

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа ИШНПТ  
Направление подготовки Машиностроение  
Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследование технологических возможностей термической правки нежестких деталей из алюминиевого сплава АМГ6</b>

УДК 621.78:621.81:669.715-047.37

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сизинцев Роман Евгеньевич		

**Руководитель**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Охотин И.С.	Кандидат технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хаперская А.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	Доктор технических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Арляпов А.Ю.	Кандидат технических наук		

## Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
P2	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения
P3	Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать
P5	Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа
<b>Общекультурные компетенции</b>	
P6	Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства
P7	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, для приобретения новых знаний и умений.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНПТ  
 Направление подготовки Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
Арляпов А.Ю.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Сизинцев Р.Е.

Тема работы:

**Исследование технологических возможностей термической правки нежестких деталей из алюминиевого сплава АМГ6**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

20.03.2018 №1973/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

8.06.2018

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Литература по технологии термообработки алюминиевых сплав.

Деталь типа «Стенка» из алюминиевого сплава АМГ6, заготовки из АМГ6. Материал для изготовления оснастки

Отжиг производится в электропечи лабораторной.

Измерения коробления проводится на измерительных приспособлениях. Определение остаточных напряжений производится механическим методом.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Исследование остаточных напряжений в алюминиевых деталях. Исправление коробления изготавливаемых деталей термообработкой. Совершенствование технологии изготовления нежестких алюминиевых деталей с учётом термостабилизации формы. Измерения прогиба вырезанных заготовок, после различных технологических видов обработки. Измерение прогиба детали «Стенка» после термоправки при различных режимах.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация PowerPoint</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Исследовательский</p>	<p>Охотин И.С.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Хаперская А.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Федорчук Ю.М.</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Пичугова И.Л.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Приложение А</p>	
<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Охотин И.С.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сизинцев Р.Е.		

## РЕФЕРАТ,

Выпускная квалификационная работа 129с., 17 рис., 39 табл., 28 источников.

Ключевые слова: остаточные напряжения, термическая обработка, коробление, термоправка, измерение прогиба, алюминиевый сплав АМгб.

Цель работы – экспериментальное исследование по снижению коробления нежестких деталей из алюминиевого сплава АМгб. Совершенствование технологии изготовления нежестких деталей из АМгб для устранения, либо предотвращения коробления в процессе их изготовления. Определение оптимальных режимов термоправки сплава АМгб.

Задачи:

1. Исследование остаточных напряжений в алюминиевых деталях;
2. Устранение коробления нежесткой детали термоправкой. Определение оптимальных режимов термоправки;
3. Разработка технологии изготовления нежестких деталей из АМгб с учётом термостабилизации формы.

В результате исследования определили оптимальные режимы термоправки на нежесткой детали. Исследовали внутреннее напряженное состояние в поставляемых заготовках и после различных технологических операций.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: заготовка из алюминиевого сплава АМгб, до и после технологической обработки.

Степень внедрения: используются в учебном процессе в отделении школы материаловедения.

Область применения: единичное и мелкосерийное производство.

Экономическая эффективность/значимость работы: снижение себестоимость детали за счет снятия остаточных напряжений, повышение качества изделия.

В будущем планируется результаты выполненного исследования представить в виде рекомендаций для инженеров-технологов.

**В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:**

1. ГОСТ 17232-99 Плиты из алюминия и алюминиевых сплавов.

Технические условия;

2. ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые.

Марки;

3. ГОСТ 26877-91Metalлопродукция. Методы измерения отклонений формы.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. Обзор литературы.....	11
2. Теоретическая часть. Методы исследования.....	11
2.1 О производстве деталей из алюминиевых сплавов. Алюминиевый сплав АМгб.....	11
2.2 Коробление .....	14
2.3 Остаточные напряжения в металлопродукциях .....	14
2.3.1 Образование остаточных напряжений после пластической деформации .....	20
2.3.2 Образование остаточных напряжений после нагрева и охлаждения.....	22
2.3.3 Остаточные напряжения, возникающие после остывания отливок.....	24
2.3.4 Остаточные напряжения, возникающие после механической обработки.....	25
2.4 Методы измерения остаточных напряжений .....	27
2.4.1 Неразрушающие методы .....	27
2.4.2 Полуразрушающие методы .....	28
2.4.3 Разрушающие методы.....	28
2.5 Методы снижения уровня или перераспределения остаточных напряжений.....	36
2.6 Термическая обработка алюминиевых сплавов .....	41
2.7 Термические методы снижения остаточных напряжений .....	43
3. Объект и методы исследования .....	48
4. Результаты исследования .....	52
4.1 Исследование внутреннего напряженного состояния алюминиевых заготовок в процессе технологической обработки .....	52
4.2 Влияние фрезерования на остаточные напряжения.....	57
4.3 Определение оптимальных режимов термоправки детали «Стенка».....	59
5. Заключение .....	62
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	64
7. Социальная ответственность.....	78
Список используемых источников .....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	100



## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях рыночных отношений необходимо непрерывное развитие конкурентоспособности продукции машиностроения. Эта цель может быть достигнута повышением технического уровня продукции, увеличением надежности изделий. Важным показателем надежности механизмов и машин является стабильность формы их базовых деталей. В таких отраслях промышленности, как авиастроение, ракетостроение требуется изготовление высокоточных изделий с минимальным отклонением форм. Не составляют исключения и детали, получаемые из заготовок алюминиевых сплавов. Из алюминиевых сплавов изготавливаются корпуса, основания в которые в дальнейшем при сборке устанавливаются электрические платы и прочая электроника. При этом стремятся к уменьшению материалоемкости изделий. В связи с чем при конструировании закладываются минимальные толщины стенок, доньшка деталей. Из-за малой жесткости деталей возникают существенные коробления после технологических операций. Возникает задача снижения коробления алюминиевых нежестких деталей.

Стабилизация геометрии мало жестких деталей является одной из актуальных задач современного машиностроения. Эта проблема решается в основном за счет управления остаточными напряжениями.

Цель работы: Экспериментальное исследование по снижению коробления листовых деталей из алюминиевых сплавов технологическими методами термоправки на основе измерения остаточных напряжений.

Задачи:

- 1) Исследование остаточных напряжений в деталях.
- 2) Изучение методов снижения коробления нежестких деталей термоправкой;
- 3) Экспериментальное исследование уменьшения коробления методами на основе измерения остаточных напряжений;
- 4) Разработка технологии изготовления алюминиевых корпусов с учётом термостабилизации.

Совершенствование технологических процессов изготовления маложестких деталей является важной задачей, повышающей эффективность производства и качества продукции машиностроения.

## **1. Обзор литературы**

В работе приведен обзор работ, статей в области остаточных напряжений в металлах. Рассмотрены общие вопросы, касающиеся остаточных напряжений в металлоизделиях.

Большую работу в области изучения остаточных напряжений среди отечественных исследователей провели такие профессора, как Биргер И.А. в работе «Остаточные напряжения», Буркин С.П. «Остаточные напряжения в металлопродукциях», Чернышёв Г.Н. «полезные и опасные остаточные напряжения».

Методы измерения остаточных напряжений хорошо описали Гликман Л.А. в своей работе «Методы определения остаточных напряжений», Шайер Г.С. Практические методы измерения остаточного напряжения.

В работе представлена также информация из иностранных источников. Представим известную на сегодня теорию и результаты исследований.

## **2. Теоретическая часть.**

### **2.1 О производстве деталей из алюминиевых сплавов.**

#### **Алюминиевый сплав АМг6**

В настоящее время изготовление деталей из алюминиевых сплавов – это сфера, которая развивается очень активными темпами, и в этом нет ничего удивительного, ведь этот металл:

- легко поддается механической и другой обработке;
- обладает отличными литейными свойствами;
- стойко переносит воздействия коррозионных процессов;
- имеет внушительные прочностные характеристики;
- лёгкость;
- высокая теплопроводность;
- отличается высокой электропроводностью;
- неадекватностью соединений алюминия.

Все эти полезные свойства сделали алюминий основным сырьём в авиационной и авиакосмической промышленности. Алюминиевые изделия востребованы в разных отраслях строительства, машиностроения, пищевой промышленности и в других сферах.

Сплавы алюминия с магнием именуется магналиями. АМг6 - это магналий высокой пластичности, но средней прочности. Он обладает хорошей коррозионной стойкостью, хорошей обрабатываемостью резаньем и хорошо обрабатывается давлением. Однако, в ряду прочих широко известных магналиев этот сплав занимает первое место по прочности и твёрдости, но последнее место по коррозионной стойкости и последнее место по пластическим свойствам. Хотя он хорошо сваривается, но сварной шов АМг6 более пористый чем у того же АМг3 и часто требует дополнительной обработки. Это один из самых лёгких сплавов алюминия с плотностью 2,65 г/см<sup>3</sup>.

### **Свойства материала АМг6**

Химический состав материала АМг6 описывается в ГОСТ 4784-97 и включает: до 93,68 % алюминия, 5,8-6,8 % магния и прочие примеси.

Этот сплав содержит самое большое количество магния среди магналиев. Высокое содержание магния положительным образом сказывается на прочности и твёрдости изделий из этого материала и они хорошо поддаются обработке резаньем. Но если применять АМг6 для обработки давлением, для этого потребуется большое число отжигов, так как в ходе процедур по деформации изделия из этого магналия будут быстро нагартовываться с повышением твёрдости и ухудшением пластических свойств, электропроводности и теплопроводности [1].

**Таблица 2.1 Свойства сплава АМг6**

Химический состав в % материала АМг6									
Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Be	Mg	Zn	Примесей
до 0.4	до 0.4	0.5 - 0.8	0.02 - 0.1	91.1 - 93.68	до 0.1	0.0002 - 0.005	5.8 - 6.8	до 0.2	прочие, каждая 0.05; всего 0.1
Примечание: Al - основа; процентное содержание Al дано приблизительно									
Механические свойства при T=20°C материала АМг6 .									
Сортамент		Размер	Напр.	$\sigma_b$	$\sigma_T$	$\delta_5$	$\psi$	KCU	Термообр.
-		мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м <sup>2</sup>	-
Трубы, ГОСТ 18482-79				315	145	15			
Пруток, ГОСТ 21488-97				285-315	120-155	15			
Лента нагартован., ГОСТ 13726-97				375	275	6			
Лента отожжен., ГОСТ 13726-97				305-315	145-155	15			
Профили, ГОСТ 8617-81				314	157	15			
Плита, ГОСТ 17232-99				275-305	130-145	4-11			
Твердость АМг6 ,						HV 10 <sup>-1</sup> = 65 МПа			
Физические свойства материала АМг6 .									
T	E 10 <sup>-5</sup>	$\alpha$ 10 <sup>6</sup>	$\lambda$	$\rho$	C		R 10 <sup>3</sup>		
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м <sup>3</sup>	Дж/(кг·град)		Ом·м		
20	0.71			2640			67.3		
100		24.7	122		922				

Из АМг6 выпускают широкий спектр металлопроката с различным состоянием материала. Сплав относится к деформируемым но не термоупрочняемым. Он не поставляется в состоянии после термического упрочнения. В виду относительно низкой коррозионной стойкости плиты из этого материала могут выпускаться с плакировкой техническим алюминием АД1 слоем толщиной 2-4% от толщины изделия, для защиты его от электрического и химического воздействия. В продаже Вы найдёте заготовки из АМг6:

Область применения

Из сплава АМг6 изготавливают по ГОСТ:

- Плиты АМГ6,
- Листы АМГ6,
- Нагартованные и отожжённые ленты,
- Плиты,
- Прутки АМГ6.

Также иногда из сплава АМгб производят отливки:

- Слитки,
- Слябы.

Так как АМгб хорошо поддаётся резанию, то заготовки из него могут обрабатываться на станках. Это — прочный стойкий к коррозии металл, с достаточной прочностью сварного шва. Недостатков в его применении можно избежать, прибегнув к дополнительной обработке сварного шва и плакировке.

Этот сплав применяется в вагоностроительной промышленности — для производства кузовов и рам вагонов, нагруженных полок, в кораблестроении — для изготовления мачт, корпусов и узлов подъёмного оборудования, а так же в строительстве — для изготовления перегородок, деталей лифтов.[2]

Но при технологической обработке нежестких деталей из алюминиевых сплавов возникают определённые проблемы, связанные с искажением задаваемой формы деталей. Современное машиностроение нуждается в совершенствовании технологии изготовления деталей со стабилизацией формы.

## **2.2 Коробление**

Коробление – любое отклонение от первоначально задаваемой формы, размера, контура изделия вследствие действия внутренних напряжений. Коробления может быть вызвано неравномерным нагревом или охлаждением, деформацией или фазовыми превращениями металла. Коробление возникает после отливки деталей с последующим охлаждением, термообработки, механообработки, сварки деталей, химической обработки. Самопроизвольное коробление изделий наблюдается даже при продолжительном вылеживании их без применения.

Все эти процессы так или иначе связаны с изменениями внутренних напряжений в детали.

## **2.3 Остаточные напряжения в металлопродукциях**

Остаточными называют напряжения, существующие в конструкции или в отдельных ее элементах при отсутствии внешних силовых, тепловых и других воздействий. В технике для обозначения остаточных напряжений используют

также названия технологических процессов, после которых они проявляются: сварочные напряжения, закалочные напряжения, деформационные, напряжения правки или отделки продукции. Остаточные внутренние напряжения играют значительную роль в природе и технике. Человек издавна научился пользоваться их полезными свойствами[3]. Умелое применение внутреннего напряженного состояния в материалах и конструкциях может дать большие выгоды их создателям. К сожалению, отрицательную роль остаточные напряжения играют чаще, чем хотелось бы. В технике достаточно примеров разрушений, вызванных большими технологическими напряжениями. Чаще всего совершенствование технологии металлообработки предполагает борьбу с остаточными напряжениями. Однако они могут быть как опасными для эксплуатационных свойств изделий, так и являться весьма эффективным средством повышения многих характеристик металла[4]. Наличие остаточных напряжений в изделиях может вызвать коробление, растрескивание из-за коррозии, хрупкое разрушение, понижение предела упругости материала, изменение предела усталости и т.д. Растягивающие остаточные напряжения в поверхностных слоях особенно вредны для металлоизделий, работающих при знакопеременной нагрузке, так как такие напряжения способствуют усталостному. Вредное действие остаточных напряжений сказывается и в повышении общей химической активности металла. Особенно вредно усиление межкристаллитной коррозии под действием растягивающих остаточных напряжений [5]. В то же время в результате исследований [6] установлено, что благоприятное распределение остаточных напряжений в изделиях может повысить их вибрационную и усталостную прочность. Поверхность изделий, как правило, является наиболее «слабой» зоной, поэтому любая обработка, которая приводит к возникновению и росту поверхностных сжимающих напряжений, будет благоприятно сказываться на эксплуатационных свойствах изделий.

Следовательно, в разработке любой технологии производства металлоизделий усилия должны направляться не на борьбу с остаточными

напряжениями, а на их оптимальное управление, т. е. на поиск таких распределений напряжений, которые гарантированно улучшают эксплуатационные свойства изделий. Без сомнения, такая оптимизация технологий трудна из-за многообразия причин порождения остаточных напряжений и сложности механизмов их измерения при неоднородных полях деформаций и температур, при фазовых превращениях и структурных перестройках металлов и сплавов [3]. В последнее время выполнено много исследований остаточных напряжений в металлах после механической, термической и химической обработок. Однако данные о величине и распределении остаточных напряжений в металлопрокате и в металлоизделиях различного назначения, получаемых в условиях массового металлургического производства, почти отсутствуют, а имеющиеся примеры о наличии напряжений не увязаны с технологией производства и эксплуатационными свойствами [5].

Под стабилизацией формы в дальнейшем будем понимать прекращение или уменьшение искажения формы деталей или конструкций в результате перераспределения остаточных напряжений при последующих технологических операциях, в процессе хранения и эксплуатации.

Остаточные напряжения, вызванные термообработкой, являются печально известной причиной искажения при обработке стареющих алюминиевых сплавов. Эти искажения особо существенны при обработке крупногабаритных и сложных деталей.

На рис.2.1 показана заготовка из алюминиевого сплава после продольного разреза на электроэрозионном станке. Видно, что искажение формы после обработки очень существенно [7].



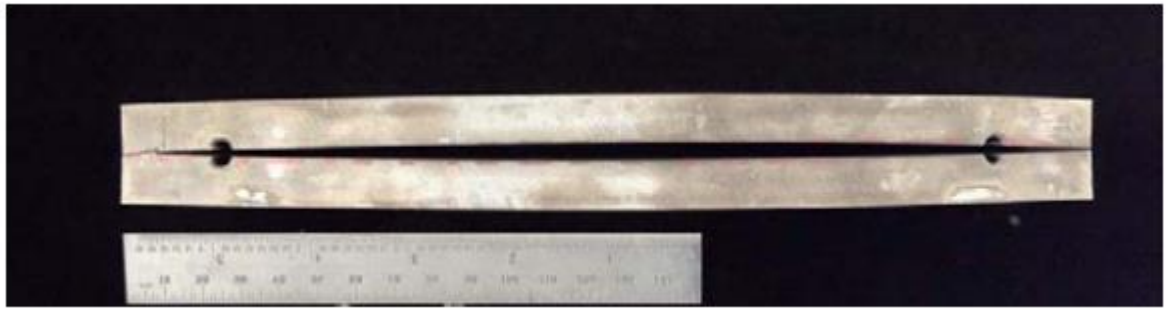


Рис. 2.1 Коробление заготовки после продольного разреза на электроэрозионном проволочно-разрезном станке

Остаточные напряжения развиваются из-за неравномерного охлаждения и как следствие неравномерными деформациями в процессе термообработки. При охлаждении заготовки сперва остывает поверхностный слой и происходит относительное сжатие. В то время, как внутренняя часть заготовки ещё не успевшая остыть, остаётся с прежним удлинением. Внутренние слои начинают пластически деформироваться под действием поверхностного сжатия. Однако позже, когда начинают остывать и значительно сжиматься внутренние слои заготовки, его сокращению теперь начинает препятствовать теперь охлажденный и относительно прочный приповерхностный материал. В результате растягивающие напряжения развиваются внутри. Материал там стремится сжаться, но не может под действием поверхностных слоёв. Эти растягивающие внутренние напряжения уравнивают сжимающие внутренние напряжения, возникающие вблизи поверхности.

На рис. 2.2 показан график распределения сбалансированных остаточных напряжений по толщине термически обработанной пластины с максимальным сжимающим (отрицательным) напряжением на поверхности и максимальным растягивающим (положительным) напряжением в центральной плоскости[7]. Такая идеально сбалансированная картина распределения внутренних остаточных напряжений характерна для заготовок полубесконечной длины: прокат.

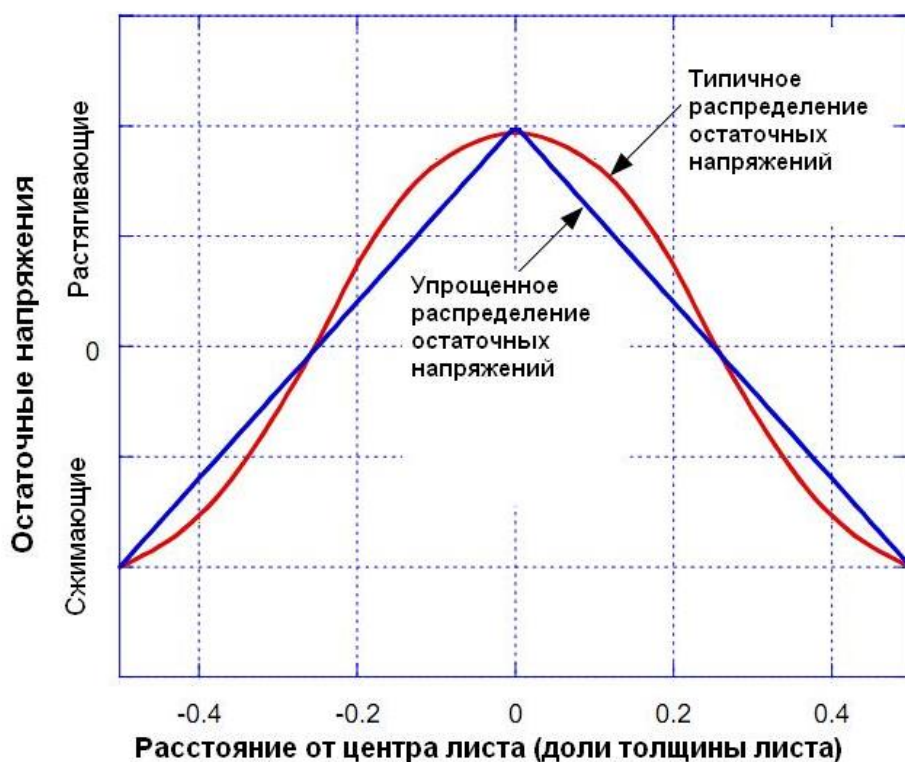


Рис. 2.2. Сбалансированные остаточные напряжения по толщине пластины

Величины пиковых сжимающих и растягивающих напряжений зависят от скорости охлаждения, толщины пластины. Как правило, остаточные напряжения довольно низкие в тонких листах и плитах. Увеличиваются с увеличением толщины плиты. Это происходит потому, что более толстые пластины демонстрируют большие разности температур при охлаждении от поверхности к центру.

Изгибное искажение происходит во время последующей обработки при удалении материала асимметрично относительно картины остаточного напряжения. Принимая простейший случай термообработанной пластины с пиковыми напряжениями сжатия на поверхностях и пиковым растягивающим напряжением на центральной плоскости, как показана на рис.2.2, рассмотрим, что произойдёт, если пластина будет разрезана вдоль её центральной части. Пределы растяжения и сжатия в каждой из двух получившихся полупластинок больше не будут симметрично сбалансированными – при отсутствии изменения формы, наружные поверхности были бы сжаты, а противоположные поверхности (ранее центральная плоскость) были бы в растяжении.

Результирующее распределение напряжений в каждой половине было бы аналогично тому, которое было бы равно упругому прогибу обеих половин – натяжение с одной стороны и сжатии с другой стороны. Когда внешняя пара изгибающих сил удаляется (что произошло фактически после разрезки), система стремится минимизировать упругую энергию деформации. В половинных пластинках, содержащих несбалансированные остаточные напряжения, возникает упругая деформация (прогиб). Каждая половина изгибается, чтобы минимизировать энергию упругой деформации, связанную с её остаточными напряжениями. Сжимающие напряжения области становятся выпуклыми (они становятся длиннее, тем самым снимая сжимающие упругие напряжения), в то время как области, ранее находящиеся вблизи центральной плоскости, становятся вогнутыми сторонами (они становятся короче, тем самым снимая растягивающие упругие напряжения).

Остаточные напряжения возникают почти при всех технологических процессах термической, механической обработки, обработке металлов давлением и многих других видах обработки. Причины образования остаточных напряжений многообразны (неоднородность пластической деформации, неоднородность температурного поля, фазовые превращения). При воздействии внешних нагрузок в процессе дальнейшей механической обработки или эксплуатации, остаточные напряжения, суммируясь с напряжениями от внешних сил, могут превысить предел упругости, что приводит к неравномерной пластической деформации. При термообработке, предназначенной для уменьшения остаточных напряжений, они могут вызвать деформирование изделия. При резком изменении температуры в изделии с остаточными напряжениями может произойти не только искажение размеров и формы, но и разрушение, особенно опасны при этом растягивающие напряжения. Остаточные напряжения снижают прочность изделий при переменных и циклических нагрузках[8].

