

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

---

Институт кибернетики  
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»  
Кафедра «Технология машиностроения и промышленной робототехники»

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)  
(Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

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

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ51	Чэнь Синьхань

Тема работы:

Исследование технологических возможностей термической правки корпусных деталей из алюминиевого сплава АМГ6

Утверждена приказом директора Института кибернетики (дата, номер)

15.05.2017 г. № 3144/с

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)

10.06.2017 г

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

- Литература по технологии термообработки алюминиевых сплав.
- Проспект методики измерения остаточных напряжений.

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Исследование остаточных напряжений в корпусных деталях.</li> <li>2. Исправление деформаций корпуса термообработкой.</li> <li>3. Разработка технологии изготовления алюминиевого корпусов с учётом термостабилизации.</li> <li>4. Измерения прогиба вырезанных заготовок.</li> <li>5. Расчет остаточных напряжений заготовок.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	Слайды в количестве 20 штук (схемы, графики, чертежи, фото)

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Исследовательский	Охотин И.С.
Ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицын В.В.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.
Английский язык	Шепетовский Д.В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Исследовательский раздел	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**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
8ЛМ51	Чэнь Синьхань		

## РЕФЕРАТ,

Выпускная квалификационная работа 138с., 34 рис., 10 табл., 42 источников.

Ключевые слова: остаточные напряжения, термическая обработка, измерение прогиба, деформация алюминиевого сплава.

Цель работы – снятие остаточных напряжений в полосках алюминиевого сплава после термообработки.

Задачи:

1. Исследование остаточных напряжений в корпусных деталях.
2. Исправление деформаций корпуса термообработкой.
3. Разработка технологии изготовления алюминиевого корпусов с учётом термостабилизации.

В результате исследования при методе полоски сняли остаточных напряжений.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: заготовка из алюминиевого сплава Д16Т, которая производит операцию термообработки. Измерить прогиба заготовки.

Степень внедрения: используются в учебном процессе на каф. ТМСИР ИК.

Область применения: единичное и мелкосерийное производство.

Экономическая эффективность/значимость работы: снижение себестоимость детали за счет снятия остаточных напряжений.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Корпусные детали из алюминиевых сплавов происходят деформацию после термообработки из-за присутствия остаточных напряжений. Остаточные напряжения всегда являются внутренними, поскольку они самоуравновешиваются внутри твердого тела или жесткого агрегата (напряженный железобетон, замкнутая сварная конструкция).

Деформируемые алюминиевые сплавы подвергают видам термической обработки, как отжиг, закалка, старение. А этими деталями возможны дефекты (неудовлетворительные механические свойства, неравномерная закалка, коробление) и брак (трещины и пузыри). Поэтому необходимо снять остаточных напряжений детали.

Исследование заключается в том, что снять остаточных напряжений при методе полоски.

Цель исследования – снятие остаточных напряжений в полосках алюминиевого сплавы после термообработки.

Поставленная в работе цель обусловила необходимость решения следующих задач:

1. Исследование остаточных напряжений в корпусных деталях.
2. Исправление деформаций корпуса термообработкой.
3. Разработка технологии изготовления алюминиевого корпусов с учётом термостабилизации.

## Оглавление

1. Литературный обзор.....	6
1.1 Задачи исследования.....	6
1.2 Деформация металла.....	6
1.3 Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла: возврат и рекристаллизация.....	8
1.4 Термическая обработка алюминиевых сплавов.....	11
1.5 Технология термической обработки листов термически упрочняемых алюминиевых сплавов.....	19
1.6 Производство металлических корпусов.....	23
1.7 Правка нежестких деталей при термической обработке.....	24
1.8 Причины возникновения остаточных внутренних напряжений.....	30
1.8.1 Образование остаточных напряжений после пластической деформации.....	31
1.8.2 Образование остаточных напряжений после нагрева и охлаждения.....	33
1.8.3 Образование остаточных напряжений после фазовых превращений.....	34
1.8.4 Образование остаточных напряжений при химической обработке поверхности.....	35
1.8.5 Образование остаточных напряжений при электролитическом осаждении металлов.....	35
1.9 Методы измерения остаточных напряжений.....	38
1.10 Измерение остаточных напряжений методом полосок.....	48
2. Методика экспериментальных исследований.....	56
2.1 Этапы эксперимента.....	56
2.2 Измерение прогиба.....	61
2.3 Вывод.....	74
3. Экономический раздел.....	77
4. Социальная ответственность.....	87
5. Раздел на иностранном языке.....	101

# **1. Литературный обзор**

## **1.1 Задачи исследования**

1. Исследование остаточных напряжений в корпусных деталях.
2. Исправление деформаций корпуса термообработкой.
3. Разработка технологии изготовления алюминиевого корпусов с учётом термостабилизации.

