый секретарь ученого совета САФУ
Павлов Е.Б. Раменская