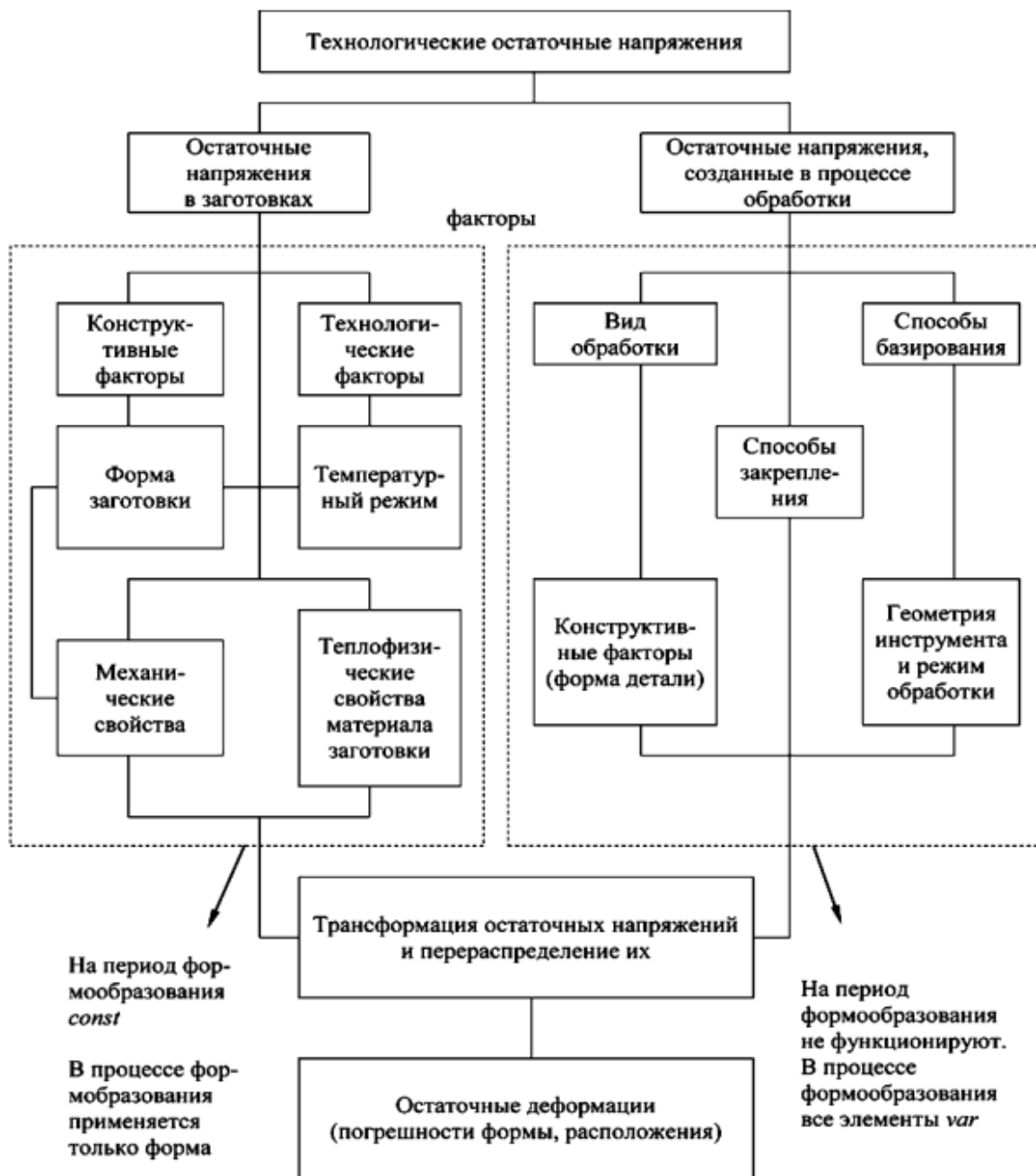


Рис. 2.3. Схема формирования погрешностей обработки от остаточных напряжений

### 2.3.1 Образование остаточных напряжений после пластической деформации

Если распределение напряжений в упругопластическом теле и в упругом одинаково (в статически определимых системах), то остаточные напряжения после пластической деформации не возникают. Образование остаточных напряжений в результате неоднородной пластической деформации встречается в различных технологических процессах (ковка, штамповка, прокатка, волочение, механическая обработка). Одним из распространенных способов

преднамеренного создания благоприятного распределения остаточных напряжений является поверхностный наклеп. В этом случае неравномерная по сечению пластическая деформация является причиной возникновения остаточных напряжений. Поверхностные пластически деформированные слои стремятся сохранить остаточное увеличение размеров. Этому препятствуют недеформированные внутренние слои. Поэтому наружные слои сжимаются, а внутренние слои растягиваются. Поскольку наружный сжатый слой обычно имеет малую толщину, напряжения сжатия в нем значительно превышают растягивающие напряжения во внутренних слоях. Характерным для эпюр остаточных напряжений после поверхностного наклепа являются высокие градиенты напряжений, что позволяет получать остаточные напряжения, в ряде случаев значительно превышающие предел текучести, определенный для данного материала при одноосном растяжении [3].

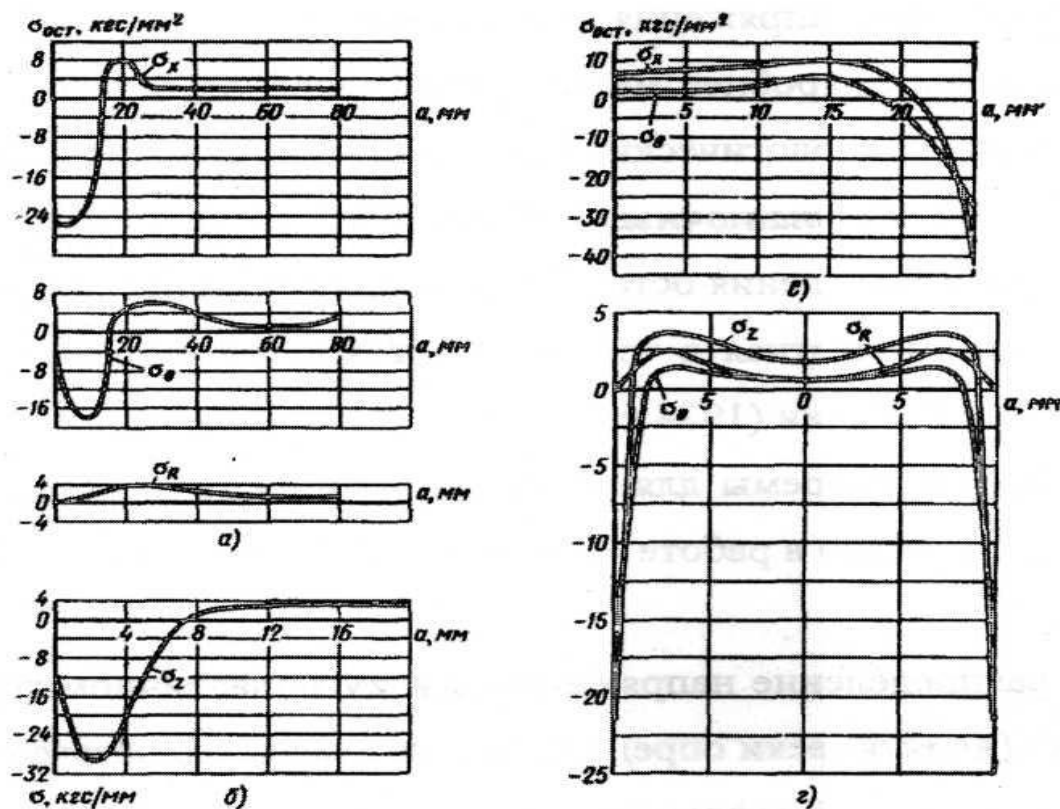


Рис.2.4 Эпюры остаточных напряжений после обкатки роликами:

*а* – сталь 45, диаметр образца 160 мм (радиус ролика  $R = 5$  мм, скорость  $v = 37,2$  м/мин, подача  $S = 0,3$  мм/об);

*б* – сталь 30ХН2МД, диаметр образца 40 мм ( $R=12$  мм,  $v=52,5$  м/мин,  $S = 0,5$  мм/об);  
*в* — чугуны GG-26, диаметр образца 50 мм; *г* – алюминиевый сплав, диаметр образца 20 мм ( $R=6$  мм,  $S = 0,06$  мм/об)

По абсолютной величине максимальные сжимающие напряжения при поверхностном наклепе колеблются в пределах от 500 до 1000 кгс/мм в зависимости от материала и режима наклепа. Чем выше исходная прочность материала, тем большую величину остаточных напряжений можно получить при поверхностном наклепе. При использовании комбинированных способов, поверхностного упрочнения, включающих химико-термическую обработку с последующим поверхностным наклепом, осевые остаточные напряжения в цилиндрических образцах (диаметр 7,5 мм, длина 90 мм) достигают 195 кгс/мм<sup>2</sup> (азотированные образцы) и 230 кгс/мм<sup>2</sup> (цементированные образцы). Для алюминиевых сплавов осевые остаточные напряжения могут быть доведены до 33—38 кгс/мм<sup>2</sup>.

### **2.3.2 Остаточные напряжения после нагрева и охлаждения**

Появление остаточных напряжений после нагрева и охлаждения вызывается двумя основными причинами: термическими напряжениями при неоднородном температурном поле и структурными превращениями. Образование остаточных напряжений обусловлено главным образом скоростью охлаждения, кроме того, на образование остаточных напряжений влияет химический состав металла, условия закалки, начальная температура и скорость охлаждения, а также исходное состояние поверхностного слоя.

#### **• Остаточные напряжения от неоднородного охлаждения**

Температурные остаточные напряжения появляются в случае неравномерного распределения температуры по сечению детали. Величина и характер температурных напряжений зависят от скорости нагрева и охлаждения, от размеров и формы детали, от коэффициентов теплопроводности и теплопередачи. Особенно большое значение имеет скорость охлаждения и температура, с которой начинается охлаждение.

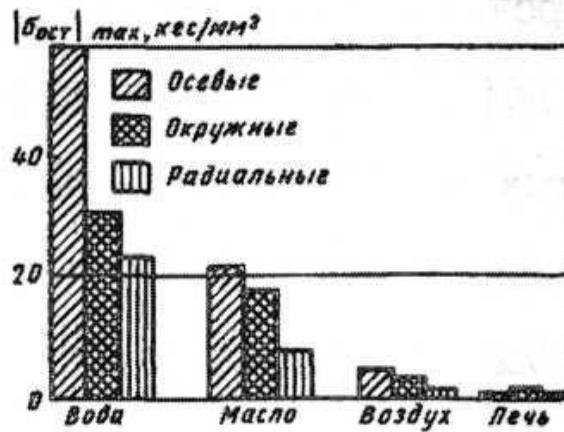


Рис.2.5 Зависимость максимальных тепловых остаточных напряжений от начальной температуры

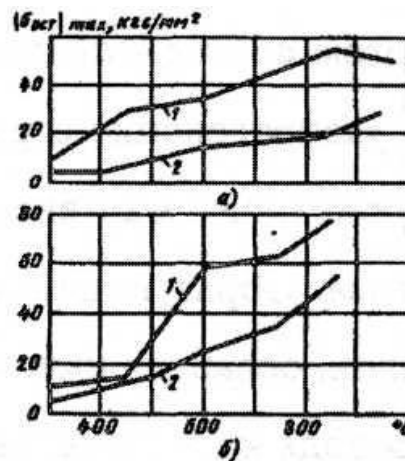


Рис. 2.6. Зависимость максимальных остаточных напряжений в цилиндрах (диаметр 50 мм) из углеродистой стали 0,3% С от охлаждающей среды

Скорость охлаждения зависит от теплопроводности охлаждающей среды. На рисунке 2.6 показана зависимость величины температурных напряжений от охлаждающей среды[3].

- **Образование остаточных напряжений после фазовых превращений**

Остаточные напряжения могут возникать вследствие неравномерных по сечению фазовых превращений. При нагреве фазовые превращения происходят с уменьшением удельного объема при переходе перлита и феррита в аустенит в результате нагрева выше температуры эвтектоидного превращения (720—750°C). При охлаждении до температуры 200—350°C происходит превращение

аустенита в мартенсит, сопровождающееся значительным увеличением удельного объема. Наружные слои (Н), охлаждаясь быстрее, претерпевают фазовые превращения раньше и поэтому в процессе охлаждения сжаты, а сердцевина (С) при этом соответственно растянута (рис.2.7 а). По мере охлаждения всего сечения распределение структурных напряжений изменяется. В сердцевине также происходит мартенситное превращение при неизменном объеме наружных слоев. Образующийся в сердцевине мартенсит будет растягивать наружные слои, ослабляя имеющиеся в нем остаточные напряжения сжатия, или даже переводя их в растягивающие (кривая  $m$  рис.2.7 б)[9].

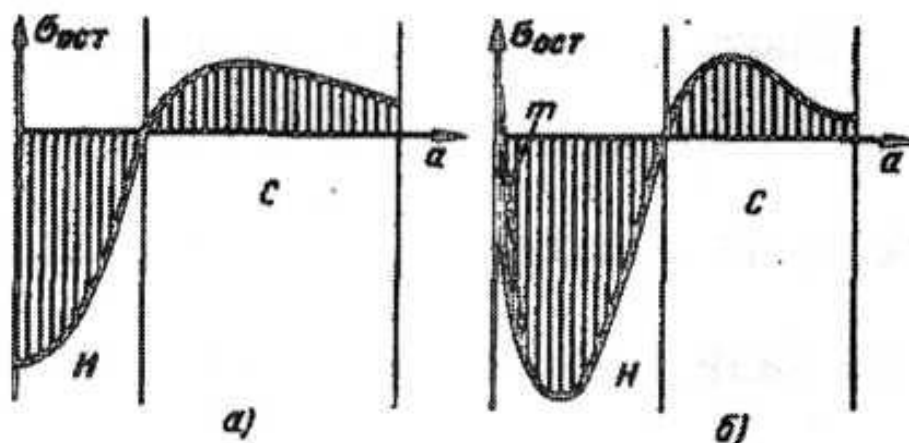


Рис.2.7. Схема образования остаточных напряжений при неодновременных по сечению фазовых превращениях в процессе охлаждения

### 2.3.3 Остаточные напряжения, возникающие после остывания отливок

Остаточные напряжения в литых деталях возникают при охлаждении отливок в форме[9]. Высокие остаточные напряжения в детали могут вызвать ее коробление или появление «горячих» или «холодных» трещин, если внутренние (временные) напряжения в процессе охлаждения превысят предел прочности материала. Закономерности возникновения и распределения остаточных напряжений по сечению отливки имеют тот же характер, что и при остывании детали после нагрева. На величину остаточных напряжений,



возникающих в отливках от неравномерного охлаждения их в форме, влияют конструкция деталей, температурные поля в них, свойства материала. Основное влияние оказывает не абсолютная разница температур в разных частях отливки, а характер их изменения по сечению. Механизм образования остаточных напряжений от структурной неоднородности не следует смешивать с образованием остаточных напряжений от структурных превращений, происходящих в отливке при ее остывании. В первом случае основной источник остаточных напряжений — разница в коэффициентах температурного расширения, во втором — разница объемных изменений металла при структурных превращениях, в основном при быстром охлаждении детали. Охлаждение отливок обычно происходит медленно, и возникающие от структурных превращений напряжения обычно снимаются за счет релаксации. Напряжения, обусловленные структурной и химической неоднородностью, достигают максимума при температурах, при которых материал отливки находится в упругом состоянии.

#### **2.3.4 Остаточные напряжения, возникающие после механической обработки**

Механическая обработка (точение, фрезерование, шлифование и т. д.), как правило, вызывает появление в тонком поверхностном слое значительных остаточных напряжений. Основной особенностью этих напряжений является малая глубина их действия (десятые доли миллиметра). Причины образования остаточных напряжений при механической обработке[11]:

1. Неравномерная пластическая деформация поверхностных слоев при воздействии обрабатывающего инструмента.

2. Неравномерный нагрев тонких поверхностных слоев в процессе мех. обработки.

3. Структурные превращения, возникающие как за счет тепла, так и за счет пластических деформаций. В зависимости от вида и режима механической обработки действует различное сочетание указанных причин. Это приводит к образованию остаточных напряжений различной величины и различного знака

( $+\sigma$  кг/мм<sup>2</sup>) - растягивающих; ( $-\sigma$  кг/мм<sup>2</sup>) - сжимающих. Рассмотрим характерные случаи образования остаточных напряжений. При механической обработке наружные слои металла пластически деформируются, в результате его зерна вытягиваются в направлении наиболее интенсивной деформации.

Пластическая деформация поверхностных слоев металла вызывает упругую деформацию нижележащих слоев.

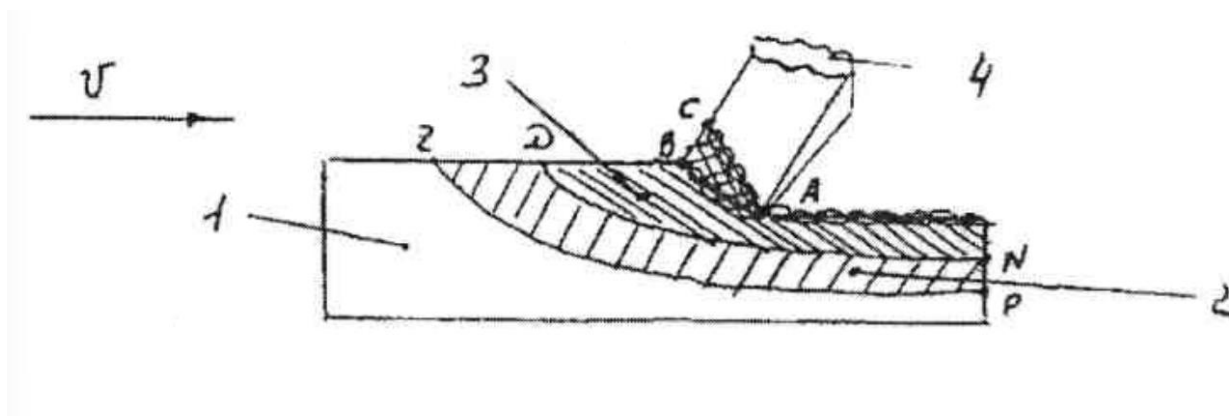


Рис.2.8. Зона резания металла

1- область деформированного металла

2- область упругих деформаций

3.-область пластических деформаций

4,-область полного деформирования

Зона ABC - наиболее значительных деформаций

DLNP - зона упругих деформаций,

(Чем больше скорость резания, тем уже зона пластических деформаций).

При снятии нагрузки упругодеформированный слой стремится вернуться в исходное положение, сжимает верхние слои металла, образуя в нем сжимающие остаточные напряжения  $-\sigma$  кг/мм<sup>2</sup>

Если процесс обработки сопровождается образованием значительного температурного поля, то температура в поверхностных слоях (10-20 мкм) значительно больше, чем в нижележащих слоях с глубиной залегания (100-150 мкм).

В результате при остывании наружные слои быстро стыннут и будут испытывать со стороны медленно остывающих глубинных слоев напряжение растяжения ( $+\sigma$  кг/мм<sup>2</sup>)-

Если  $t$  обработки превышает температуру фазовых превращений, то в результате последних происходят объемные изменения структурных составляющих, которые определяют тот или иной знак остаточных напряжений[11].

## **2.4 Методы измерения остаточных напряжения**

Существует множество методов, используемых для измерения остаточных напряжений, которые в целом подразделяются на разрушающие, полуразрушающие и неразрушающие методы. Выбор метода зависит от требуемой информации и характера образца измерения. Факторы включают глубину проникновения измерения (поверхностную или поперечную толщину), масштаб длины, подлежащий измерению ( макроскопический , мезоскопический или микроскопический ), разрешение требуемой информации, а также геометрию композиции и местоположение образца. Кроме того, некоторые из этих методов необходимо выполнять в специализированных лабораториях, что означает, что измерения «на месте» невозможны для всех методов [12].

### **2.4.1 Неразрушающие методы**

Неразрушающие методы измеряют влияние взаимосвязи между остаточными напряжениями и их действием кристаллографических свойств измеряемого материала. Некоторые из них работают путем измерения дифракции высокочастотного электромагнитного излучения через расстояние между атомными решетками (которое было деформировано из-за напряжения) относительно образца без напряжения. Ультразвуковые и магнитные методы используют акустические и ферромагнитные свойства материалов для проведения относительных измерений остаточного напряжения. Система eStress использует

электромагнитную измерительную систему [13]. Неразрушающие методы включают:

Нейтронная дифракция - проверенная техника, которая может измерять толщину, но которая требует источника нейтронов (например, ядерного реактора).

Рентгеновская дифракция - ограниченная технология поверхности с проникновением всего в несколько сотен микрон.

Ультразвуковой - экспериментальный процесс, все еще в работе.

Магнитный - может использоваться с очень ограниченным размером пробы.

#### **2.4.2 Полуразрушающие методы**

Подобно деструктивным методам, они также функционируют с использованием принципа «освобождения от деформации». Однако они удаляют только небольшое количество материала, оставляя целостную целостность структуры неповрежденной. К ним относятся:

Глубокое сверление отверстий - измеряет остаточные напряжения через толщину компонента, ослабляя напряжения в «сердечнике», окружающем отверстие с отверстием малого диаметра.

Центробежное сверление - измеряет приповерхностные остаточные напряжения путем размыкания деформации, соответствующие небольшому отверстию с мелким отверстием с розеткой тензодатчика. Бурение в центре отверстий подходит для глубины до 4 мм. В качестве альтернативы, для тонких деталей можно использовать сверление глухих отверстий. Бурение отверстий в центре также может выполняться в полевых условиях для тестирования на месте.

#### **2.4.3 Разрушающие методы**

Разрушающие методы приводят к крупным и непоправимым структурным изменениям в образце, что означает, что либо образец не может быть возвращен на службу, либо макет или запас. Эти методы функционируют с использованием принципа «освобождения от напряжения»; резка

измерительного образца для ослабления остаточных напряжений и последующего измерения деформированной формы. Поскольку эти деформации обычно эластичны, существует линейная зависимость между величиной деформации и величиной отпускаемого остаточного напряжения. Деструктивные методы включают:

Метод контуров - измеряет остаточное напряжение на двумерном плоском участке через образец в одноосном направлении, нормальном к поверхности, прорезанной через образец с помощью проволоки EDM.

Механический метод является разрушающим он основан на удалении слоев материала и измерении деформации.