## **1.2 Деформация металла**

Деформация (англ. deformation) - это изменение формы и размеров тела (или части тела) под действием внешних сил, при изменении температуры, влажности, фазовых превращениях и других воздействиях, вызывающих изменение положения частиц тела. При увеличении напряжения деформация может закончиться разрушением. Способность материалов сопротивляться деформации и разрушению под воздействием различного вида нагрузок характеризуется механическими свойствами этих материалов.

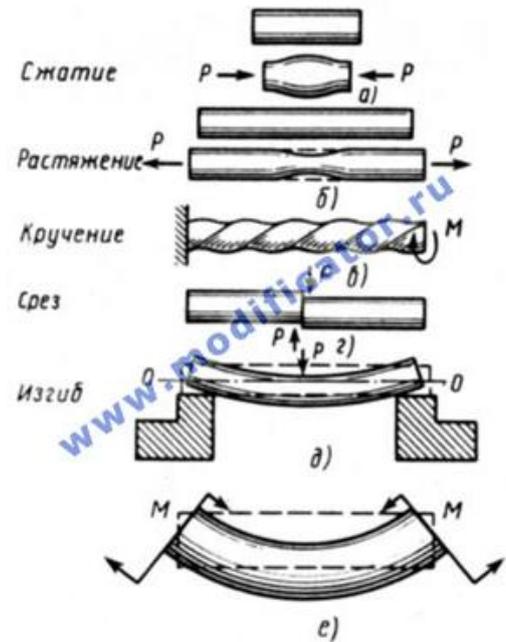
На появление того или иного вида деформации большое влияние оказывает характер приложенных к телу напряжений. Одни процессы деформации связаны с преобладающим действием касательной составляющей напряжения, другие - с действием его нормальной составляющей.

Деформация сжатия, деформация растяжения, кручение, срез, изгиб

Виды деформации

По характеру приложенной к телу нагрузки виды деформации подразделяют следующим образом:

- Деформация растяжения;
- Деформация сжатия;
- Деформация сдвига (или среза);
- Деформация при кручении;
- Деформация при изгибе.



К простейшим видам деформации относятся: деформация растяжения, деформация сжатия, деформация сдвига. Выделяют также следующие виды деформации: деформация всестороннего сжатия, кручения, изгиба, которые представляют собой различные комбинации простейших видов деформации (сдвиг, сжатие, растяжение), так как сила приложенная к телу, подвергаемому деформации, обычно не перпендикулярна его поверхности, а направлена под углом, что вызывает как нормальные, так и касательные напряжения. Изучением видов деформации занимаются такие науки, как физика твёрдого тела, материаловедение, кристаллография.

В твёрдых телах, в частности - металлах, выделяют два основных вида деформаций - упругую и пластическую деформацию, физическая сущность которых различна.

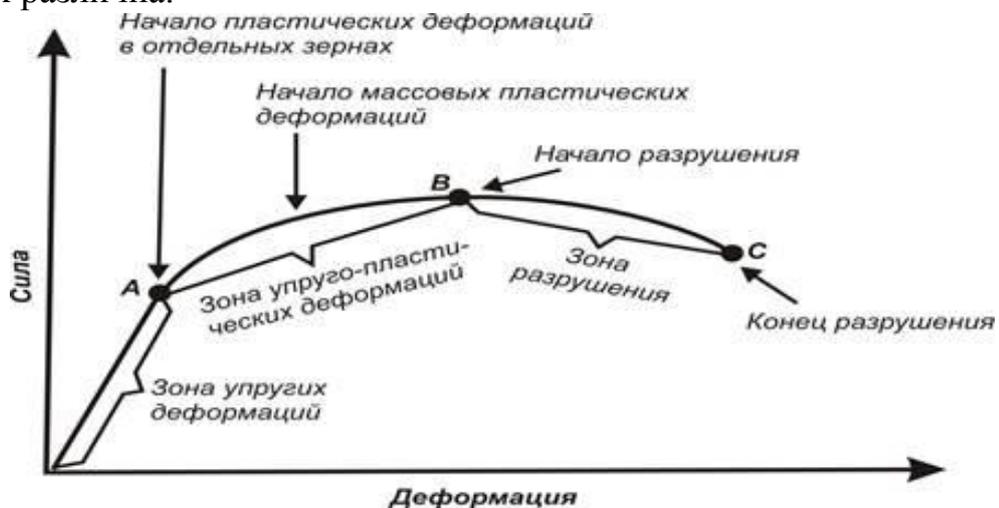


Схема процесса деформации металла.