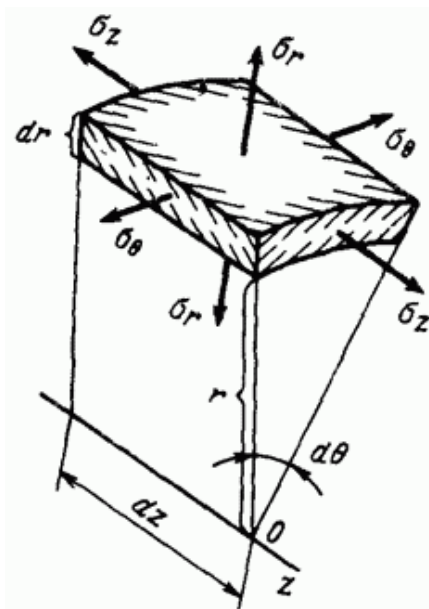


Рис.2.9 Схема напряженного состояния цилиндрического элемента

Большинство деталей машин после упрочнения оказывается в условиях сложного напряженного состояния. Наибольший практический интерес представляют напряжения в поверхностных слоях. Эти напряжения имеют, как правило, наибольшие значения и оказывают существенное влияние на работоспособность деталей. Обычно определяют остаточные напряжения в направлении главных осей. Если деталь является осесимметричной, то в поверхностных слоях в общем случае имеется двухосное напряженное состояние (рис. 2.9):  $\sigma_\theta$  — тангенциальное напряжение;  $\sigma_z$  — осевое напряжение. Радиальное напряжение  $\sigma_r$  на поверхности детали равно нулю. В

слоях, близких к поверхности, значение  $\sigma_r$  невелико, и этой составляющей обычно пренебрегают.

Осевые и тангенциальные напряжения в поверхностных слоях деталей определяют механическими методами, в основном путем последовательного стравливания поверхностных слоев с призматических стержней и колец толщиной 5—6 мм, вырезаемых из детали электроискровым или другим методом.

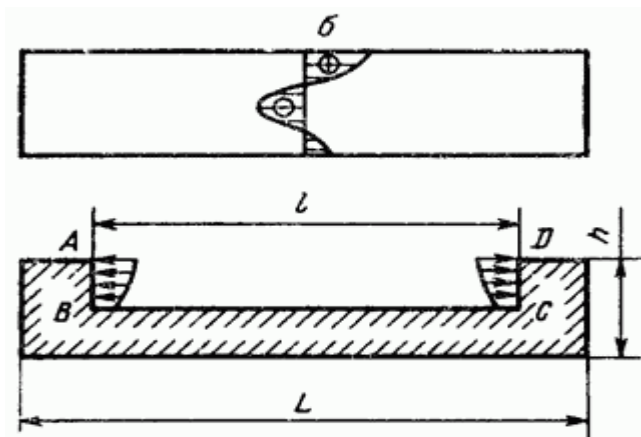


Рис.2.10 Сечение для выявления остаточных напряжений

Для оценки эффективности режимов упрочнения деталей часто ограничиваются сравнительными исследованиями осевых остаточных напряжений, оказывающих в большинстве случаев наиболее существенное влияние на работоспособность деталей.

Рассмотрим определение осевых остаточных напряжений в призматическом стержне. Предположим, что, за исключением небольших областей у концов стержня, остаточные напряжения постоянны по его длине.

Для определения остаточных напряжений будем последовательно удалять слои материала ABCD (рис.2.10), находящиеся в зоне постоянных (по длине) напряжений. Концевые сечения при этом не удаляются, они размещаются в захватах прибора.

Неизвестные напряжения считаем положительными (растягивающими). Они действуют по граням АВ и CD, поэтому удаление области эквивалентно приложению к этим граням равных, но противоположно направленных напряжений. Предполагаем, что остаточные напряжения действуют в

площадках, перпендикулярных к оси стержня. Поэтому поверхность ВС не должна быть нагружена остаточными напряжениями.

Определим остаточные напряжения  $\sigma(a)$ , действующие в стержне на расстоянии  $a$  от верхней грани стержня (рис. 2.11).

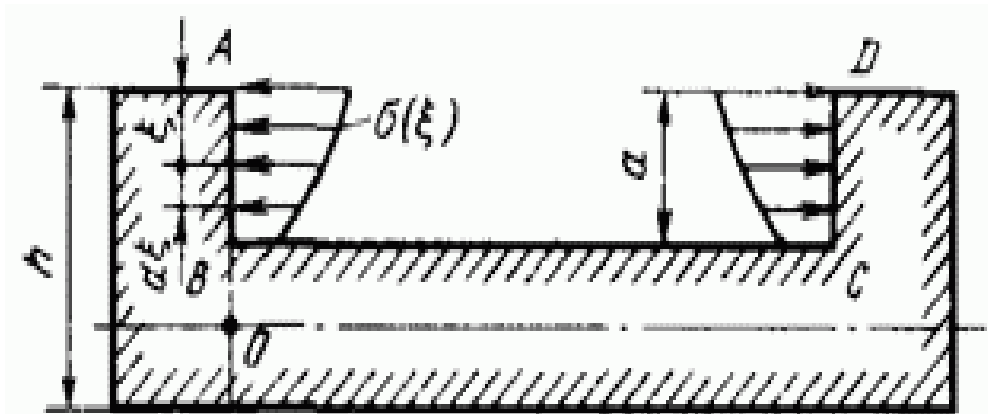


Рис. 2.11 К расчету остаточных напряжений

В результате удаления слоя материала толщиной  $a$ , оставшаяся часть стержня деформируется под действием напряжений по плоскостям АВ и DC

На расстоянии  $\xi$  от верхней грани действуют напряжения  $\sigma(\xi)$ . Изгибающий момент от напряжений на грань АВ относительно середины высоты стержня (точки О)

$$M = \int_0^a \sigma(\xi) \left[ \frac{1}{2}(h+a) - \xi \right] b d\xi$$

где  $b$  - ширина стержня.

Если стержень изгибается сосредоточенными моментами  $M$  на конце, то прогиб

$$f = \frac{Ml^2}{8EJ} \quad (1)$$

где  $l$  — длина стержня;  $J$  — момент инерции поперечного сечения,

$$J = \frac{b(h-a)^3}{12} \quad (2)$$

Влиянием осевых сил на изгиб пренебрегаем, что не вносит существенной погрешности. Учитывая равенства (1) и (2), найдем

$$f(a) = \frac{3l^2}{2E(h-a)^3} * \int_0^a \sigma(\xi) \left[ \frac{1}{2}(h+a) - \xi \right] b d\xi \quad (3)$$

Переносим величину  $(h - a)^3$  в левую часть равенства и продифференцировав интеграл по верхнему пределу, а получим

$$(h - a)^2 \frac{df}{da}(a) - 3(h - a)^2 f(a) = \frac{3l^2}{2E} \left[ \frac{1}{2} \int_0^a \sigma(\xi) d\xi + \frac{1}{2} \sigma(a)(h - a) \right] \quad (4)$$

Из уравнения (4) при  $a=0$  получим формулу для определения остаточных напряжений в наружном слое

$$\sigma(0) = \frac{4Eh^2}{3l^2} \frac{df}{da}(0) \quad (5)$$

После дифференцирования по  $a$  равенства (4) имеем

$$(h - a)^2 \frac{d^2 f}{da^2}(a) - 6(h - a) \frac{df}{da}(a) + 6f(a) = \frac{3l^2}{4E} \frac{df}{da}(0)$$

Проинтегрировав обе части этого равенства, получим

$$(h - a)^2 \frac{df}{da}(a) - 4(h - a)f(a) + 2 \int_0^a f(\xi) d\xi - h^2 \frac{df}{da}(0) = \frac{3l^2}{4E} [\sigma(a) - \sigma(0)]$$

С учетом соотношения (5) найдем, что остаточные напряжения на расстоянии  $a$  от верхней грани

$$\sigma(a) = \frac{4E}{3l^2} \left[ (h - a)^2 \frac{df}{da}(a) - 4(h - a)f(a) + 2 \int_0^a f(\xi) d\xi \right] \quad (6)$$

Из соотношения (6) следует, что для определения остаточных напряжений необходимо знать не только прогиб в данный момент, но и проследить за изменением прогиба по мере увеличения толщины снятого слоя. Если толщина стравливаемого слоя мала в сравнении с толщиной образца ( $h/a < 15$ ), то в соотношении (6) можно пренебречь последним членом и определять остаточные напряжения по равенству

$$\sigma(a) = \frac{4E}{3l^2} \left[ (h - a)^2 * \frac{df}{da}(a) - 4(h - a)f(a) \right] \quad (7)$$

При  $h/a > 50$  можно сохранить только первый член:

$$\sigma(a) = \frac{4E}{3l^2} (h - a)^2 \frac{df}{da}(a) \quad (8)$$

Формулы (7) и (8) часто используют при расчетах остаточных напряжений (обычно  $h=4 \dots 6$  мм,  $a=0.1 \dots 0.3$  мм).

При вычислениях по формулам (6)-(8) необходимо учитывать правило знаков. Если значение  $\sigma(a)$  оказывается положительным, то в слое действуют



растягивающие остаточные напряжения. Прогиб  $f$  считают положительным, если он направлен в сторону снятого слоя (рис. 2.12).

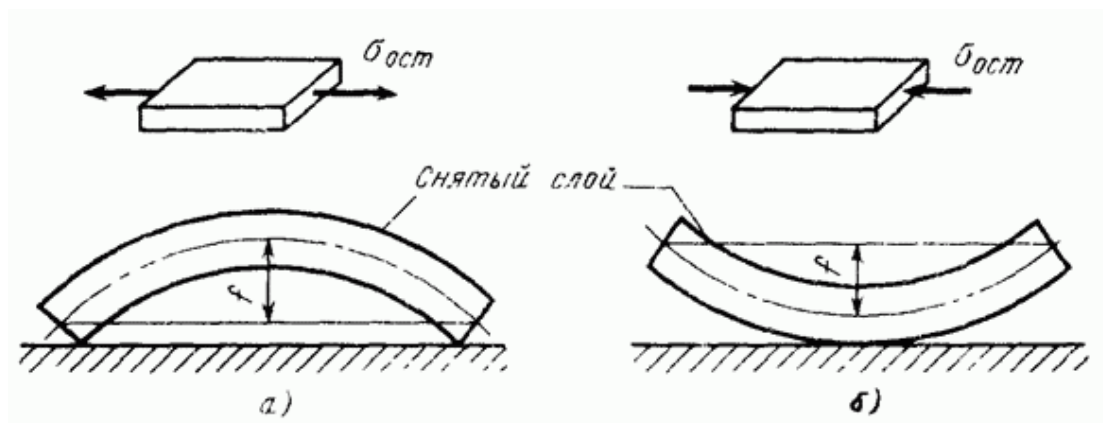


Рис. 2.12 Схема прогиба стержня при снятии верхнего слоя: а - растягивающие напряжения; б — сжимающие напряжения

На практике остаточные напряжения определяют с помощью специальных приборов. На рис. 2.13 показана схема прибора, который позволяет индукционным преобразователем и самописцем 2 типа БВ-662 непрерывно записывать прогиб  $f$  от времени при стравливании поверхностных слоев образца 3.

Поверхности, не подвергающиеся травлению, покрывают воском. Образец закрепляют в держателе 4 с помощью тонких (упругих) пластинок 7, которые не препятствуют повороту его концевых сечений. Прогиб образца через наконечника и рычаг 6 передается на преобразователь 1.

Для обеспечения равномерного травления электролиз перемешивают. Скорость травления образца определяют с помощью взвешивания образца до и после окончания травления. Обычно скорости травления составляют 1-5 мкм/мин.

В зависимости от состава электролита напряжение на электродах колеблется в пределах 20—30 В, плотность тока 10-13 А/дм<sup>2</sup> Температура электролита 20-60°C

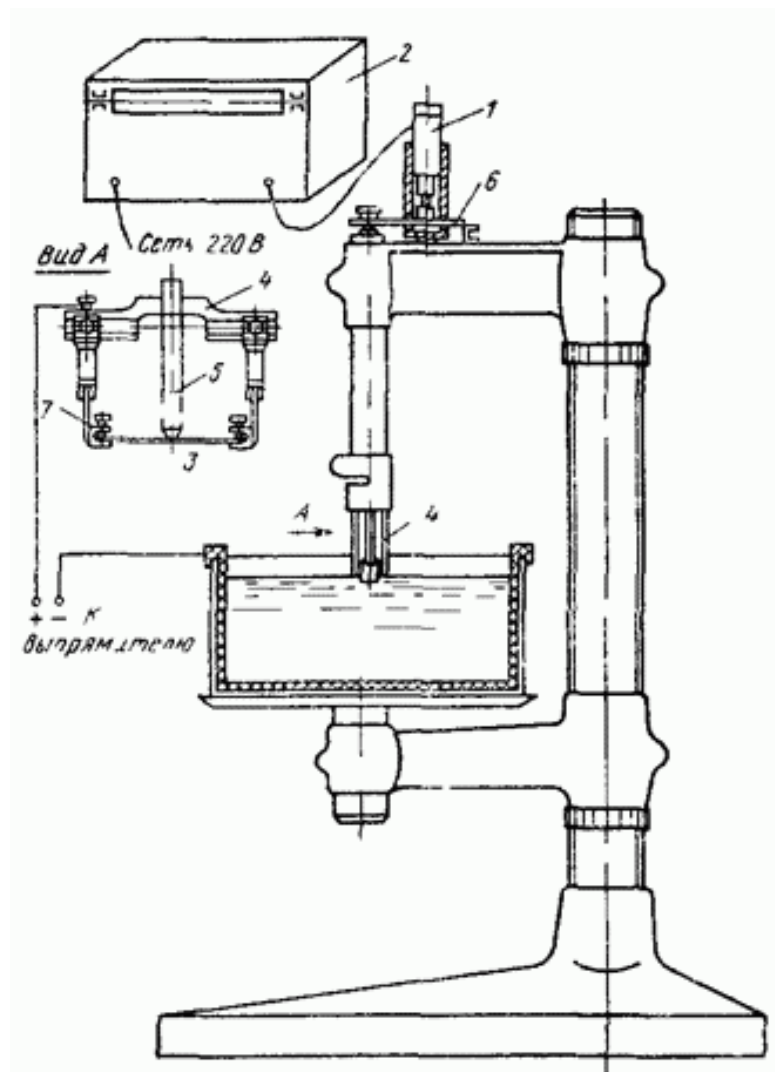


Рис. 2.13 Схема установки для определения остаточных напряжений

Особое внимание необходимо уделять вырезанию образца, чтобы избежать наведения дополнительных остаточных напряжений. Для этого часто применяют электроискровой метод, а также резку узким шлифовальным кругом с малой подачей и обильным охлаждением эмульсией.

Отметим некоторые особенности обработки результатов. Во многих практических задачах остаточные напряжения значительно изменяются в пределах поверхностных слоев (при толщине до 0,3 мм). В этом случае для получения надлежащей точности требуется последовательное удаление очень тонких слоев (травление с малой скоростью). Важным является достаточно точное вычисление величин, входящих в формулы (6)-(8).

Непосредственно из эксперимента получают графическую зависимость  $f(t)$ , которая в условиях равномерного травления эквивалентна

зависимости  $f(a)$ . Требуется определить значения производной этой функции и интервала в расчетных сечениях. С математической точки зрения это известная задача теории приближенных вычислений.

Для более точного вычисления производной кривую заменяют параболой, проводящей через три заданные точки (рис. 2.14) с координатами  $a_{i-1}, f_{i-1}$ ;  $a_i, f_i$ ;  $a_{i+1}, f_{i+1}$ . Уравнение параболы в этом случае имеет вид

$$f(a) = f_{i-1} \frac{(a - a_i)(a - a_{i+1})}{(a_{i-1} - a_i)(a_{i-1} - a_{i+1})} + f_i \frac{(a - a_{i-1})(a - a_{i+1})}{(a_i - a_{i-1})(a_i - a_{i+1})} + f_{i+1} \frac{(a - a_{i-1})(a - a_i)}{(a_{i+1} - a_{i-1})(a_{i+1} - a_i)}$$

Уравнение производной

$$\frac{df(a)}{da} = f_{i-1} \frac{2a - a_i - a_{i+1}}{(a_{i-1} - a_i)(a_{i-1} - a_{i+1})} + f_i \frac{2a - a_{i-1} - a_{i+1}}{(a_i - a_{i-1})(a_i - a_{i+1})} + f_{i+1} \frac{2a - a_{i-1} - a_i}{(a_{i+1} - a_{i-1})(a_{i+1} - a_i)} \quad (9)$$

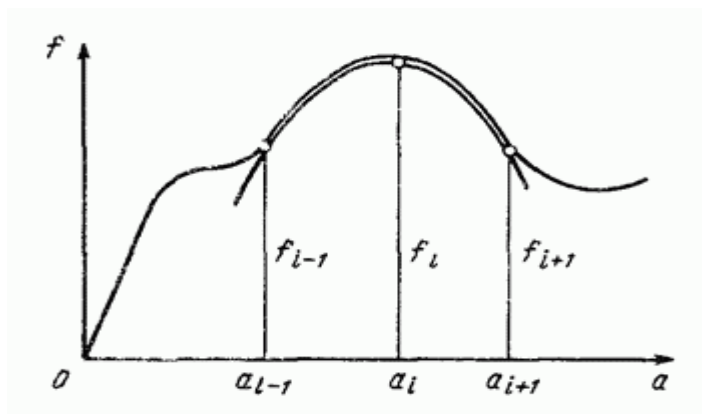


Рис.2.14 График приближенного вычисления производной

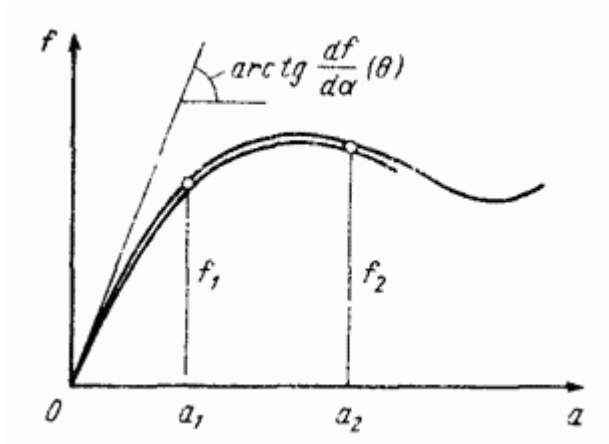


Рис. 2.15 График приближенного вычисления производной в начале координат

Если в соотношении (9) положим  $i = 1$ ,  $a_{i-1} = a_0 = 0$ ,  $f_{i-1} = f_0 = 0$ , то получим формулу для вычисления производной в начале координат (рис. 2.15)

$$\frac{df}{da}(a) = \frac{f_1(2a - a_2)}{a_1(a_1 - a_2)} + \frac{f_2(2a - a_1)}{a_2(a_2 - a_1)}$$

Соотношение для определения напряжения в поверхностном слое можно получить из равенства (6) при  $a=0$ :

$$\sigma(0) = \frac{4Eh^2}{3l^2} \frac{df}{da}(0)$$

Для повышения точности измерения остаточных напряжений рекомендуется применять большие значения  $l/h$  (обычно  $l/h > 10$ ).

Более подробно вопрос об определении остаточных напряжений в элементах конструкций рассмотрен в монографии [12].

## **2.5 Методы снижения уровня или перераспределения остаточных напряжений**

Поскольку остаточные напряжения в металлоизделиях могут пагубно сказываться на эксплуатационных свойствах, проблема их снижения или перераспределения в объеме всегда остается актуальной и вынуждает технологов либо изменять режимы пластической и термической обработок, либо вводить дополнительные операции обработки готовых изделий [14].

В первую очередь при прогнозировании конечных свойств металлопродукции следует учитывать явления релаксации остаточных напряжений в результате процессов ползучести в объеме напряженного металла. Из-за постепенного перераспределения остаточных напряжений при их релаксации происходит самопроизвольное изменение размеров и коробление металлоизделий при их хранении и даже при эксплуатации, если предварительно не приняты меры по существенному снижению или благоприятному перераспределению этих напряжений. Скорость релаксации (уменьшения) напряжений зависит от их исходного уровня и схемы напряженного состояния. Чем они выше, тем быстрее проходит релаксация. Так

как в разных участках объема изделия величина остаточных напряжений различна, то из-за неодинаковой скорости их релаксации даже при комнатной температуре нарушается исходное равновесие внутренних сил и моментов, в результате чего устанавливается новое состояние равновесия. Неоднородность исходного напряженного состояния порождает при релаксации напряжений коробление изделий, величина которого тем больше, чем выше неоднородность остаточных напряжений в объеме.

К эффективным технологическим приемам, снимающим и перераспределяющим остаточные напряжения, относятся следующие:

- термическая обработка;
- термомеханическая обработка и все варианты пластической деформации с регламентированным принудительным или деформационным нагревом металлических изделий;
- механическое объемное и поверхностное воздействие на пластически или термически обработанные изделия;
- рациональный выбор технологических параметров обработки металлов давлением.
- Стабилизация тело формы была деталей дать вибрационным поля нагружением

Вибрационный метод применяется для снятия остаточных напряжений в заготовках, полученных методами пластической деформации, вызванных механической обработкой - фрезерованием, строганием, шлифованием, протягиванием, сверлением и т. д.

Термообработка назначается для снятия остаточных напряжений, с целью стабилизации внутренних напряжений и размеров деталей. Этот процесс резко снижает уровень остаточных напряжений и дает достаточно высокое качество стабилизации.

Построение традиционного технологического процесса термической обработки требует применение нескольких промежуточных отпусков, что не

обеспечивает высокой производительности и может привести к увеличению стоимости обработки.

При отпуске, для снятия остаточных напряжений основным механизмом изменения остаточных напряжений является их релаксация, которая протекает более быстро при повышении температуры. Чтобы устранить пластическую деформацию, необходимо либо повысить сопротивление металла пластическому деформированию, т. е. его релаксационную стойкость, либо уменьшить действующие напряжения. В последнее время получают развитие методы старения, повышающие релаксационную стойкость материала, с небольшим снижением уровня остаточных напряжений. К ним относятся статическое и динамическое нагружение, старение тепловыми ударами, вибрационное старение, обработка ультразвуком. Однако ни одним из данных методов невозможно добиться равномерного распределения остаточных напряжений без управления ходом данных процессов.

Проведенный анализ работ по повышению точности обработки маложестких деталей и управлению параметрами, влияющими на точность обработки, показывает, что используемые в них модели технологической системы недостаточно полно отражают поведение маложесткой заготовки при термообработке.

В теоретических исследованиях показано, что для минимизации технологической наследственности, передаваемой от операции, необходимо снизить уровень остаточных напряжений и создать равномерное напряженное состояние по всей длине заготовки, что, естественно, приведет к равномерной релаксации напряжений и минимальному короблению готовых изделий при их эксплуатации.

Для этой цели была введена в технологический процесс операция термосиловой обработки - ТСО. Трудность управления этим процессом состоит в том, что физико-механические свойства материала, из которого изготавливаются детали, настолько разнообразны, а их поведение зависит от

внешних условий при их эксплуатации, что найти единый закон управления просто невозможно. В первом приближении ставится задача получить тело равного сопротивления, то есть тело, во всех точках которого возникают одинаковые микроскопические напряжения.

Для стабилизации всех показателей размеров после окончательной механической обработки необходимо проведение оптимальной стабилизирующей обработки для снижения уровня остаточных напряжений в деталях машин и стабилизации структурного показателя состояния материала. При этом возможны поводки и снижение точности готовых деталей. Поэтому в настоящее время актуальна задача сохранения геометрических параметров деталей с точностями в несколько долей микрон на финишных операциях, включающих нанесение покрытий. Для снижения коробления изделий используют такие действия, которые стабилизируют, т. е. нормализуют, выполняют отжиг, но для подобных операций необходимы большие термические печи. Стабилизирующие действия нуждаются в больших материальных затратах, таких как: приобретение печей, затраты на сырье (природный и другие газы), затраты на охрану труда, обучение и оплату труда рабочих термических цехов. На сегодняшний день известны следующие новейшие технические решения сохранения и улучшения геометрии прецизионных деталей:

- термомеханическая правка, применяемая для заготовок и сварных конструкций;
- отжиг в заневоленном состоянии, используемый для заготовок на промежуточных этапах технологии изготовления и для точностей порядка сотых долей миллиметра.

Процесс ТСО разделяется на три этапа — нагрузка-нагрев, выстой и разгрузка-охлаждение. Каждый этап требует своей модели управления. В первой модели управление осуществляется по температуре  $T^*(t)$ , а через нее напряжением  $\sigma(t)$ , контролируется при этом выходная величина —

$\varepsilon(t)$ . Во второй: деформация поддерживается постоянной  $\varepsilon = \text{const}$  при постоянной температуре. Выход — напряжение  $\sigma(t)$ . В третьей модели напряжение  $\sigma(t)$  уменьшается в функции изменения температуры  $T^*(t)$  остывания.

Альтернативным методом может быть механическая обработка, которая снижает величину и неравномерность напряжений. Однако в большинстве случаев экономически нецелесообразно удалять припуск с отдельных участков деталей, так как после этого неравномерность напряжений может ещё больше возрасти, что приведет к потере точности и браку деталей. Для сокращения технологического цикла, снижения энергоемкости и более полного использования собственных производственных мощностей предприятий наиболее перспективным, как показано в работах [15, 16], является магнитно-импульсный метод обработки. Он позволяет снизить и выровнять остаточные напряжения, вызывающие коробления деталей. Использование нового метода способствует ускорению подготовки производства, повышению качества, снижению трудоемкости, и тем самым повышается конкурентоспособность продукции. Наиболее существенным явлением, происходящим при магнитно-импульсной обработке, является фактор перераспределения тепловых потоков, который появляется в зоне резания за счет термомагнитного эффекта Риги-Людека [17]. Также происходит повышение механических свойств материала за счет упорядочения зернистой структуры. После обработки деталей машин в специальном магнитном поле снижаются остаточные термические напряжения, концентрированные внутренние напряжения материала, снижается коэффициент трения-скольжения. Также получен эффект снижения скорости коррозии, частичное или полное устранение налипания при кузнечных и прокатных работах. При воздействии внешнего магнитного поля изменяются спин-характеристики вещества. При этом происходит дробление включений, на концах микротрещин возникают пластические деформации. Происходит активная перекристаллизация. То есть, неоднородность структуры детали,



инструмента или любого материала, приводит к тому, что за счет внешнего магнитного потока в местах локальной неоднородности, например, в участках с повышенной концентрацией внутренних напряжений наводятся вихревые микротоки. Величина и характер взаимодействия микровихрей друг с другом зависит от размера кристаллитов материала. При этом в материале наводится тепловое поле, скорость распространения которого по массе детали зависит от её неоднородности. При магнитно-импульсной обработке, в области контакта технологически перенапряженных зерен (структурных неоднородностей), а также в участках с повышенной концентрацией внутренних и усталостных напряжений, обусловленных условиями производства или эксплуатации изделия, возникают локальные тепловые микрополя, которые в десятки раз могут увеличивать температуру пограничной зоны перенапряженных кристаллитов. При этом перегретые участки изделия в течении десятых долей секунды переводятся в более устойчивое состояние. Выравнивается тензорный спектр отвода тепла при охлаждении, повышая равномерность охлаждения детали или инструмента, улучшается работа узлов трения. Уменьшается избыточная энергия материала. Снижается рост микротрещин, что также ведет к общему повышению стойкости и надежности материала. То есть, при обработке детали достигается улучшение свойств за счет направленной ориентации свободных электронов вещества внешним магнитным полем.

## **2.6 Термическая обработка алюминиевых сплавов**

Под отжигом алюминия и алюминиевых сплавов обычно понимают полный отжиг, в отличие от частичного отжига, отжига для снятия деформационного упрочнения или отжига в контролируемой атмосфере.

После полного отжига все алюминиевые сплавы — как термически упрочняемые, так термически не упрочняемые — получают состояние, которое является самым мягким, самым пластичным и наиболее благоприятным для пластической деформации.

Снижение или полное снятие деформационного упрочнения от холодной пластической деформации (нагартовки или наклепа) достигается при нагреве до температуры от 260 до 440 °С. Это справедливо как для термически упрочняемых, так и для термически не упрочняемых алюминиевых сплавов.

Скорость разупрочнения нагартованного материала сильно зависит от температуры. Поэтому время, которое требуется для полного отжига данного алюминиевого сплава с данной степенью нагартовки, может различаться от нескольких часов при низких температурах до нескольких секунд при высоких температурах.

Если целью отжига является просто снятие деформационного наклепа, то нагрева до температуры около 345 °С будет вполне достаточно. Если же необходимо удалить упрочнение от термической обработки или даже просто от охлаждения с температуры горячей обработки, то нужна специальная термическая обработка для получения структуры с выделением упрочняющей фазы в виде крупных и отдельно стоящих частиц. Такой термической обработкой и является полный отжиг: выдержка при температуре от 415 до 440 °С и медленное охлаждение со скоростью около 30 °С в час до 260 °С.

Высокие скорости диффузии легирующих элементов в алюминии, которые характерны для такой высокой температуры, длительность выдержки и медленное охлаждение обеспечивают максимальную коалесценцию (укрупнение) частиц упрочняющей фазы, что и дает в результате материалу – алюминиевому сплаву – минимальную твердость.

При отжиге важно обеспечить, чтобы заданная температура была достигнута во всех частях садки и во всех точках каждого изделия. Поэтому обычно назначают длительность выдержки при температуре отжига не менее 1 часа. Температура отжига АМг6 345°С.

Несмотря на довольно значительное увеличение растворимости магния в алюминии при повышении температуры, упрочнение при закалке сплава АМг6 весьма незначительно, поэтому сплав АМг6 как и другие сплавы группы магния (АМг2, АМг3,5) относятся к термически не упрочняемым. Полуфабрикаты из

сплава АМгб поставляются обычно в отожженном состоянии. Отжиг производится при сравнительно невысоких температурах (310-335 ° С) с охлаждением на воздухе. При более высоких температурах отжига повышается склонность к коррозии, поэтому для полуфабрикатов низкотемпературный отжиг имеет особое значение. Марганец несмотря на довольно узкий диапазон содержания в сплаве существенно влияет на его механические свойства. Так при содержании Mn на верхнем пределе (0,8%) при прочих равных условиях прочностные свойства на 2-3 кг/мм<sup>2</sup> выше, чем при содержании Mn на нижнем пределе (5%). Значительное упрочнение профилей из сплава АМгб может быть достигнуто в результате холодной деформации. Так правка растяжением в пределах применяемых на практике степени деформации (2-3%) не оказывая заметного влияния на предел прочности профилей из сплава АМгб, значительно повышает предел их текучести. Относительное удлинение при этом понижается менее интенсивно, чем у других сплавов. Следует отметить, что такой характер изменения механических свойств профилей из сплава АМгб при правке растяжением наблюдается независимо от условий отжига, предшествовавшего правке.

## **2.7 Термические методы снижения остаточных напряжений**

Влияние термической обработки, в частности отжига, на уровень остаточных напряжений в холоднодеформированных изделиях подробно описано в работе [18], где под отжигом, уменьшающим остаточные напряжения, понимается термическая обработка, при которой главным процессом является полная или частичная релаксация остаточных напряжений.

Остаточные напряжения при отжиге и отпуске уменьшаются двумя путями: вследствие пластической деформации в условиях, когда эти напряжения превышают сопротивление металла деформации, или в результате ползучести при напряжениях меньше предела текучести.

Остаточные напряжения всегда упругие, пропорциональны модулю упругости и величине упругой деформации. При нагреве модуль упругости и, следовательно, остаточные напряжения изменяются незначительно до тех пор,

пока напряжения не достигнут уровня сопротивления деформации, которое снижается с ростом температуры. Выше некоторой температуры предел текучести становится ниже остаточных напряжений, развивается пластическая деформация, в результате которой остаточные напряжения уменьшаются до значения предела текучести. До каких пределов могут при нагреве снизиться остаточные напряжения в реальных деформированных твердых телах определить достаточно сложно из-за существенной неоднородности деформированного состояния и, следовательно, поля остаточных напряжений. Автор работы [18] считает, что степень разгрузки тела по остаточным напряжениям определяется температурой отжига (отпуска), а не его продолжительностью.

В изделиях, в которых остаточные напряжения меньше предела текучести, упругая деформация также может с течением времени переходить в пластическую деформацию. В этом случае ползучесть является единственно возможным механизмом их уменьшения. Медленное пластическое течение осуществляется перемещением ограниченного числа легкоподвижных дислокаций. Их исчерпание на дислокационных барьерах приводит к затуханию ползучести, а уменьшение остаточных напряжений еще более усиливает это затухание. С увеличением продолжительности термической обработки в скольжение вовлекаются менее благоприятно расположенные дислокации.

Таким образом, если нагревать изделие до температуры, при которой предел текучести становится меньше остаточных напряжений, то вначале происходит быстрая разрядка напряжений до предела текучести вследствие массового размножения и скольжения дислокаций, а затем этот механизм пластической деформации сменяется ползучестью, приводящей к постепенной и затухающей во времени релаксации напряжений.

Быстрая разгрузка тела по остаточным напряжениям при повышенных температурах может представлять опасность, поскольку из-за неоднородности напряженного состояния в объеме разгрузка часто приводит к нарушению

равновесия внутренних сил и моментов, сопровождающемуся короблением. Рационально проводить отжиг (отпуск) таким образом, когда медленная пластическая деформация нарастает при одновременном и равном уменьшении упругой деформации. При этом линейные размеры в направлении действия сил не изменяются. Чем выше уровень исходных напряжений, тем быстрее в первый период происходит их разрядка и тем больше опасность коробления.

Что касается продолжительности термической обработки, то следует отметить, что определенной температуре в каждом конкретном изделии соответствует свой конечный уровень остаточных напряжений, по достижению которого увеличивать продолжительность отжига (отпуска) практически бесполезно [18].

На практике уменьшение уровня и перераспределения остаточных напряжений является побочным явлением, сопровождающим разнообразные операции термообработки. Снятие остаточных напряжений проходит одновременно с основными структурными и фазовыми изменениями. Например, при высоком отпуске стали, наряду с основным процессом превращения мартенсита в сорбит, уменьшаются закалочные напряжения.

Остаточные напряжения, возникающие при холодной и теплой деформации, уменьшаются при рекристаллизационном отжиге, основной целью которого является снятие наклепа. Использование отжига для уменьшения напряжений лимитируется теми нежелательными структурными и фазовыми изменениями, которые могут произойти при нагреве. Например, чтобы достаточно полно снять закалочные напряжения в изделиях из термически упрочняемых алюминиевых сплавов, необходимо нагревать их до температур около 230...260 оС. Но при таких температурах в алюминиевых сплавах происходит перестаривание, сопровождающееся снижением прочности. Для полного снятия остаточных макронапряжений после холодной обработки давлением желательно проводить отжиг при таких температурах, при которых протекает рекристаллизация. Но при этом снимается упрочнение от холодной обработки давлением, что во многих случаях недопустимо. Поэтому

приходится либо мириться с недостаточно полным снятием остаточных напряжений при низких температурах, либо идти на компромисс, достигая более полного снятия напряжений при некотором ухудшении механических и других свойств.

Скорости нагрева и особенно охлаждения при отжиге должны быть небольшими, чтобы не возникли новые внутренние термические напряжения.

Отжиг для уменьшения остаточных напряжений широко применяют в технике. Он уменьшает вредные остаточные растягивающие напряжения, особенно опасные при объемном напряженном состоянии, позволяет повысить допустимые внешние нагрузки, повышает сопротивляемость усталости и ударным нагрузкам, снижает склонность к хрупкому разрушению, межкристаллитной коррозии и коррозионную усталость, стабилизирует размеры и предотвращает коробление изделий.

О применении термической обработки для снижения уровня остаточных напряжений говорится в работе [5]. По мнению авторов, для большинства металлов и сплавов остаточные напряжения снимаются при температурах нагрева до 600 оС. Однако полное снятие остаточных напряжений происходит только при температурах рекристаллизации. Режимы термической обработки широко варьируют в зависимости от марки сплава и желаемого результата. Применяют отжиг, нормализацию, закалку с отпуском, либо закалку и нормализацию с последующим отпуском, либо отжиг по сложному температурному режиму.

При выборе режимов термической обработки, с целью снижения или перераспределения остаточных напряжений, следует учитывать, что любые способы охлаждения при термообработке характеризуются новой схемой распределения напряжений, отличной от исходной, после завершения холодной или теплой пластической обработки. Новое распределение остаточных напряжений может благоприятно сказываться на эксплуатационных свойствах металлоизделий. Однако может быть и обратный эффект, что связано с общим разупрочнением металла или со сменой знака остаточных напряжений на

поверхности изделия даже при снижении их уровня. Автор книги [8] отмечает важную особенность в образовании остаточных напряжений после интенсивного нагрева. В процессе нагрева создаются температурные напряжения сжатия, превосходящие предел текучести материала. В результате в материале образуется остаточная пластическая деформация сжатия. После охлаждения (тепловой разгрузки) размеры тела возвращаются к прежним, но наличие остаточной деформации сжатия вызывает появление растягивающих остаточных напряжений. Во многих случаях оказывается необходимым учесть специфические объемные изменения в материале, связанные с фазовыми и структурными превращениями, которые определяются не только температурой, но и другими параметрами процесса, например, временем.

При расчете реальных процессов нагрева и охлаждения следует также иметь в виду, что распределение температуры и температурных напряжений сильно изменяется во времени [8].

В некоторых случаях технологический процесс включает специальную термическую обработку для создания благоприятных остаточных напряжений. Как правило, она заключается в нагреве до невысокой температуры (300...600 оС) с последующим быстрым охлаждением. В процессе охлаждения в поверхностных слоях возникает пластическая деформация растяжения и после выравнивания температурного поля появляются остаточные напряжения сжатия. Сжимающие поверхностные остаточные напряжения возникают при закалке токами высокой частоты.

### 3. Объект и метод исследования

Цель экспериментального исследования: поиск оптимальных режимов исправления коробления листовых деталей из алюминиевых сплавов термоправкой.

Задачи исследования:

- Исследовать распределение остаточных напряжений в заготовках;
- Исследовать, как влияет механическая обработка на остаточные напряжения в заготовках;
- Экспериментальное исследование уменьшения коробления на основе измерения изменения прогиба;
- Сделать вывод по проведенным экспериментам.

Для выполнения исследования по исправлению коробления, на предприятии (предприятие, по тематике которого выполняется работа: АО«НПЦ«Полюс») была выдана деталь из алюминиевого сплава АМгб «Стенка» (рис.3.1а,б). При механической обработке (фрезеровании) данной детали возникает существенное отклонение формы. Первоначально задаваемая форма детали на фрезерном станке с ЧПУ изменяется после разжатия. Толщина стенки равна 3мм. Габариты: 327x95x28,5. При таких значениях длины и толщины стенки возникает существенный прогиб (рис.3.2). Последующая сборка изделия невозможна. Возникает задача решения данной проблемы.

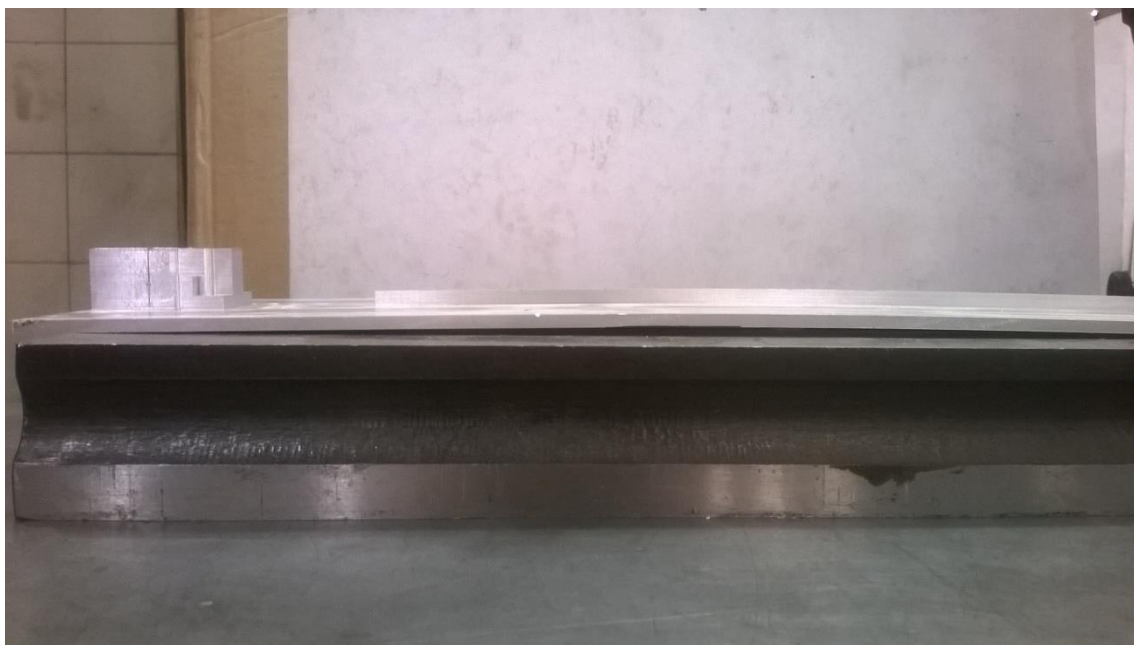


Рис. 3.1.(а) Стенка из сплава АМгб(вид сверху)



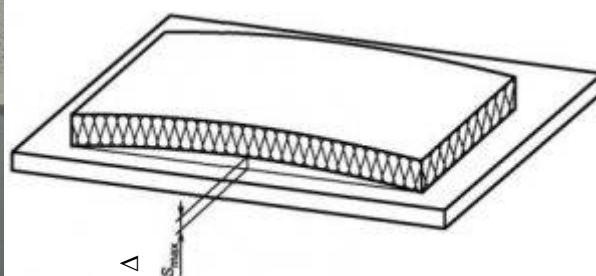


**Рис. 3.1.(б) Стенка из сплава АМг6(вид снизу)**



**Рис. 3.2 Образуемый прогиб после фрезерования на станке**

Прогиб измерялся на поверочной плите по ГОСТ 26877-91 (рис.3)



**Рис. 3.3 Измерение отклонения от плоскости детали «Стенка»**

Для осуществления термоправки и поиска оптимальных режимов термоправки, была изготовлена специальная оснастка (рис.3.4 а,б,в). Она представляет из себя две пластины с углублениями под бобышки и ребра жесткости исправляемой детали. Искривленная деталь устанавливается на нижнюю пластину и накрывается верхней пластиной.



**Рис. 3.4.(а) Нижняя пластина**



**Рис. 3.4.(б) Деталь установленная на нижнюю пластину**



**Рис. 3.4.(в) Верхняя прижимная пластина**



**Рис. 3.5 Выпрямляемая деталь в специальной оснастке**

Вложенную деталь в такую оснастку устанавливают в печь и прижимают весом, достаточным для упругого выпрямления детали. В нашем случае использовался груз весом 10 кг. После этого производится нагрев печи до температуры релаксации напряжений (1,5 часа), выдержка 1 час и последующее охлаждение в печи.

Заготовка из которой фрезеруется деталь – Плита АМг6 30 ГОСТ 17232-99. Свойства материала приведены в главе 2.1.

Для исследования внутреннего напряженного состояния нарезаются пластинки из листового проката. Габариты используемых в эксперименте образцов в (мм) - 157x15x10\*.

Исходный прогиб контролировался с помощью лекальной линейки.

Прогиб после обработки измеряется индикатором часового типа по схеме изображенной на рисунке 3.6.



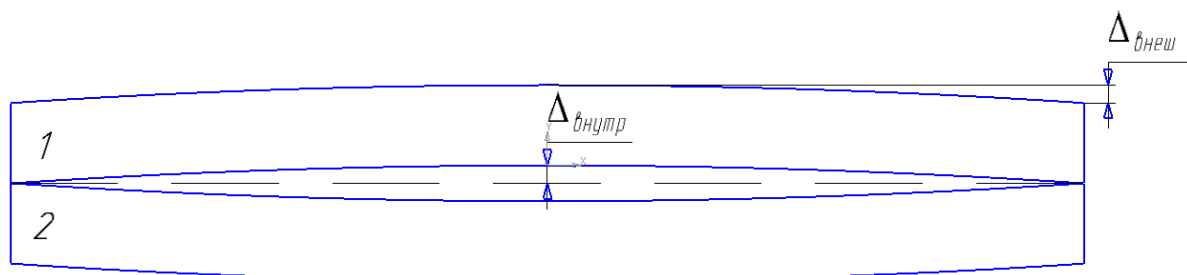
**Рис.3.6** Приспособление для измерения прогиба заготовок

По определённым значениям прогиба определяем величину результирующего изгибающего момента от действия внутренних напряжений. По величине изгибающего момента оцениваем влияние остаточных напряжений на коробление.

## **4. Результаты экспериментов**

### **4.1 Исследование внутреннего напряженного состояния алюминиевых заготовок в процессе технологической обработки**

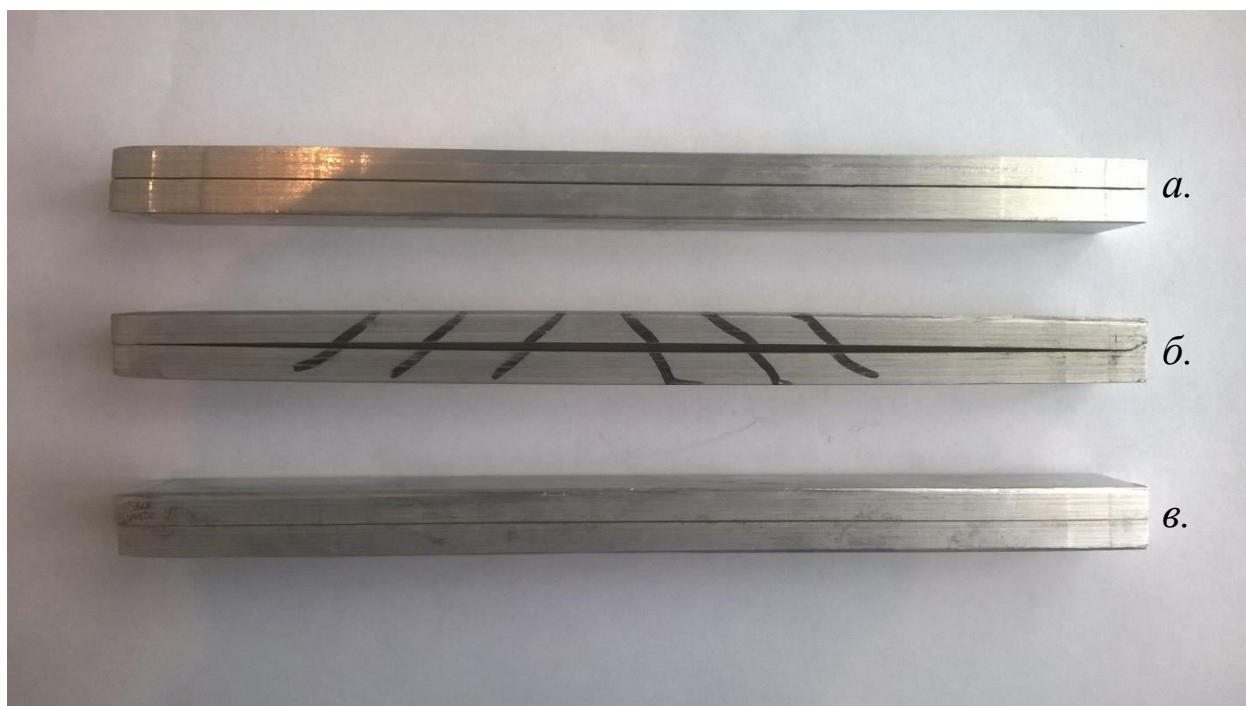
Проведём исследование напряженного состояния в заготовках алюминиевого сплава АМг6. Для этого нарежем несколько заготовок из листового проката толщиной 10 мм (ГОСТ 17232-99). Габариты образцов в (мм) - 157x15x10\*. Приложив к лекальной линейке выявили, что образцы не имеют изначально никакого прогиба. Разрежем образец на проволочном электроэрозионном разрезном станке вдоль проката, получив две полупластины толщиной 5 мм (рис.4.2.а). После разрезки полупластины приобрели небольшой *отрицательный* прогиб (рис.4.1) .