## 1.4 Термическая обработка алюминиевых сплавов.

Термическая обработка алюминиевых сплавов является ответственной операцией технологического процесса. Цель ее - изменить структуру и физико-химические свойства сплавов. Режим термической обработки выбирают в зависимости от сплавов и метода изготовления из них заготовок и деталей.

Термическая обработка деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов, основана на том, что с понижением температуры растворимость многих элементов в твердом алюминии уменьшается. При нагреве под закалку алюминиевые сплавы неполностью кристаллизуются. Если сплав перегрет, в результате чего структура получилась с крупным зерном, то такой сплав бракуется. Поэтому термист должен быть внимателен к нагреву деталей из алюминиевых сплавов.

Термическая обработка деформируемых алюминиевых сплавов. Деформируемые алюминиевые сплавы подвергают таким видам термической обработки, как отжиг, закалка, старение.

Отжиг применяют для заготовок с целью придания материалу пластических свойств, необходимых для выполнения операций, которые связаны с обработкой давлением в холодном состоянии. В зависимости от сплава и назначения полуфабрикатов применяют высокий, низкий и полный отжиг.

Высокий отжиг (310-350°C) предназначается для полного разупрочнения (снятия наклепа) материала, происходящего после холодной пластической деформации сплавов А1, АД, АМГ и др.

Низкий отжиг (150-300°C) также применяют для сплавов А1, АД, АМГ, но с целью повышения пластичности при сохранении достаточной прочности, полученной нагартовкой.

Полный отжиг (380-450°C) применяют для полуфабрикатов, изготовленных из термически упрочняемых сплавов Д1, Д16, АК6 и т. д., чтобы получить высокую пластичность и снять упрочнение, полученное в результате закалки и старения.

Для снятия эффективности естественного старения и возвращения материала к свежезакаленному состоянию применяют нагрев в течение нескольких секунд или минут при температуре 200-250°C. Такой вид операции называют отжигом на возврат.

Закалка деформируемых алюминиевых сплавов, в основном дюралюминия Д1, Д16 и Д18, состоит только из одной операции - нагрева с охлаждением в воде при температуре 30- 40°C. Температура закалки для Д1 берется равной 495-505°C, для Д16 - 490-500°C, для Д18 - 495-510°C. Выдержка при нагреве устанавливается в зависимости от размеров деталей,

Особенность дюралюминия заключается в том, что он проявляет повышенную восприимчивость к старению при комнатной температуре. Стабилизация свойств происходит примерно через четверо суток. Искусственное старение дюралюминия неблагоприятно сказывается на механических свойствах и коррозионной стойкости.

Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов. В отличие от деформируемых литейные алюминиевые сплавы почти все подвергаются термической обработке.

Для отливок из сплавов применяют несколько видов термической обработки.

## Виды термической обработки литейных алюминиевых сплавов

Вид термической обработки	Условное обозначение термической обработки	Назначение
Искусственное старение без предварительной закалки	T1	Для улучшения обрабатываемости резанием литых деталей и повышения механической прочности
Отжиг	T2	Для снятия литейных и термических напряжений, наклепа и повышения пластичности
Закалка	T3	Для применения деталей в свежезакаленном состоянии
Закалка и естественное старение	T4	Для повышения прочностных свойств
Закалка и кратковременное старение	T5	Для получения достаточно высокой прочности и повышение пластичности
Закалка и полное искусственное старение	T6	Для получения максимальных прочностных свойств
Закалка и стабилизирующий отпуск	T7	Для получения достаточной прочности и стабильной структуры
Закалка и смягчающий отпуск	T8	Для получения повышенной пластичности за счет снижения прочностных свойств
Циклическая обработка (холодом и последующим нагревом)	T9	Для получения деталей с более устойчивым состоянием по геометрии