**Рис.4.1 Отрицательный прогиб после разрезки**

**Таблица 4.1 Значения прогиба первого образца**

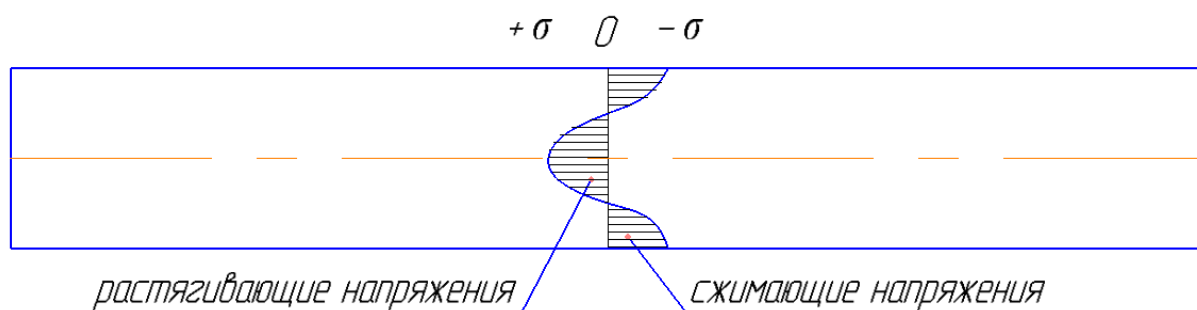
	Прогиб $\Delta$ , мм
1-я полупластина	0,077
2-я полупластина	-0,053



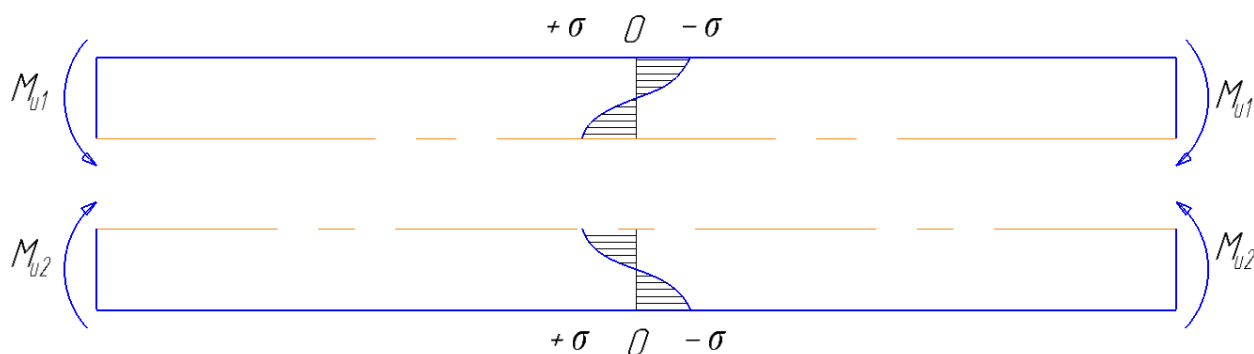
**Рис.4.2 Образцы, разрезанные на электроэрозионном проволочно-разрезном станке**

Этот результат подтверждает описанное ранее в главе 2.3.1 внутреннее напряженное состояние в алюминиевом прокате. Наружные поверхностные слои имеют изначально заложенные сжимающие напряжения, а внутренняя часть – растягивающие. Возникает они в процессе охлаждения при изготовлении проката. Из-за того, что эти напряжения симметрично

сбалансированы в прокате (рис.4.3), отрезанные образцы не имеют изначального коробления. Но после того, как мы разрезаем заготовку по середине проката (рис.4.4) внутренние напряжения перестают быть симметрично уравновешенными. Возникает изгибающий момент, приводящий к искажению формы (рис.4.1). Причём при рассечении ровной пластины на две идеально равные по толщине полупластины, мы бы получили прогиб равный у обеих пластин, так как теоретически изгибающий момент первой полупластины  $M_{u1}$  равен изгибающему моменту второй  $M_{u2}$  при условии отсутствия начального изгиба. В данном эксперименте из-за погрешности резки, пластины немного отличаются по величине прогиба.



**Рис.4.3 Эюра распределения сбалансированных остаточных напряжений в прокате**



**Рис.4.4 Несбалансированные остаточные напряжения в полупластинках**

Можно также заметить, что величина прогиба, разрезанного образца не существенна. Это говорит о том, что поставляемый прокат небольшой толщины (в эксперименте использовался прокат толщиной 10 мм) изначально имеет довольно низкие по величине остаточные напряжения, несмотря на то, что прокат не подвергают отжигу в процессе изготовления (ГОСТ 17232-99).

Поэтому детали из такого проката зачастую не нуждаются в последующей правке.

Рассчитаем приблизительное значение результирующих изгибающих моментов полупластин  $M_{u1}$  и  $M_{u2}$  по известным значениям прогиба и размерам полупластин.

Прогиб  $\Delta$  равен:

$$\Delta = \frac{l^2}{8EI} M_{и},$$

где  $E$  – модуль упругости,  $I$  – момент инерции,  $l$  – длина образца.

Момент инерции находится по формуле:

$$I = \frac{bh^3}{12},$$

где  $b$  – ширина,  $h$  – толщина полупластин.

Отсюда величина результирующего изгибающего момента от внутренних напряжений равна:

$$M_{и} = \frac{2\Delta E b h^3}{3l^2}.$$

Рассчитаем изгибающий момент полупластин по известным значениям прогиба с внутренней стороны. Результаты представлены в таблице 4.2:

**Таблица 4.2** Параметры полупластин первого образца. Результирующий момент в полупластинках

№ полупластины	Прогиб $\Delta$ , мм	$b$ , мм	$l$ , мм	$h$ , мм	$M_{и}$ , Н·м
1	0,077	17	157	4,7	0,261
2	-0,053	17	157	5,3	-0,258

Значения изгибающих моментов приблизительно равны по модулю и противоположны по направлению:

$$M_{и1} \approx -M_{и2},$$

$$0,261 \text{ (Н·м)} \approx 0,258 \text{ (Н·м)}.$$

В пластинах более толстых значение остаточных напряжений увеличивается. Чем толще, тем большая разность напряжений между

приповерхностным слоем и внутренностью. Детали из таких заготовок имеют существенное коробление. Вызвано такое отличие остаточных напряжений в толстых пластинах от тонких тем, что при охлаждении толстые пластины имеют большие разности температур в толщине материала.

Создадим искусственно это существенное различие скорости охлаждения для наших образцов толщиной 10 мм. Для этого сперва нагреваем заготовки в печи до 450°C и охлаждаем в воде. Заготовка по-прежнему не имеет внешнего коробления. Проводим также разрезку, как в предыдущем случае. Результат виден на рисунке 4,2.б.

Полупластины приобрели прогиб в ту же сторону, но значительно больше.

**Таблица 4.3** Параметры полупластин быстро охлажденного образца. Результирующий момент в полупластинках

№ полупластины	Прогиб Δ, мм	<i>b</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>h</i> , мм	<i>M</i> <sub>и</sub> , Н·м
1	0,4	17	157	4,9	1,54
2	-0,35	17	157	5,1	-1,52

$$M_{и1} \approx -M_{и2},$$

$$1,54 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \approx 1,52 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Такой нагрев с быстрым охлаждением увеличил результирующий момент от остаточных напряжений почти в 6 раз.

Ещё один образец, охлаждённый в воде после нагрева до 450°C, подвергнем отжигу при температуре 330°C. Результаты прогиба после разрезки образца(рис.4.2.в) представлены в таблице 4.3.

**Таблица 4.3** Параметры полупластин отожженного образца. Результирующий момент в полупластинках

№ полупластины	Прогиб Δ, мм	<i>b</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>h</i> , мм	<i>M</i> <sub>и</sub> , Н·м
1	0,09	17	157	4,8	0,325
2	-0,056	17	157	5,2	-0,257



Как видно после отжига таких заготовок с последующим медленным охлаждением в печи, значение остаточных напряжений спало приблизительно к начальному уровню в 5,24 раза.

#### 4.2 Влияние фрезерование на остаточные напряжения

Рассмотрим, как повлияет фрезерование на изменение распределения остаточных напряжений в пластинах.

Для этого возьмём два образца:

Образец №2 – нагрет до 450°C, с охлажден в воде;

Образец №1 – после отжига.

Далее, как и ранее получаем полупластину толщиной 5 мм фрезерованием на всю высоту концевой фрезой  $\varnothing 20$  мм в тисках. Скорость резания  $V_p=78$  м/с, подача  $S=200$  мм/мин.

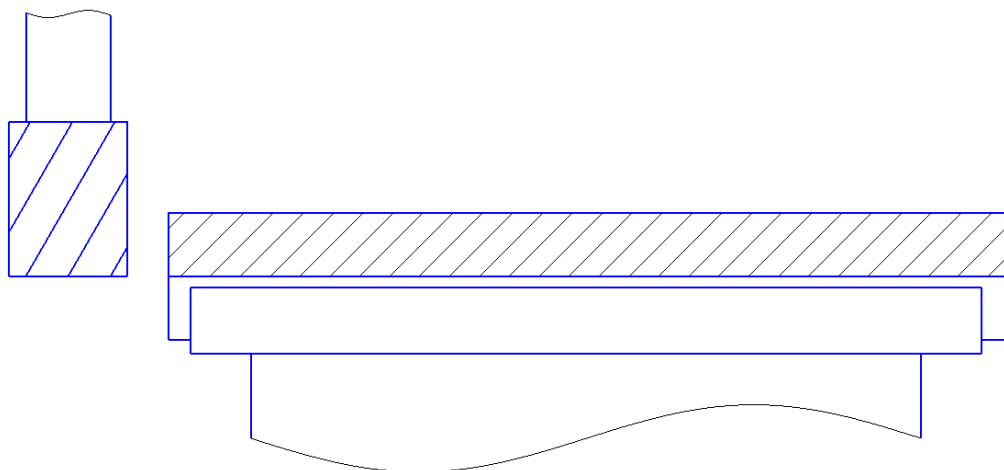


Рис.4.5 Схема фрезерование образца в тисках

После разжима образцы приняли следующую форму:

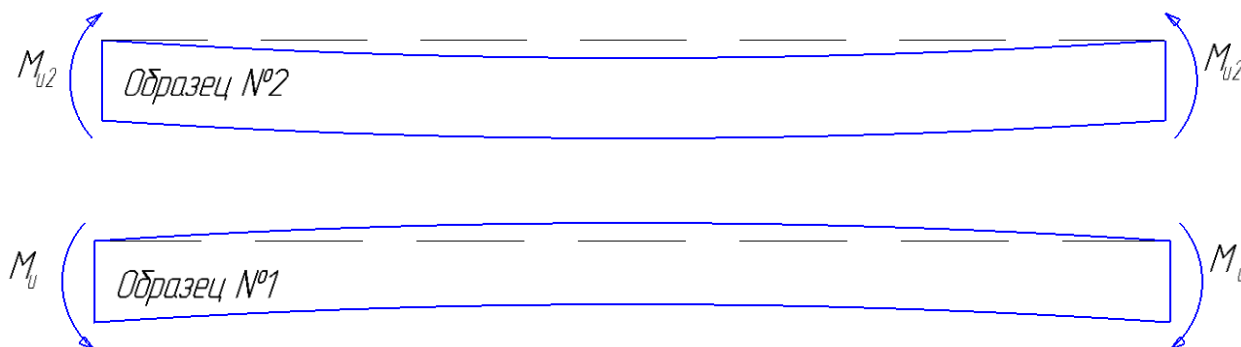
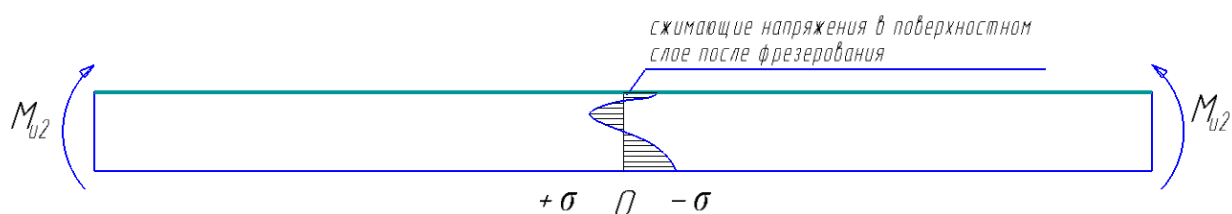


Рис.4.6 Искажение формы после разжима заготовок

**Таблица 4.4** Параметры образцов после фрезерования

	Прогиб $\Delta$ , мм	$b$ , мм	$l$ , мм	$h$ , мм	$M_{из}$ , Н·м
Образец №2	-0,073	17	157	5	-0,298
Образец №1	0,065	17	157	5	0,265

После фрезерования прогиб образца охлаждённого в воде составил намного меньше, чем после электроэрозионной разрезке. А отожжённый образец №1 вообще принял противоположный положительный прогиб. Это говорит о том, что фрезерование внесло в поверхностный слой значительные сжимающие напряжения. Результирующий изгибающий момент изменился. Прогиб калённого образца уменьшился, а отожжённого изменил направление.



**Рис.3.7** Перераспределение эпюры остаточных напряжений после фрезерования

В таблице ниже приведены данные прогиба до и после снятия припуска 1,5 мм для четырёх образцов.

**Таблица 4.5** Изменение прогиба после фрезерования припуска 1,5 мм

№	Подача, мм/мин.	Скорость резания, $V_p$ м/с	Прогиб до фрезеровки	$\Delta_1$ , мм	Прогиб после	$\Delta_2$ , мм	Разность прогибов $\Delta =$ $\Delta_2 - \Delta_1$ , мм
1	200	377		-0,09		0,015	0,105
2	200	377		0,056		0,075	0,019
3	80	377		-0,077		-0,04	0,037
4	80	377		0,053		0,07	0,017

Везде после фрезеровки вносятся в поверхностный слой сжимающие напряжения, приводящие к изменению прогиба. При большей подаче вносятся большие напряжения.

### **4.3 Определение оптимальных режимов термоправки детали «Стенка»**

Отклонение от плоскостности детали «Стенка» после операции фрезерования составило:

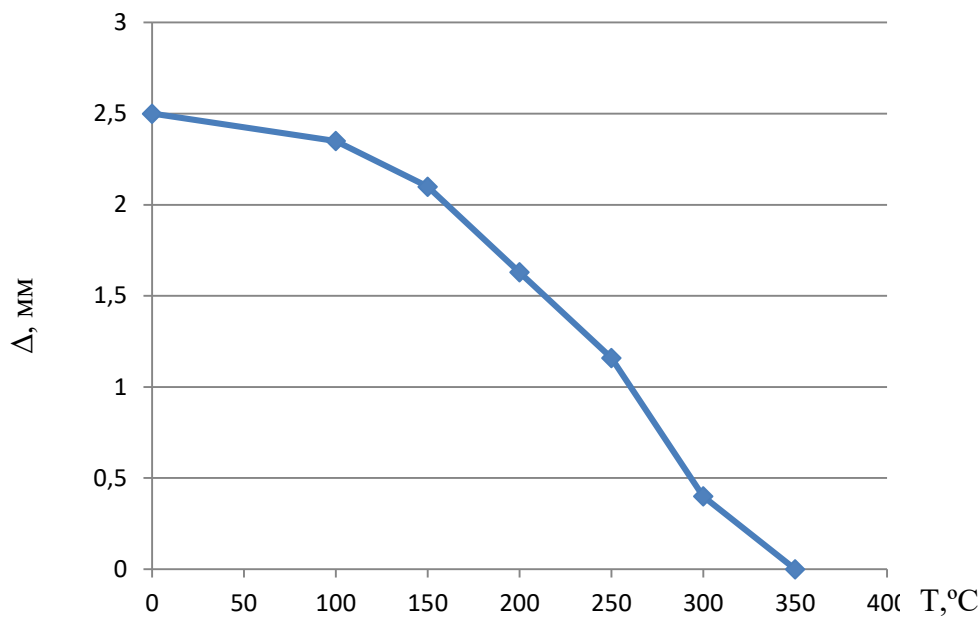
$$\Delta = 2,5 \text{ мм.}$$

Для определения оптимальных режимов термической правки проводится эксперимент со ступенчатым наращиванием температуры в печи. Первоначальное значение принято  $100^{\circ}\text{C}$ . Шаг наращивания температуры принят равным  $50^{\circ}\text{C}$ . После каждой выдержки и охлаждения детали проводим измерение прогиба. Результаты представлены в таблице 4.6.

**Таблица 4.6 Значения прогиба**

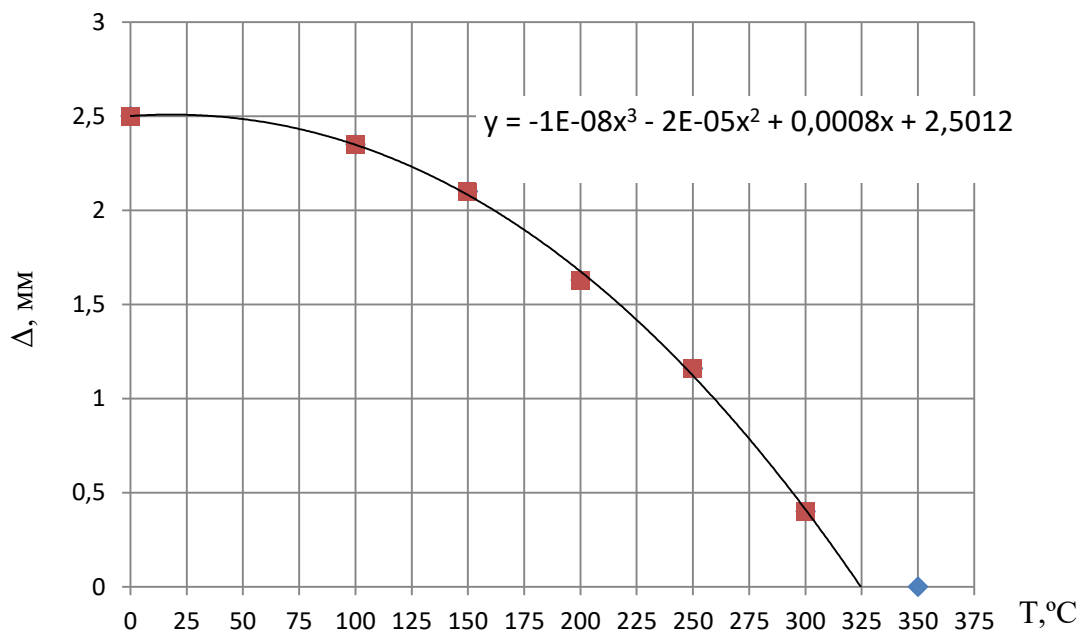
	Прогиб $\Delta$ , мм:
После фрезеровки	2,5
После выдержки при $100^{\circ}\text{C}$	2,35
После выдержки при $150^{\circ}\text{C}$	2,1
После выдержки при $200^{\circ}\text{C}$	1,63
После выдержки при $250^{\circ}\text{C}$	1,16
После выдержки при $300^{\circ}\text{C}$	0,4
После выдержки при $350^{\circ}\text{C}$	0

Отообразим результаты на графике (Рис.4.8).



**Рис. 4.8** График изменения величины прогиба от температуры термоправки в печи

Как можно заметить из результатов эксперимента, при правке при температуре 350°C добились успешного результата по полной выправке детали. Определим начальное значение температуры, при котором достигается практически полное исправление формы детали. Для этого, аппроксимируем результаты экспериментов, не учитывая последнее измерение при температуре правки 350°C (рис.4.9).



**Рис.4.9** Линия регрессия описанная полиномом 3-ей степени по методу наименьших квадратов

Эмпирическая формула оптимальным образом описывающая экспериментальные данные:

$$y = -0,00000001x^3 - 0,00002x^2 + 0,0008x + 2,5012.$$

Степень аппроксимации:

$$R^2 = 0,9988$$

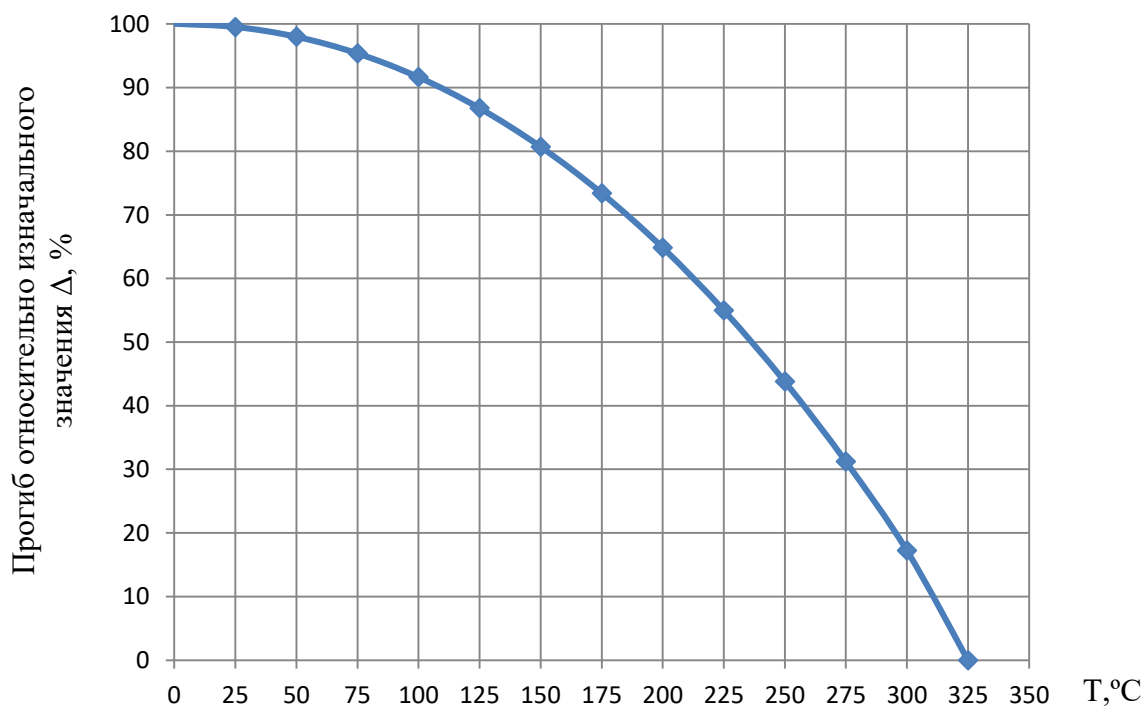
Как видно из графика регрессии, ожидается достичь полного выпрямления детали при температуре 325 °С. Проверим это прогнозирование. Для этого возьмём ещё одну деталь с прогибом и подвергнем термоправке при температуре 325 °С.

Изначальный прогиб детали:

$$\Delta = 1,85 \text{ мм.}$$

После термоправки при температуре 325°С прогиб стал равен нулю. И всё отклонение от плоскостности свелось к неровностям фрезерованной поверхности.

На рисунке 4.10 показана зависимость эффективности термоправки алюминиевого сплава АМг6 в процентном соотношении от температуры в печи, построенная по эмпирической формуле.



**Рис.4.10** Уменьшение исходного прогиба в зависимости от температуры правки для АМг6

Таким образом оптимальные режимы термоправки детали из АМг6

$$T_{\text{правки}} = 325-340 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Этих температур достаточно для осуществления термоправки. Превышение температуры выше 340°С существенно снижает коррозионную стойкость сплавов системы Al-Mg-Mn [21].

## 5. Заключение

По результатам проведённых экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Выпускаемый алюминиевый прокат малых толщин имеет небольшое значение остаточных напряжений;
2. Остаточные напряжения в прокате являются сбалансированными. Эпюра распределения остаточных напряжений симметрична. Поэтому коробление возникает при удалении материала заготовки, вследствие неуравновешенности напряжений. Материал упруго деформируется;
3. Фрезерование алюминиевых деталей вносит в поверхностный слой значительные по величине сжимающие напряжения. Увеличение подачи увеличивает вносимые остаточные напряжения;
4. Экспериментальным путём определили оптимальную температуру термоправки на детали «Стенка»  $T_{\text{правки}} = 325-340 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Исходя из этого можно рекомендовать технологам при проектировании технологических процессов производства деталей из алюминиевых сплавов АМг6 следующее:

- При проектировании технологии изготовления сложных нежестких деталей из проката больших толщин предусматривать термический отжиг при температуре 325 – 340 °С после черновых обдирочных операций перед чистовыми. Это снизит значение имеющихся остаточных напряжений, так как основная часть материала удалена. Это приведёт к меньшему короблению при фрезеровании элементов детали;

- Поставляемый прокат малой толщины имеет малое значение величины остаточных напряжений, поэтому отжигать перед обработкой заготовку не имеет смысла. А термоправку проводить по мере необходимости;
- При недопустимом короблении формы, проводить термическую правку в печи с приложением нагрузки на стенки детали, достаточной для их упругого выпрямления. Оптимальная температура отжига определённая в работе на детали «Стенка»  $T_{\text{правки}} = 325-340 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

При проектировании высокоточных изделий, необходимо прибегать к симметричной форме деталей. Так как полностью избавиться от внутренних напряжений невозможно, но можно их уменьшить и уравновесить.

Имеет смысл провести глубокое исследование по влиянию режимов резания и схемы обработки на формирование остаточных напряжений в поверхностном слое.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Сизинцев Роман Евгеньевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

#### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Затраты на материально-технические ресурсы рассчитать исходя из среднерыночной стоимости ресурсов; затраты на электроэнергию – по мощности и затраченному времени; затраты на человеческие ресурсы – по тарифным ставкам и отработанному времени.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы и нормативы расходования ресурсов принять исходя из установившихся технологических норм предприятия.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Использовать традиционную систему налогообложения, исходя из действующих налоговых ставок.

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	В качестве критерия экономической эффективности рассмотреть и принять оценку научно-технического уровня НИ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	В работе осуществляется поиск оптимальных режимов термической правки изделий из АМгб
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составлена иерархическая структура проведения работ, выполнен расчет бюджета проекта.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, использовать метод балльных оценок.

#### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ	
2. Сегментирование рынка	
3. Оценка конкурентоспособности технических решений	
4. Диаграмма FAST	
5. Матрица SWOT	
6. График проведения и бюджет НТИ	
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

#### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хаперская А.В.			

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сизинцев Р.Е.		



## 6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Машиностроение – это материалоемкое производство, где используют все известные материалы, но наибольший удельный вес занимают металлы. Свыше 60% затрат на производство продукции составляют материалы, покупные и комплектующие изделия и около 30% составляют затраты на оплату труда. Машиностроение относится также к энергоемким производствам и является крупнейшим потребителем электроэнергии, газа, мазута и других энергоносителей. Трудовые ресурсы машиностроительных предприятий должны отличаться высоким уровнем профессиональной подготовки от рабочего до управляющего, что обусловлено применением сложной техники, созданием сложнейшей конкурентоспособной продукции и технологических процессов ее изготовления, а также в связи с постоянной необходимостью координации и регулирования хода производства, обусловленных его прерывностью. Указанные особенности машиностроительного производства требуют от каждого работника (мастера, инженера, руководителя) знаний экономических законов, реализуемых на машиностроительном предприятии, умений использования их для достижения главных целей предприятия.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

### **Краткое описание выполненных работ**

В исследуемой работе мною был рассмотрен метод термической правки нежестких деталей из алюминиевого сплава АМг6. При различных технологических операциях в деталях образуются остаточные напряжения, которые при неравномерном их распределении приводят к изменению изначально задаваемой формы изделия. В работе осуществляется

совершенствование термообработки для снижения и перераспределения остаточных напряжений в алюминиевых деталях в процессе их изготовления. Для этого после таких операций, как резание добавляется операция термостабилизации формы. Определение остаточных напряжений производится механическим методом – последовательным снятием слоёв и расчётом остаточных внутренних напряжений. Мною исследованы литературные источники, которые раскрывают такие вопросы как: коробление алюминиевого сплава в процессе технологической обработки, остаточные напряжения в деталях, измерения остаточных напряжений, термическая обработка, а также расчет методом последовательного снятия слоёв и расчёта напряженного состояния.

Одним из главных достоинств метода термической правки деталей является его простота и точность, надёжность. Задача данной работы состоит в поиске оптимальных режимов термической обработки. После решения этой задачи можно думать о выдвигении улучшенной технологии на рынок как универсальной в полной мере конкурентоспособного существующим методам.

### **Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Основные конкурирующие методы правки деталей(уменьшения или перераспределения остаточных напряжений):

Бф –термоправка с предварительным выпрямлением в оснастке;

Бк1 – холодная правка;

Бк2 – отжиг до финишных операций;

Бк3 – магнитно-импульсная обработка;

Таблица 6.1

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкуренто-способность			
		Бф	Бк1	Бк2	Бк3	Кф	Кк1	Кк2	Кк3
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>									
1.Производительность	0,1	5	3	5	4	0,5	0,3	0,5	0,4
2.Удобство применяемого метода (автоматизация, применение труда рабочих)	0,05	5	2	4	3	0,25	0,1	0,2	0,15

3. Применение к деталям сложной конструкции	0,1	3	2	2	4	0,3	0,2	0,2	0,4
4. Сбалансированность остаточных напряжений	0,1	5	2	3	4	0,5	0,2	0,3	0,4
5. Искривление деталей в процессе эксплуатации из-за старения.	0,08	5	2	3	4	0,4	0,16	0,24	0,32
6. Эффективность уменьшения остаточных напряжений при заключительной обработке	0,05	5	3	2	4	0,25	0,15	0,1	0,2
7. Безопасность	0,04	5	3	5	4	0,2	0,12	0,2	0,16
8. Уровень шума	0,05	5	2	5	3	0,25	0,1	0,25	0,15
9. Надежность	0,07	5	2	2	5	0,35	0,14	0,14	0,35
10. Простота эксплуатации	0,07	5	1	5	3	0,35	0,07	0,35	0,21
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>									
1. Конкурентоспособность	0,09	5	1	3	4	0,45	0,09	0,27	0,36
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	5	2	3	4	0,3	0,12	0,18	0,24
3. Цена	0,09	5	5	5	2	0,45	0,45	0,45	0,18
4. Предполагаемый срок эксплуатации оборудования	0,05	5	5	5	3	0,25	0,25	0,25	0,15
<b>Итого</b>	1	68	35	$\frac{5}{2}$	51	4,8	2,45	3,63	3,67

По данным таблицы 6.1 можно сделать вывод о том, что по критериям оценки более эффективные методы – это метод термоправки и магнито-импульсной обработки. Каждая технология занимает свою определенную нишу в производстве, где по определенным параметрам выигрывает у конкурента. Но метод термоправки является более простым, надёжным, универсальным в применении.

### **FAST – анализ**

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

В качестве объекта FAST-анализа выступает процесс термической правки изготовленных деталей. Описание главной, основных, и вспомогательных функций представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 «Описание главной, основных, и вспомогательных функций»

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранги функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Термообработка	-	Уменьшения, перераспределения остаточных напряжений	X		
Нагрев в печи	1	Уменьшение предела текучести материала		X	
Выдержка в печи	1	Пластическая деформация внутренних слоёв материала, релаксация внутренних напряжений		X	
Охлаждение в печи	1	Равномерное охлаждение заготовки по толщине		X	
Оснастка	1	Выпрямляет деталь для отжига			X

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

Строим матрицу смежности функции таблица 6.3.

Таблица 6.3 «Матрица смежности функций»

	Уменьшение предела текучести материала	Пластическая деформация внутренних слоёв материала, релаксация внутренних напряжений	Равномерное охлаждение заготовки по толщине	Выпрямляет деталь для отжига
Уменьшение предела текучести материала	=	<	>	>
Пластическая деформация внутренних слоёв материала, релаксация внутренних напряжений	>	=	>	>
Равномерное охлаждение заготовки по толщине	<	<	=	>
Выпрямляет деталь для отжига	<	<	<	=

Преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций.

Таблица 6.4 «Матрица количественных соотношений функций»

	Уменьшение предела текучести материала	Пластическая деформация внутренних слоёв материала, релаксация внутренних напряжений	Равномерное охлаждение заготовки по толщине	Выпрямляет деталь для отжига	Итого
Уменьшение предела текучести материала	1	0,5	1,5	1,5	4,5
Пластическая деформация внутренних слоёв материала, релаксация внутренних напряжений	1,5	1	1,5	1,5	5,5
Равномерное охлаждение	0,5	0,5	1	1,5	3,5

заготовки по тощине					
Выпрямляет деталь для отжига	0,5	0,5	0,5	1	2,5
					$\Sigma = 16$

Определяем значимость каждой функции:

Уменьшение предела текучести материала:  $4,5/16=0,28$ ;

Пластическая деформация внутренних слоёв материала, релаксация внутренних напряжений:  $5,5/16=0,34$ ;

Равномерное охлаждение заготовки по тощине:  $3,5/16=0,22$ ;

Выпрямляет деталь для отжига:  $2,5/16=0,16$ .

Таблица 6.5 «Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования»

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоёмкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб	зп, руб	Себестоимость, руб/час
Термообработка	-	Уменьшения, перераспределения остаточных напряжений	-	-	-	-	-
Нагрев в печи	1	Уменьшение предела текучести материала	-	2	2,5	150	400
Выдержка в печи	1	Пластическая деформация внутренних слоёв материала, релаксация внутренних напряжений	-	1	2,5	150	200
Охлаждение в печи	1	Равномерное охлаждение заготовки по тощине	-	2	-	150	300
Оснастка	1	Выпрямляет деталь для отжига	3	3	450	300	1650
							$\Sigma = 2550$

Определим основные затраты на функцию:

Затраты на электроэнергию и плата оператору (нагрев):  $400/2550=0,16$

Затраты на плату оператору и плата оператору (выдержка)  $200/2550=0,08$ ;

Затраты на плату оператору (охлаждение)  $300/2550=0,12$ ;

Затраты на изготовление оснастки  $1650/2550=0,65$ .

Информация об объекте, собранная в рамках предыдущих стадий, обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (Рис. 6.1):

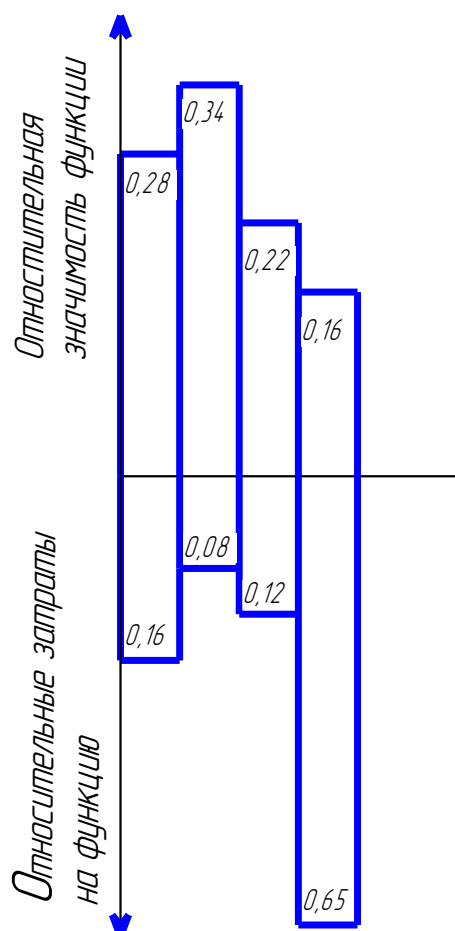


Рис.6.1 Функционально-стоимостная диаграмма

Согласно вышеприведенной диаграмме, видно рассогласование по четвертому пункту. Для оптимизации функций можно предложить следующие шаги:

- Использование оснастки многократно;
- Предусматривать конструкцию так, чтобы можно было использовать для типовых деталей.

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;

- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

### SWOT-анализ проекта

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Матрица SWOT

<p><b>Strengths (сильные стороны)</b>  С1. Простота технологии.  С2. Полная релаксация напряженного состояния в детали.  С3. Универсальность.  С4. Возможность использования различной технологической оснастки для разных форм деталей.</p>	<p><b>Weaknesses (слабые стороны)</b>  Сл1. Дополнительная операция в технологическом процессе.  Сл2. Длительность данного технологического перехода.  Сл3. Наличие крупных термопечей на производстве для повышения производительности.  Сл4. Высокое требование к безопасности</p>
<p><b>Opportunities (возможности)</b>  В1. Заинтересованность машиностроительного производства, работающего с легкими сплавами.  В2. Возможность правки деталей покоробившихся при производстве.</p>	<p><b>Threats (угрозы)</b>  У1. Появление новых более совершенных технологий.  У2. Отсутствие спроса.</p>

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если



есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблице 6.7, 6.8, 6.9 и 6.10.

Таблица 6.7 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	-	+	+
	B2	-	-	+	+

Таблица 6.8 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	+	-	-
	B2	+	-	+	+

Таблица 6.9 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	-	+
	У2	-	-	+	-

Таблица 6.10 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта					
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	-
	У2	+	-	-	-

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Итоговая матрица SWOT

	<b>Strengths (сильные стороны)</b> С1. Простота технологии. С2. Полная релаксация напряженного состояния в детали. С3. Универсальность. С4. Возможность использования различной технологической оснастки для разных форм деталей.	<b>Weaknesses (слабые стороны)</b> Сл1.Дополнительная операция в технологическом процессе. Сл2. Длительность данного технологического перехода. Сл3. Наличие крупных термопечей на производстве для повышения производительности. Сл4. Высокое требование к безопасности
<b>Возможности</b> В1. Заинтересованность машиностроительного производства, работающего с легкими сплавами. В2. Возможность правки деталей покоробившихся при производстве.	В1В2С3С4 В1С1С3С4 В2С3С4	В2Сл1Сл3Сл4
<b>Угрозы:</b> У1. Появление новых более совершенных технологий. У2. Отсутствие спроса.	У1С1С2С4	У1Сл1Сл2Сл3 У1У2Сл1

### Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать, влияя на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

## Цели и результат проекта

Реализация любого проекта преследует какую-либо определенную цель. Неправильно определенные цели и задачи, или цели без задач, приводят к тому, что в процессе реализации проекта возникают перерасход средств, конфликты между членами проектной команды, несоблюдение контрольных промежуточных пунктов и, как следствие, недовольство доноров проекта. Цель в большей степени представляет собой декларацию о намерениях, из которой должно быть ясно, в чем состоит важность проекта для общества.

Таблица 6.12 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Машиностроительные компании, производящие продукцию из алюминиевых сплавов	1. Получение изделий с точными размерами и формой

Таблица 6.13 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Разработать эффективную технологию изготовления деталей из алюминиевого сплава АМг6;</li><li>2. Определить оптимальные режимы термообработки заготовок.</li></ol>
Ожидаемые результаты проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Улучшение существующих технологий производства нежестких деталей и алюминиевых сплавов;</li><li>2. Повышение качества выпускаемой продукции на производстве.</li></ol>
Требования к результату проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Разрабатываемая технология должна быть экономически выгодной, эффективной.</li></ol>

## Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 6.14 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1.	Охотин И.С., НИ ТПУ, доцент отд. материаловедения	Руководитель проекта	Консультирование по методике проведения экспериментов и измерениям	129
2.	Сизинцев Р.Е., НИ ТПУ, магистрант	Исполнитель по проекту	1. Проведение экспериментов 3. Выполнение расчетов	2163
ИТОГО:				2292

## Ограничения и допущения

Таблица 6.15 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	296176,474 руб.
Источник финансирования	Отделение материаловедения
Сроки проекта	20.01.2017 – 31.05.2018
Дата утверждения плана управления проектом	18.02.2016
Дата завершения проекта	8.06.2017
Прочие ограничения и допущения	-

## План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.


Линейный график представляется в таблице 6.16.

**Таблица 6.16 Линейный график проекта**

Код работ ы (из ИСП)	Название	Длительнос ть, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Постановка целей и задач, выдача исходных данных	2	20.01.2017	22.01.2017	Охотин И.С.
2	Составление и утверждение ТЗ	5	25.01.2017	30.01.2017	Охотин И.С.
3	Подбор и изучение материалов по тематике	60	2.02.2017	2.04.2017	Сизинцев Р.Е.
4	Разработка календарного плана	2	3.04.2017	5.04.2017	Охотин И.С.
5	Обсуждение литературы	7	7.04.2016	14.04.2017	Охотин И.С., Сизинцев Р.Е.
6	Исследование оптимальных режимов термоправки	46	17.04.2017	30.07.2017	Сизинцев Р.Е.
7	Измерение остаточных напряжений	122	30.07.2017	10.10.2017	Сизинцев Р.Е.
8	Анализ результатов исследования	13	12.10.2017	25.12.2017	Сизинцев Р.Е.
9	Оформление расчетно-пояснительной записки	90	20.01.2018	20.04.2018	Сизинцев Р.Е.
10	Оформление графического материала	26	24.04.2018	20.05.2018	Сизинцев Р.Е.
11	Подведение итогов	11	20.05.2018	31.05.2018	Охотин И.С.
Итого		384	20.01.2017	31.05.2018	

Таблица 6.17 – Календарный план-график проведения НИОКР

ККод работы	Вид работы	Исполнитель	ТТ, кал. дни	Продолжительность выполнения работ															
				яяньв.	ффеьв.	ммарт	аапр.	ммай	ииюнь	ииюль	Аавг.	Оосент	ноокт.	ддояьб.	яядек.	фьяньв.	Мфьевр	аамар.	мапр
11	Постановка целей и задач, выдача исходных данных	Охотин И.С.	2	▨															
12	Составление и утверждение ТЗ	Охотин И.С.	2	▨															
33	Подбор и изучение материалов по тематике	Сизинцев Р.Е.	42		■	■													
44	Разработка календарного плана	Охотин И.С.	48				▨												
55	Обсуждение литературы	Охотин И.С., Сизинцев Р.Е.	26				■	▨											
66	Исследование оптимальных режимов термоправки	Сизинцев Р.Е.	24				■	■	■	■									
77	Измерение остаточных напряжений	Сизинцев Р.Е.	14							■	■	■							
88	Анализ результатов исследования	Сизинцев Р.Е.	136										■	■	■				
99	Оформление расчетно-пояснительной записки	Сизинцев Р.Е.	62												■	■	■	■	
110	Оформление графического	Сизинцев Р.Е.	60																■

	материала																				
111	Подведение итогов	Охотин И.С.	37																		



- руководитель



- исполнитель

## Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления на страховые взносы;
- расходы на электроэнергию.

### Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 6.18.

Таблица 6.18 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за единицу, руб.	Количество	Сумма, руб.
Алюминиевый прокат АМгб	413 руб./кг	4	1652 руб.
Итого:			1652 руб.

Расходы на материалы составили:

$$C_{\text{мат}} = 1652 \text{ руб.}$$

Транспортно-заготовительные расходы составляют примерно 3 - 5% от затрат на материалы.

$$\text{Таким образом, } C_{\text{тр}} = 1652 \cdot 0,05 = 82,6 \text{ руб.}$$

### Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной



платы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата работника;

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дни.;

$Z_{\text{дн}}$  - среднедневная заработная плата работника.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{д}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течении года: при отпуске в 48 рабочих дней  $M=10,4$ , 6 –дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дни.

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 6.19. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 6.17. Также был принят во внимание премиальный коэффициент  $k_{\text{пр}} = 0,3$ , коэффициент доплат и надбавок, а также  $k_{\text{д}} = 0,2$  районный коэффициент  $k_{\text{р}} = 1,3$ .

Таблица 6.19 – Затраты на основную заработную плату

Исполнители	$Z_{\text{б}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
НР (доцент со степенью)	23264,86	0,3	0,2	1,3	45366,48	2160,31	44	95053,64
И (ассистент)	14584,32	0,3	0,2	1,3	21876,48	1041,74	113	111716,62

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили:

$$C_{\text{зп}} = 95053,64 + 111716,62 = 206770,26 \text{ руб.}$$

### Расчет затрат на социальные нужды

Затраты включают в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Данный коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

Отчисления из заработной платы составили:

$$C_{\text{соц}} = 0,3 \cdot 206770,26 = 62031,08 \text{ руб.}$$

### Расчет прочих расходов

В статье отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (1652 + 206770,26 + 62031,08) \cdot 0,1 = 26925,134 \text{ руб.}$$

### Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта.

Таблица 6.20– Расчет затрат на разработку проекта

Статья затрат	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	1652
Основная заработная плата	206770,26
Отчисления на социальные нужды	62031,08
Прочие расходы	26925,134
Итого:	296176,474

Таким образом, расходы на разработку составили  $C = 296176,474$  руб.

При расчете цены принята нулевая рентабельность разработки.

## Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности.

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Таблица 6.21 «Матрица ответственности»

Этапы проекта	Инженер(магистрант)	Руководитель проекта
1.Постановка целей и задач	И	О
2.Изучение литературы	И	О
3.Разработка календарного плана	И	О
4.Обсуждение литературы	И	О
5.Разработка ТЗ	И	У
6.Составление плана эксперимента	И	У
7.Эксперимент	И	О
8.Анализ результатов эксперимента	И	С
9.Составление отчета	И	У
10.Подведение итогов	И	С

## Оценка экономической эффективности проекта

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. Так как последние являются единовременными, то мы имеем дело с частным случаем задачи оценки экономической эффективности

инвестиций, т.е. вложением денежных средств в предприятие, организацию, отраслевую, региональную социально-экономическую систему и т.п. с целью получения определенного результата в будущем. Отличительными особенностями инвестиций, особенно когда речь идет о вложениях в нематериальные активы в форме НИР являются:

- результат может быть получен в течение ряда последующих лет в общем случае – на протяжении жизненного цикла создаваемой системы;
- результаты инвестиций содержат элементы риска и неопределенности;
- связывание на некоторое время финансовых средств инвестора.

Однако в данной работе провести оценку экономической эффективности проекта не представляется возможным.

### **Оценка научно-технического уровня НИР**

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i$$

где:  $R_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 6.22 «Весовые коэффициенты признаков НТУ»

<b>Признак НТУ</b>	<b>Примерное значение весового коэф-та <math>n_i</math></b>
1. Уровень новизны	0,3
2. Теоретический уровень	0,2
3. Возможность реализации	0,5

Таблица 6.23 «Баллы для оценки уровня новизны»

<b>Уровень новизны</b>	<b>Характеристика уровня новизны</b>	<b>Баллы</b>
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 6.24 «Баллы значимости теоретических уровней»

<b>Теоретический уровень полученных результатов</b>	<b>Баллы</b>
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 6.25 «Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам»

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Таблица 6.26 «Оценка уровня научно-технического эффекта»

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Таблица 6.27 «Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР»

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,3	Относительно новая	4	Обобщение и систематизация данных о различных технологиях термоправки, формирование рекомендаций по выбору оптимальных режимов.
Теоретический уровень	0,2	Элементарный анализ связей между фактами	2	Анализ распределения остаточных напряжений в заготовках до и после технологической обработки
Возможность реализации	0,5	В течение первых лет	10	Повсеместное совершенствование технологии термоправки

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{НТУ}} = 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 2 + 0,5 \cdot 10 = 6,6,$$

Таким образом данное исследование имеет средний уровень научно-технического эффекта.

### Реестр риска проектов

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 6.28 «Реестр рисков»

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность Наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Поставки и материала	Срыв поставок материала	3	3	Средний	Найти Российские аналоги	Ввод санкций
2	Экономический	Снижение финансирования	3	3	Средний	Найти материалы по низкой цене	Экономический кризис
3	Технический	Изменение технологии обработки	2	2	Низкий	Применение оборудования конкурента	Увеличение производительности

### Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

**Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования** получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где  $I_{\Phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

**Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования** можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где  $I^a$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент i-го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка i-го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 6.29 «Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта»

	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог1	Аналог2	Аналог3
Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	3	5	1	2
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	3	5	1	1
Помехоустойчивость	0,05	1	1	1	1
Энергосбережение	0,05	1	1	1	1
Надежность	0,1	5	3	1	1
Материалоемкость	0,2	5	3	4	4
Вложения	0,25	5	1	1	1
ИТОГО	1	21	19		

$$I_{ТП} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 = 3,9;$$



$$I_{\text{Аналог1}} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,25 \\ = 3,5;$$

$$I_{\text{Аналог2}} = 1 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,1 + 5 \cdot 4,2 + 1 \cdot 0,25 \\ = 2,6;$$

$$I_{\text{Аналог3}} = 2 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,25 \\ = 1,85;$$

**Интегральный показатель эффективности разработки** ( $I_{\text{финр}}^p$ ) **и аналога** ( $I_{\text{финр}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}, \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a}.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ - сравнительная эффективность проекта;

Таблица 6.30 «Сравнительная эффективность разработки»

№ п/п	Показатели	Аналог1	Аналог2	Аналог3	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	2,18	1,2	1,4	1,05
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,5	2,6	1,85	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	1,6	2,16	1,32	3,71
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	3,71			

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление технологии термоправки относительно аналогов, т.к. значение меньше аналогов.

При сравнение значений интегральных показателей эффективности разработки и аналога, можно сказать, что более эффективным для правки алюминиевых деталей является термическая правка.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЛМ61	Сизинцев Р.Е.

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Материаловедения</b>
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

**Тема дипломной работы: Исследование технологических возможностей термической правки нежестких деталей из алюминиевого сплава АМгб.**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Целью данной работы является поиск оптимальных режимов термической обработки деталей из АМгб, разработка технологии с учетом стабилизации форм деталей.
2. Описание рабочего места на предмет возникновения:
  - вредных проявлений факторов производственной среды (для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения метеоусловий на рабочем месте, исключить контакт с вредными, , которые могут образовываться в процессе обработки детали, обеспечить комфортную освещенность рабочего места, уменьшить до допустимых пределов шума механического производства, вентиляции, обеспечить безопасные значения электромагнитных полей термоустановок);
  - опасных проявлений факторов производственной среды (в связи с использованием электричество для работы металлорежущих станков, печей, и освещения, необходима защиты от электро-, пожаро- и взрывоопасности);
  - необходимо предусмотреть мероприятия по предотвращению негативного воздействия на окружающую природную среду используемых энергетических проявлений и образующихся отходов: электромагнитные поля от термопечей, избыточное тепло при охлаждении печей, отходы материала;
  - необходимо обеспечить устойчивую работу вашего производственного участка при возникновении чрезвычайных ситуаций, характерных для Сибири – сильные морозы, пурга, человеческий фактор, диверсия (рассмотреть минимум 2 ЧС – 1 природную, 1 техногенную).

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
  - а) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);
  - б) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;
  - в) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ;
  - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
  - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности
  - а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения,

<p>тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;</p> <p>– б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет), маркировка;</p> <p>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).</p>
<p>3. Охрана окружающей среды: организация безотходного производства (приводится перечень отходов при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации, образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>– а) Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия</p> <p>– разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС;</p> <p>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</p> <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <p>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);</p>
<p><b>Перечень графического материала:</b></p> <p>1) Пути эвакуации</p> <p>2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю. М.	Доктор технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сизинцев Р.Е.		

## **6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Описание рабочего места**

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрен этап технологического процесса изготовления деталей из алюминиевого сплава АМгб. В данном технологическом процессе задействованы механические и термические производственные участки.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, вибрация, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании производства необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как производственная площадь находится в городе Томске, возможной из ЧС является наводнение. Так же, в связи с беспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

### **6.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

На производстве, где находятся различные оборудование (такие как металлорежущие станки, термопечи и т.п.) могут быть следующие вредные факторы:

- некомфортные метеоусловия;
- производственные шумы;
- недостаточная освещенность;
- электромагнитное излучение.

### **6.1.1 Метеоусловия**

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ( $\varphi > 85\%$ ) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ( $\varphi < 20\%$ ) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было

охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ класса а. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 1.

Таблица 6.1 - Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категорий Ia

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
холодный	20,0 - 21,9	24,1 - 25,0	15 .. 75	0,1	0,1
теплый	21,0 - 22,9	25,1 – 28,0	15 .. 75	0,1	0,2

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

### **6.1.2. Производственный шум**

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В случае резания алюминия на

металлорежущих станках, этот параметр может изменяться от 78 дБА до 85дБА.

В таком случае необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

СКЗ:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;
- применение шумоизолирующих и шумопоглощающих материалов (металла, дерева, пластмасс, бетона и др.) для установки преград в виде экранов, перегородок, кожухов, кабин и др.

СИЗ: применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

На производстве основным методом по снижению шума являются наушники с шумоизоляцией, которые способны понизить шум, поступающий в органы слуха человека на 30-50 дБА.

### **6.1.3 Освещенность**

Согласно СНиП 23-05-95 на рабочих местах, где происходит основная работа производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 400 Лк при условии выполнения работ высокой точности.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в



поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 10$  м, ширина  $B = 6$  м, высота = 4 м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1,0$  м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где  $A$  – длина, м.,  $B$  – ширина, м.

$$S = 10 \times 6 = 60 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c = 50\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{п} = 70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_z = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу ЛХБ125, световой поток которой равен

$$\Phi_{лд} = 8000 \text{ Лм.}$$

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-125. Этот светильник имеет две лампы мощностью 125 Вт каждая, длина светильника равна 1528 мм, ширина – 446 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной

решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda=1,3$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР:  $h_n = 4$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 4 - 1 - 0,5 = 2,5 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 2,5 = 3,25 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{3,25} = 1,84 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{10}{3,25} = 3,07 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 3 \cdot 2 = 6$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{3,25}{3} = 1,08 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 6.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Расстояние между соседними рядами светильников:

$$L_2 + \frac{2}{3}L_2 + 2 \cdot 1530 = 6000$$

$$L_2 = 1764 \text{ мм}$$

$$\frac{L_2}{3} = 590 \text{ мм}$$

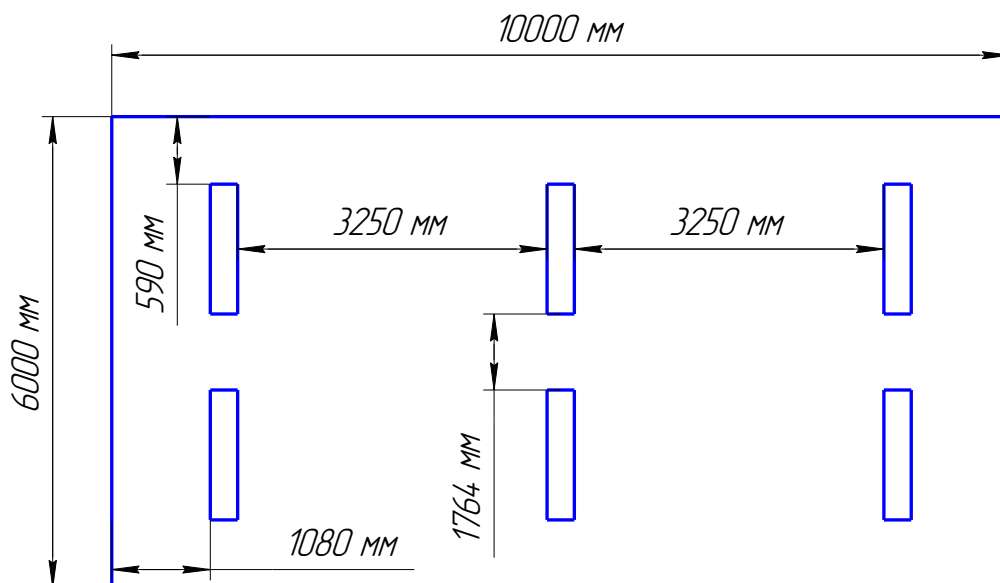


Рисунок 6.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{10 \cdot 6}{2,5 \cdot (10 + 6)} = 1,5$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при  $\rho_{\text{п}} = 70\%$ ,  $\rho_{\text{с}} = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1,5$  равен  $\eta = 0,47$ .

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,47} = 7021,2 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{8000 - 7021,2}{8000} \cdot 100\% = 12,23\%.$$

Таким образом:  $-10\% \leq 12,23\% \leq 20\%$ , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

#### **6.1.4 Электромагнитные поля**

На производстве используются электроустановки, которые в свою очередь генерируют электромагнитное поле. Таким образом, при организации безопасности труда, необходимо учитывать воздействие электромагнитных полей сверхвысоких частот на организм человека.

Эффект воздействия электромагнитного поля на биологические объекты в известной степени определяется количеством проникающей в них и поглощаемой ими электромагнитной энергии. Значительная часть энергии микроволн поглощается тканями организма и превращается в тепло, что объясняется возникновением колебания ионов и дипольных молекул воды, содержащихся в тканях. Наиболее эффективное поглощение микроволн отмечается в тканях с большим содержанием воды: кровь, тканевая жидкость, слизистая желудка, кишок, хрусталик глаза и др. Нагрев тканей в СВЧ-поле является наиболее простым и очевидным эффектом действия микроволн на организм человека. Положение максимума температуры, его удаление от поверхности тела зависит от проводимости среды, а, следовательно, и от частоты радиоволны, действующей на ткань: с увеличением частоты (укорочением волны) максимум температуры приближается к поверхности.

Длительное и систематическое воздействие на организм СВЧ-излучения вызывает повышенную утомляемость, периодически появляющуюся головную боль, сонливость или нарушение сна, повышение артериального давления и боли в области сердца. Под воздействием электромагнитных полей сверхвысоких частот наблюдаются изменения в

крови, увеличение щитовидной железы, катаракта глаз, а у отдельных лиц — изменения в психической сфере (неустойчивые настроения, ипохондрические реакции) и трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей).

**Предельно допустимые уровни облучения (по *ОСТ 54 30013-83*):**

В диапазоне СВЧ = 300...300000 МГц допустимая плотность потока мощности (ППМ<sub>доп</sub>) при времени облучения ( $\tau$  облуч.) в течение всего рабочего дня составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup>, при  $\tau$  облуч., равном 2 ч,- 100 мкВт/см<sup>2</sup> и при  $\tau$  облуч, равном 15...20 мин, - 1000 мкВт/см<sup>2</sup> (при обязательном использовании защитных очков!). В остальное рабочее время интенсивность облучения не должна превышать 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Для лиц, профессионально не связанных с облучением, и для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см<sup>2</sup>.

**Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:**

**СКЗ:**

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника;
- защита рабочего места от излучения;

Применение средств индивидуальной защиты (**СИЗ**), которые включают в себя:

- Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова ( $\text{SnO}_2$ ).

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

## **6.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

### **6.2.1 Факторы электрической природы**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.
2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к

имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Лаборатория относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте. Оборудование обязательно должно быть заземлено. На нём должны быть предусмотрены устройства автоматического отключения. В лаборатории должны быть установлены устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения. Устройства дистанционного управления. Знаки безопасности.

Основными электробезопасными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.).

Работать со штангой разрешается только специально обученному персоналу в присутствии лица, контролирующего действия работающего.

При операциях с изолирующей штангой необходимо пользоваться дополнительными изолирующими защитными средствами — диэлектрическими перчатками и изолирующими основаниями (подставками, ковриками) или диэлектрическими ботами.

Дополнительные электрозщитные средства в электроустановках: к дополнительным изолирующим электрозщитным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением до 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

### **6.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы**

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории  $A_n$ ,  $B_n$ ,  $B_{1n}$ ,  $G_n$  и  $D_n$ .

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории Г. Так как в лаборатории работают с лабораторными термопечами. Поэтому сотрудники взаимодействуют с материалами в горячем, раскаленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (использование открытого огня), оставленные без присмотра нагревательные приборы, контакт разогретых до



высоких температур материалов с воспламеняемыми предметами (дерево, бумага и т.д.)

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в производственном помещении должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- е) курение в строго отведенном месте;
- ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на

высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 6.2).

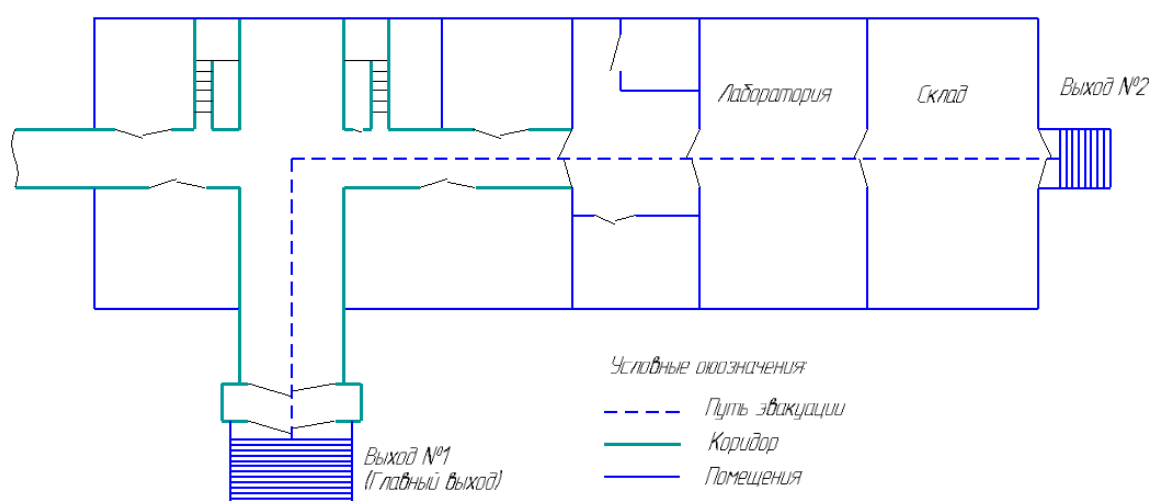


Рис 6.2. Пути эвакуации из производственного помещения.

### 6.2.3. Поражение механизированным оборудованием.

Основная опасность для рабочего персонала на протяжении всего рабочего времени является опасность поражения механизированным инструментом. Основные нормы безопасности для конструкций технологического оборудования представлены в ГОСТ 12.2.003-91 “ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности”.

Производственная площадь оборудована ЧПУ станками, которые для безопасности оператора используют специальные двери, которые ограничивают оператора от рабочей зоны станка во время рабочего и холостого ходов. Если оборудование имеет зоны повышенной опасности

механического повреждения, которые не могут быть защищены в силу конструктивной особенности оборудования, то данные места помечаются предупреждающими знаками и ограждаются от оператора.

Кроме современного оборудования на производстве имеются универсальные станки, которые не предусмотрены средствами защиты оператора. При работе на данном оборудовании необходимо следовать основным правилам:

- запрещается наблюдение и работа за оборудованием без униформы и средств защиты открытых участков тела (халаты, маски, очки, специальные перчатки и др.)
- запрещается держаться за движущиеся части станка и деталей при работе на оборудовании
- запрещается оставлять оборудование без присмотра
- запрещается работать на неисправном оборудовании

Более подробная техника безопасности в обязательном порядке идет с технической документацией оборудования. На основе соответствующих документов составляется техника безопасности для всего предприятия. К работе допускаются только тот персонал, который прошел инструктаж для работы на оборудовании. Инструктаж проводится с определенной предприятием периодичностью.

### **6.3 Охрана окружающей среды**

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в производственном помещении оборудованы емкости для сбора стружки металлической для ее последующего вывоза с территории для переработки.

На рабочем месте бумага является самым распространенным побочным продуктом в виде разных документов и чертежей. Специализированные компании помогут справиться с вывозом мусора из помещений. Хорошая программа утилизации бумаги реализует сбор макулатуры непосредственно на месте её создания (например: в виде отдельных коробок для бумаги), далее следует планирование вывоза макулатуры на регулярной основе. Кроме того, использование переработанных бумажных изделий поможет уменьшить необходимость в создании новой бумаги из чистого сырья.

Ртутные лампы при выходе из строя необходимо упаковать в герметичную тару и отправить на утилизацию в специализированную компанию.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

#### **6.4 Защита в ЧС**

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе редки.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть диверсия и наводнение.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае аварии на тепловых сетях должны быть предусмотрены запасные обогреватели (например: газовые каталитические горелки). Их

количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Также сильные морозы могут вызвать аварии на электросетях, водопроводе и отсутствие на дорогах городского транспорта. Во избежание последнего следует оставлять транспорт (автобус) в теплом гараже для развозки людей в случае перебоя в транспортном сообщении. В случае отключения воды должно присутствовать автономное водоснабжение, которого должно хватать минимум на сутки для исполнения всех нужд предприятия. Аналогично в энергосистемах должны использоваться автономные источники питания (аккумуляторы, дизельные генераторы) для функционирования жизнедеятельности во время аварий.

Так как производственное помещение оперирует с большим потоком информации, зачастую уникальной (конструкторские чертежи и т.п.) необходимо обеспечить жесткий контроль над информацией для предотвращения ее утечки, или ее подмены. Для этого в производственном помещении работают доверенные лица со стажем работы, прошедшие перед этим различные проверки (вплоть до психологических тестов и проверке на детекторе лжи), осуществляется круглосуточное видеонаблюдение, все операции с электронными носителями контролируются на бумажных носителях и дополнительно службой безопасности предприятия. Доступ посторонних лиц на предприятие без уважительной причины запрещен.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.



## **6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
- 3.ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

15. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

16. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

**Графические материалы**

- 1) Освещенность на рабочем месте
- 2) Пути эвакуации



## Список используемых источников

1. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс]. URL: [http://metallichekiy-portal.ru/marki\\_metallov/alu/AMg6](http://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/alu/AMg6) (дата обращения: 01.05.2018);
2. СпецМетал [Электронный ресурс]: ООО«Спецметалл» 2012-2013. URL: <http://nfmetall.ru/articles/31.html> (дата обращения: 01.05.2018);
3. Буркин С. П., Шимов Г. В., Андрюкова Е. А. Остаточные напряжения в металлопродукции: учебное пособие. – 2015;
4. Чернышев Г. Н., Попов А. Л., Козинцев В. М. Полезные и опасные остаточные напряжения //Природа. – 2002. – №. 10. – С. 17-24;
5. Новиков Н. Н. Теория термической обработки металлов / Н. Н. Новиков. М. : Металлургия, 1978;
6. Кудрявцев И. В. Влияние остаточных напряжений на усталостную прочность стали / И. В. Кудрявцев. М. : ВИНТИ, 1957. 17 с;
7. Younger M. S., Eckelmeyer K. H. Overcoming residual stresses and machining distortion in the production of aluminum alloy satellite boxes. – Sandia National Laboratories, 2007. – №. SAND2007-6811;
8. Биргер И. А. Остаточные напряжения. – Машгиз, 1963;
9. Мендебаев Т. М., Таскенов Е. М. Причины возникновения остаточных внутренних напряжений в процессе изготовления изделий машиностроения //вестник КазНТУ. – 2012;
10. Понилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов: Справочник. – М.: Ма-шиностроение, 1982;
11. Васильков Д. В., Кочина Т. Б. Упругое последствие в деталях при высокоскоростной обработке резанием //Металлообработка. – 2014. – №. 2 (80).
12. Гликман Л. А., Методы определения остаточных напряжений, «Тр. Ленингр. инж.-экон. ин-та», 1960, вып. 30;
13. Shajer, Gary S. 2013. Practical Residual Stress Measurement Methods. Wiley;

14. Буркин С. П. и др. Анализ способов определения и устранения остаточных напряжений в трубных заготовках //1-я Российская конференция по трубному производству «Трубы России-2004». – Издательство Уральского государственного технического университета, 2004;
15. Бондарь А. В. Качество и надежность. М: Машиностроение, 2007;
16. Белый И. В., Фертик С. М., Хименко Л. Т. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. — Харьков: Вища школа, 1977;
17. Болкунов В.В., Григорьева Н.В. применение магнитно-импульсной обработки для стабилизации геометрии прецизионных деталей машин //Секретариат организационного комитета конференции. – 2015;
18. Новиков И. И. Теория пластической обработки металлов / И.И. Новиков. М. : Металлургия, 1978;
19. Соколов И.А. Остаточные напряжения и качество металлопродукции / И. А. Соколов, В. И. Уральский. М. : Металлургия, 1981;
20. Остаточные напряжения: сборник статей / под ред. В. Р. Осгуда. М. : Иностранная литература, 1957;
21. Aluminum: properties and physical metallurgy / Edited by J.E. Hatch Ohio, American Society for Metals. Metals Park, 1984;
22. Чувильдеев В.Н. и др. Механические свойства микрокристаллического алюминиевого сплава АМг6 //Вестник Нижегородского университета им. НИ Лобачевского. – 2008. – №. 4;
23. Гаврикова Н. А., Тухватулина Л.Р., Видяев И. Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова. Томск, 2014.

## Приложение А

### THE TECHNOLOGY OF PRODUCING NON-RIGID PARTS FROM ALUMINUM ALLOYS

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Сизинцев Роман Евгеньевич		

Консультант отделения материаловедения ИШНПТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Охотин И.С.	к.т.н.		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Пичугова И.Л.			

# **THE TECHNOLOGY OF PRODUCING NON-RIGID PARTS FROM ALUMINUM ALLOYS**

Stabilization of the geometry of semi-hard parts is one of the sufficient problems of modern machine building. Due to the low stiffness of the parts, significant warpage occurs after various technological operations. The task is to reduce the warpage of aluminum non-rigid parts.

## **1.1 Research objectives**

- a) Investigation of residual stresses in hull details.
- b) Correction of body deformation by heat treatment.
- c) Development of the technology for manufacturing aluminum casings with regard to thermostabilization.

## **1.2 Heat treatment of aluminum alloys.**

Heat treatment of aluminum alloys is a responsible operation of technological process. Its purpose is to change the structure and physico-chemical properties of alloys. The mode of heat treatment is chosen depending on the alloys and the method of manufacturing blanks and parts from them.

Thermal treatment of parts made of aluminum alloys is based on the fact that as the temperature is lowered, the solubility of many elements in solid aluminum decreases. When heated for quenching, aluminum alloys are incompletely crystallized. If the alloy is overheated, as a result of which the structure is obtained with a large grain, then such an alloy is rejected. Therefore, the thermist must be attentive to the heating of aluminum alloy parts.

Thermal treatment of deformable aluminum alloys. Deformable aluminum alloys subject to such types of heat treatment as annealing, quenching, aging.

Annealing is used for blanks in order to give the material the plastic properties necessary to perform operations that are associated with cold pressure treatment. Depending on the alloy and the appointment of semi-finished products, high, low and complete annealing is used.

Annealing at high temperature (310–350 ° C) is intended for the complete softening (removal of cold work) of the material that occurs after cold plastic

deformation of the alloys A1, AD, AMG, etc. Annealing at low temperature (150–300 ° C) is also used for alloys A1, AD, AMG, but with the aim of increasing ductility while maintaining sufficient strength obtained by cold work.[1]

Full annealing (380–450 ° C) is used for semi-finished products made of heat-strengthened alloys D1, D16, AK6, etc., to obtain high plasticity and to remove the hardening resulting from quenching and aging.

To remove the effectiveness of natural aging and return the material to a freshly-quenched state, heat is applied for a few seconds or minutes at a temperature of 200–250 ° C. This type of operation is called annealing for a return.

Hardening of deformable aluminum alloys, mainly duraluminium D1, D16 and D18, consists of only one operation - heating with cooling in water at a temperature of 30–40 ° C. The quenching temperature for D1 is taken to be 495–505 ° C, for D16 – (490–500) ° C, for D18 – (495–510) ° C. The heat-up time is set depending on the dimensions of the parts.

A feature of duralumin is that it exhibits increased susceptibility to aging at room temperature. Stabilization of properties occurs in about four days. Artificial aging of duralumin adversely affects mechanical properties and corrosion resistance.

Heat treatment of foundry aluminum alloys. In contrast to deformable cast aluminum alloys are almost all subjected to heat treatment.

For castings from alloys, several types of heat treatment are used.

Types of heat treatment of foundry aluminum alloys.

The most typical modes of heat treatment of castings from aluminum alloys:

Type of heat treatment	Thermal processing symbol	Purpose
Artificial aging without preliminary hardening	T1	To improve machinability cutting of cast parts and improve mechanical strength
Annealing	T2	For removal of casting and

		thermal stresses, cold work and increase of plasticity
Hardening	T3	To use parts in a freshly-burned condition
Hardening and natural aging	T4	To improve the strength properties
Hardening and short-term aging	T5	To obtain a sufficiently high strength and an increase in ductility
Hardening and full artificial aging	T6	To obtain the maximum strength properties
Tempering and stabilizing tempering	T7	To obtain sufficient strength and stable structure
Hardening and softening holidays	T8	To obtain an increased plasticity by reducing the strength properties
Cyclic treatment (by cold and subsequent heating)	T9	To obtain details with a more stable state in geometry

Modes of heat treatment of foundry aluminum alloys:

Alloy Brand	The designation of heat treatment	Hardening			Tempering		
		Heating temperature, ° C	Holding time, hour	Cooling medium and its temperature, ° C	Heating temperature, ° C	Holding time	Cooling Medium
AЛ11	T5	515±5	2-5	Water 20-100	175±10	3-5	Gas
AЛ11	T7	515±5	2-5	Water 20-100 or air	220±10	2-4	
AЛ4	T1	—	—	—	175±5	5-7	
AЛ4	T6	535±5	2-6	Water 20-100	175±5	10-15	
AЛ9	T4	535±5	2-6	Water 20-100	—	—	—
AЛ12	T2	—	—	—	290±10	3	Gas
B300	T2	—	—	—	300±5	3-10	
B300	T7	Step heating 500 ± 5 525 ± 5	2-5	Water 20-100 or oil	300±5	3-10	

The temperature of the quenching water is increased to prevent hardening cracks in the castings, and the more complex the shape of the castings, the higher the water temperature is taken.

Heat treatment of magnesium alloys. Deformable and cast magnesium alloys are mainly subjected to three types of heat treatment: annealing (T2), quenching (T4) and quenching followed by artificial aging (T6). Deformable magnesium alloys are usually annealed for recrystallization and increased plasticity, and castings from them – to relieve stresses. The modes of heat treatment of magnesium alloys are given in Table. 33. The aging and quenching time is given higher than for aluminum alloys, since phase transformations occur very slowly.

Magnesium alloys are prone to oxidation, so they are heated for quenching in vacuum furnaces or in furnaces with a protective atmosphere consisting of a mixture of air with 0.7–1.0% sulfur dioxide gas.

The mode of heat treatment of some magnesium alloys:

Alloy Brand	The designation of heat treatment	Hardening			Tempering	
		Temperature, ° C	Exposure, hour.	cooling	Temperature, ° C	Endurance hour.
MA5	T2	—	—	—	350-380	3-6
MJI5	T2	—	—	—	170-250	3-5
MA5	T4	410-420	4-12	Hot water	—	—
MJI5	T6	410-420	12-16		Air	—
MA5	T6	410-420	4	Hot water	170-180	16-24
MJI5	T6	410-420	12-16		Air	170-180
MJI4	T6	375-385	10-16	Air	160-190	16

### 1.3 Defects and defective products during thermal processing of aluminum and magnesium alloys.

When heat treatment of workpieces and parts from aluminum and magnesium alloys, defects (unsatisfactory mechanical properties, uneven hardening, warping) and defective products (with the cracks and bubbles) are possible.

Unsatisfactory mechanical properties appear as a result of overstating the strength of blanks in the annealed state and undermining their strength and plasticity in the quenched state. The cause of such a defect can be a low temperature, a slight exposure and an increased cooling rate.

Uneven hardening of parts of complex shape promotes the formation of different areas in them with different mechanical properties. This defect is corrected by repeated quenching in special devices.

Fragmentation occurs when in the process of hardening and aging in detail there are significant intra-crystalline changes, which contributes to the change in the dimensions of the parts. The crushing is often observed in the machining of parts, which is caused by the redistribution of residual stresses. To eliminate such a defect, it is necessary to choose the correct heating temperature and to properly cool.

Cracks in quenching are formed with complex configuration of parts, their differences and overestimated heating and cooling rates. Details with cracks are considered the final marriage. In order to avoid cracks, it is necessary not only to properly heat the parts, but also to isolate the parts of the parts with thin walls with asbestos, in order to ensure a uniform heating of the entire part.

Bubbles are formed when the sheet metal is heated as a result of leakage between the clad layer and the core of the sheet, where air and water vapor enter. In addition, bubbles can occur due to residues of dirt, grease, etc. To prevent the occurrence of bubbles, it is necessary to thoroughly clean the surface of clad sheets and improve their quality.

#### **1.4 Technology of thermal processing of sheets of thermally hardened aluminum alloys**

Sheets of thermally hardened aluminum alloys are subjected to complete or reduced annealing. Alloys of grades D1, D16, D19, VAD1 can also be heated to remove the technological work hardening. A complete annealing is called annealing, in which a sufficiently complete course of the decomposition of the solid solution and coagulation of the evolved phases is ensured; In the cold-worked



metal, recrystallization also takes place here. Usually it is carried out at temperatures of 350–430 ° C. With complete annealing, the material, regardless of the initial state, softens completely, since the annealing temperature is higher than the recrystallization start temperature. When annealing the clad semi-finished products, the alloying elements proceed, most often copper and magnesium, into the cladding layer. The corrosion resistance of the sheets is significantly reduced, especially if copper diffuses throughout the entire depth of the cladding layer. At the same time, the corrosion resistance of the sheets is significantly reduced, especially if copper diffuses into the entire depth of the cladding layer. When cooling from the temperature of complete annealing in air or in water, material is pumped up. Therefore, the cooling rates after complete annealing are regulated, first slowly cooling with the furnace (at a rate of no more than 30 ° C / h) to sufficiently low temperatures (150–260 ° C depending on the alloy), and then cooling in air. Reduced annealing is carried out at temperatures of 290–320 ° C for alloy B92c and 350–370 ° C for the remaining alloys. Annealing is carried out after preliminary machining of the semi-finished products in order to reduce leashes and warpage after final machining. Annealing is carried out after preliminary machining of the semi-finished products in order to reduce leashes and warpage after final machining. In order to remove the technological hardening for alloys D1, D16, D19, VAD1, AK4-1, heating at temperatures of 250–280 ° C is recommended for 1–4 hours, followed by cooling in air or water. The plasticity after such heating is somewhat lower than after the reduced annealing. To remove the technological hardening in semi-finished products from alloys D1, D16, D19, VAD1, short-term heating (1–2 min) can also be used in a nitrate bath with a temperature of 350–380 ° C, followed by cooling in water.

The sheets of thermally hardened alloys are also quenched and aged. In the process of quenching of unannealed sheets, as well as in parts made of them with the use of plastic deformation, recrystallization processes also occur along with the dissolution processes during heating. To obtain fine grains, it is necessary to conduct heating at the highest possible rate and to avoid critical deformation rates

in the treatment before quenching. Particular attention is paid to the choice of holding time for hardening of clad sheets and parts. Due to the diffusion of copper into the cladding layer, it is possible to reduce the corrosion and deterioration of the appearance of the sheets. The aluminum alloy sheets for quenching are usually heated either in air-circulating air furnaces or in nylon baths. Because of the danger of overheating, the air temperature in the air furnaces and the saltpeter in the nitrate baths are maintained equal to the heating temperature for quenching. The regimes of quenching and aging of semi-finished products from aluminum alloys are given in Table. 3.4.

The temperature of the cistern is controlled from the side of the incoming and outgoing air. In addition, monitor the temperature of the air. The holding time is fixed by the thermocouple readings from the outlet of the air flow from the working space of the furnace, i.e., at the minimum temperature of the charge. The temperature of the sheets and parts heated in the nitrate baths is assumed to be equal to the temperature of the saltpetre. The duration of aging during heating for quenching of aluminum alloys is given in Table. 3.5.

Since aluminum alloys at a temperature of about 500 ° C have low strength and are easily deformed, it is necessary to take measures to prevent its deformation under the action of its own weight when assembling the cage. After soaking at the heating temperature for quenching, the product is transferred to the quenching medium. The time of transfer of sheets from the furnace to the quenching medium significantly influences the mechanical and especially corrosive properties of the sheets after aging. The quench cooling rate ensures fixation of the supersaturated solid solution, but it should not be very high in order to avoid strong warpage and a high level of residual thermal stresses. Depending on the magnitude of the critical cooling rate, all aluminum alloys can be divided into the following three groups; 1) with low critical cooling rates — self-hardening alloys cooled by quenching in air; These include the alloys of the systems Al-Zn-Mg, Al-Mg-Si, Al-Mg-Li; 2) with high critical cooling rates; These are the alloys of the systems Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si-Cu, Al-Zn-Mg-Cu; 3) insensitive to changes in cooling rates; It is the heat-

resistant alloys of the Al-Cu-Mn system with addition and without the addition of titanium and the AK.4-1 alloy of the Al-Cu-Mg-Fe-Ni system. As a medium, during quenching of sheets of aluminum alloys, flowing water is usually used. For sufficiently sharp cooling of sheets, its temperature is maintained within 10–40° C. When the sheeting of the sheets is heated in a nylon bath, it is kept for 2–3 seconds above the wash trough to drain the saltpeter, and then quickly transferred to the quench tank. After complete cooling in the quench tank, the sheet is washed in a wash tank with running water at a temperature of 40–60° C for complete removal of the saltpeter from the surface. The residence time in the scrubbing tank of sheets of naturally aging alloys should not exceed 1–2 minutes in order to prevent the plasticity drop associated with aging at these temperatures. After quenching, aluminum alloys hardened by thermal treatment are aged. In the process of aging, the dimensions of semifinished products and articles vary due to volumetric changes in the isolation of strengthening phases. Therefore, it is necessary to provide for the possibility of free movement of the articles of the cage, and the mechanical treatment should be carried out after aging. A break between quenching and artificial aging leads to a decrease in the time resistance of the breakdown of semi-finished products in the artificially aged state by 15–20 MPa for a number of aluminum alloys, and an even greater decrease is observed for some alloys. Therefore, the size of such a break is regulated. The permissible break between hardening and artificial aging, which provides high mechanical properties, is different for different alloys. It is not limited for alloys AK8, AK4, D16, D19, VAD23 and B92ts. For the alloys AD31, ADZZ, AD35 and AB, the break should not exceed 1 hour. For alloys AK6, AK4-1, D1, the permissible break is 6–24 hours.[4]

Aluminum alloys in a freshly-quenched state have a high plasticity, comparable with their ductility in the annealed state. Therefore, it is possible to carry out various technological operations associated with plastic deformation of the material. The time period after quenching, in which the alloy retains ductility, depends on the nature of the alloy. If the holding time is long, the plasticity

deteriorates due to aging. For the alloys AD31, ADZZ, AD35, AB, D20 and VAD23, the plasticity after quenching is practically independent of the time of curing after quenching. The rate of natural aging strongly depends on the temperature, even in the range from -10 to + 25 ° C. Reducing the temperature by 5° C reduces the aging rate by about half. Therefore, to maintain high plasticity, it is expedient to keep the alloys before deformation at temperatures below room temperature, for example, in refrigerators.

### **1.5 Manufacture of metal hull**

In the manufacture of metal casings, the following technologies are used[5]:

- punching, cutting, cutting, shaping, sheet metal bending and marking;
- Turning and milling;
- Suture and spot welding;
- Powder painting, nitro-enamels;
- printing of inscriptions, drawings, etc. with tampon printing and silkscreen printing.

Manufacture of metal hull is carried out on modern high-precision equipment:

- Electromechanical bending press with CNC Finn-Power E65-2550 HS (manufactured in Finland)
- Electromechanical coordinate-revolving CNC punching press Finn-Power E5 EVO (produced in Finland)

### **1.5. Editing of non-rigid parts during heat treatment**

The causes and mechanism of formation of technological residual strains and stresses in the process of heat treatment of non-rigid details are determined. The features of the formation of the residual stress-strain state of a part are considered. A mathematical model of the straightening method with a preliminary reverse bending of the billet under heat treatment is given. Experimental data confirming the effectiveness of the method considered are presented.

The production of non-rigid parts in most cases is accompanied by the formation of technological residual deformations, which reduce the geometric accuracy of the products. This circumstance negatively affects the operability and durability of high-precision parts, operating under conditions of high speeds and alternating loads.

In the existing technological processes, in order to reduce residual deformations, as a rule, several corrective operations are provided for by elastoplastic bending and thermal stabilization of residual stresses. However, these methods have a great deal of labor and low efficiency in ensuring a given accuracy. In this regard, the development of new methods to reduce technological residual deformations based on knowledge of the causes and the mechanism of formation of technological residual deformations is relevant. It should be noted that the process of their formation in principle cannot be considered separately from the process of formation of residual stresses in the part.

The formation of residual deformations and stresses during heat treatment depends on many factors: the dimensions of the cross-section of the workpiece, the yield strength of the material, the coefficient of thermal conductivity, the basis of the workpiece, the rate of heating and cooling. The interconnections of all factors represent a complex dynamic system, which at a certain moment of time should be considered in a state of quasistatic equilibrium. Despite the variety of factors, the formation of technological residual deformations and stresses is due to two main reasons:

1. An asymmetric distribution of the technological initial stresses relative to the axis of a part, which refers to unbalanced stresses in a part after machining, but before its deformation;

2. The change in the processing of the workpiece elasto-stress state that occurs before the treatment (for example, as a result of sagging of the part from its own weight) or during processing under the influence of technological equipment.

Two reasons also lie at the basis of the formation of initial stresses that are asymmetrical relative to the axis of the part. They depend, first of all, on the mode

and type of heat treatment, which determine the stress gradient along the cross section of the workpiece. In the case when the total stresses (hereditary residuals and resulting from thermal effects) exceed the current value of the yield strength of the material, the cause of the appearance of asymmetrical initial stresses is uneven plastic deformation. If the total stresses are less than the current value of the yield stress, asymmetrical initial stresses appear as a result of uneven stress relaxation, which is understood as the reduction of residual stresses with different intensities, which changes the nature of their distribution along the cross section.

Any kind of heat treatment of non-rigid parts that are in a free state can be represented as a set of transitions from an unbalanced stress-strain state to an equilibrium state. These transitions are accompanied by the formation of residual deformations. Therefore, the deformation of the workpiece under the influence of initial stresses should be considered as a continuous process consisting of a set of alternating loading and unloading stages. However, when heat treatment in a fixed position, the deformation of the workpiece occurs only after the part has been freed from all external bonds and loads. This is preceded by the loading phase of the part, which includes the thermal action and the associated volumetric material changes from the structural-phase transformations during heating, soaking and cooling.

The mechanism of formation of technological residual deformations and stresses, which is based on the formation of asymmetric initial stresses during the heat treatment of a blank of a non-rigid shaft that is in a free state, can be represented as follows.

Rapid heating of the workpiece leads to a decrease in the initial value of the yield stress  $\sigma_T$  (which is the result of hardening by the previous treatment of the material in the delivered state), while simultaneously creating a significant thermal stress gradient  $\sigma_H$  across the cross section (Fig. 1, a). When heated, stretching of longitudinal fibers occurs and the formation of thermal initial stresses  $\sigma_H$ , compression in them (the sign of the initial stresses is opposite to the direction of deformation, as a result of which they arose). The stresses  $\sigma_H$ , forming

algebraically (taking into account the sign) with hereditary residual stress  $\sigma_0$ , exceed the current value of the yield stress  $\sigma_T(t)$  (Fig. 1, b). As a result, plastic flow of material occurs.

The intensity of plastic deformation depends on the level and identity of the signs of the active part of the diagram of hereditary residual and thermal stresses, and also on the yield strength of the material of the surface layer. Obviously, the higher the initial value of the yield point, the lower the probability of plastic deformation. The plastic deformation caused by the total stresses  $\sigma_\Sigma$  (Fig.1, b) proceeds with different intensity both in the depth of the surface layer and along the contour of the cross section. This is due to the effect of a number of factors: the asymmetry of the temperature fields (see Fig. 1a), the structural heterogeneity of the material, the asymmetric distribution of the hereditary residual stresses relative to the axis of the blank.

Uneven plastic deformation disrupts the equilibrium of the stress-strain state of the billet. After this, the unloading starts, which tends to bring the part into a new equilibrium state. Redistribution of initial stresses  $\sigma_\Sigma$  in the process of unloading is accompanied in the general case by longitudinal  $\Delta l$  and flexural  $f$  deformations (Fig. 1, c) and twisting of the workpiece. In this case, part of the initial stresses  $\sigma_m$  and  $\sigma_p$  (see Fig. 1, b) are relaxed as a result of the action of the bending moment and the longitudinal force.

Further formation of asymmetric initial stresses during heating  $\sigma_{tH}$  leads to additional deformations. Obviously, with the greatest intensity, the process of deformation of the preform occurs in the initial heating period and slows down to its completion, since the gradient of thermal stresses decreases. The decrease in the temperature difference between the surface and the core of the part during exposure is accompanied by an equalization of the elongation of the fibers along the cross section, which leads to the formation of initial stresses  $\sigma_{tB}$ , the distribution pattern of which is closest to the uniform one (Fig.1). This is also facilitated by the relaxation of hereditary residual stresses. As a result, the deformation of the bend practically ceases.

If after cooling the cooling is carried out at a low speed, then the removal of the elastic elongation of the fibers will not disturb the equilibrium of the initial stresses  $\sigma_{tB}$  and will not lead to the bending of the workpiece, but will be accompanied only by longitudinal deformation. The proposed scheme confirms the well-known fact that a decrease in the cooling rate almost always leads to a decrease in the residual deformation of the bend and the level of residual stresses. The deformation of the bending will occur with an uneven cooling of the workpiece, i.e. when there is an asymmetric thermal stress  $\sigma_{tox}$  with respect to the axis of the diagram (Fig. 1, d). Moreover, accelerated cooling leads to a sharp contraction of the outer fibers and the creation of large initial tensile stresses  $\sigma_{tox}$ . In this case, the total stress  $\sigma_{\Sigma}$  ( $\sigma_{tox} + \sigma_{tB}$ ) can exceed the current value of the yield strength (Fig. 1, e), which will lead to the formation of a high level of residual tensile stresses in the surface layer.[1]

With further cooling, the deformation intensity of the workpiece decreases due to a decrease in the thermal stress gradient. As a result, the part takes an equilibrium stress-strain state, which is characterized by the resultant flexural Bore longitudinal  $\Delta_{or}$  residual deformations, as well as the resulting residual stress diagram  $\sigma_{or}$  (Fig. 1, g). It is known that the thermal treatment of parts in the free state almost always increases the initial residual deformations.

### **Conclusion**

In this paper, we conducted a research to study the features of manufacturing parts from aluminum alloys. When they are being made, there is a serious problem. This is warping. The cause of warpage is the residual stresses in the metal.

On the basis of the studies carried out in the work, the following conclusions can be drawn. To avoid warpage of parts made of aluminum alloy AMg6, it is necessary to pre-heat them (heat treatment at a temperature of 300–330° C). This is necessary to reduce residual stresses in the workpiece. The optimal modes of thermal stabilization of the shape of parts made of aluminum alloy AMg6 has been determined. The bent detail must be heat-treated at a temperature of 350° C. This must be taken into account when designing the process.



## References

1. Hosford, William F. 2005. "Residual Stresses." In *Mechanical Behavior of Materials*, 308–321. Cambridge University Press;
2. Schajer, Gary S. 2013. *Practical Residual Stress Measurement Methods*. Wiley;
3. Cary, Howard B. and Scott C. Helzer (2005). *Modern Welding Technology*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education;
4. J. E. Hatch, *Aluminum: Properties and Physical Metallurgy*, American Society for Metals, 1984;
5. W. C. Young, *Roark's Formulas for Stress & Strain*, 6th Edition, McGraw-Hill, 1989.