Наиболее типичные режимы термической обработки отливок из алюминиевых сплавов:

Режимы термической обработки литейных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Обозначение термической обработки	Закалка			Отпуск		
		Температура нагрева, °С	Время выдержки, час	Среда охлаждения и ее температура, °С	Температура нагрева, °С	Время выдержки	Среда охлаждения
АЛ1	T5	515 ±5	2-5	Вода 20-100	175 ±10	3-5	Воздух
АЛ1	T7	515 ±5	2-5	Вода 20-100 или воздух	220 ±10	2-4	
АЛ4	T1	-	-	-	175 ±5	5-7	
АЛ4	T6	535 ±5	2-6	Вода 20-100	175 ±5	10-15	
АЛ9	T4	535 ±5	2-6	Вода 20-100	-	-	-
АЛ12	T2	-	-	-	290 ±10	3	Воздух
В300	T2	-	-	-	300 ±5	3-10	
В300	T7	Ступенчатый нагрев 500 ±5 525 ±5	2-5	Вода 20-100 или масло	300 ±5	3-10	

Температуру закаливающей воды повышают для предотвращения закалочных трещин в отливках, причем, чем сложнее форма отливок, тем более высокой берется температура воды.

Термическая обработка магниевых сплавов. Деформируемые и литейные магниевые сплавы в основном подвергают трем видам термической

обработки: отжигу (Т2), закалке (Т4) и закалке с последующим искусственным старением (Т6). Деформируемые магниевые сплавы обычно отжигаются для рекристаллизации и повышения пластичности, а отливки из них - для снятия напряжений. Режимы термической обработки магниевых сплавов приведены в табл. 33. Выдержка при закалке и старении дается выше, чем для алюминиевых сплавов, так как фазовые превращения происходят очень медленно.

Магниевые сплавы склонны к окислению, поэтому их нагревают под закалку в вакуумных печах или в печах с защитной атмосферой, состоящей из смеси воздуха с 0,7-1,0% сернистого газа.

#### Режим термической обработки некоторых магниевых сплавов

Марк а сплав а	Обозначен ие термическ ой обработки	Закалка			Отпуск	
		температура, °С	выдержк а, час.	охлажден ие	температура, °С	выдерж ка час.
МА5	Т2	—	—	—	350-380	3-6
МЛ5	Т2	-	-	-	170-250	3-5
МА5	Т4	410-420	4-12	Горячая вода	-	-
МЛ5	Т6	410-420	12-16	Воздух	-	-
МА5	Т6	410-420	4	Горячая вода	170-180	16-24
МЛ5	Т6	410-420	12-16	Горячая вода	170-180	16
МЛ4	Т6	375-385	10-16	воздух	160-190	16

Дефекты и брак при термической обработке алюминиевых и магниевых сплавов. При термической обработке заготовок и деталей из алюминиевых и магниевых сплавов возможны дефекты (неудовлетворительные механические свойства, неравномерная закалка, коробление) и брак (трещины и пузыри).

Неудовлетворительные механические свойства появляются в результате завышения прочности заготовок в отожженном состоянии и занижения их прочности и пластичности в закаленном состоянии. Причинами возникновения такого дефекта могут быть заниженная температура, небольшая выдержка и повышенная скорость охлаждения.

Неравномерная закалка деталей сложной формы способствует образованию в них разных участков с различными механическими свойствами. Этот дефект исправляют повторной закалкой в специальных приспособлениях.

Коробление возникает в тех случаях, когда в процессе закалки и старения в деталях происходят значительные внутри-кристаллические изменения, что способствует изменению размеров деталей. Коробление часто наблюдается и при механической обработке деталей, что вызывается перераспределением остаточных напряжений. Для устранения такого дефекта необходимо правильно выбирать температуру нагрева и правильно вести охлаждение.

Трещины при закалке образуются при сложной конфигурации деталей, их разностенности и завышенных скоростях нагрева и охлаждения. Детали с трещинами считаются окончательным браком. Для того чтобы не появились трещины, необходимо не только правильно нагревать детали, но и изолировать места деталей с тонкими стенками асбестом, чтобы обеспечить равномерный прогрев всей детали.

Пузыри образуются при нагреве листового металла в результате появления неплотности между плакированным слоем и сердцевиной листа, куда проникают воздух и пары воды. Кроме того, пузыри могут возникать из-за остатков грязи, смазки и т. п. Для предотвращения возникновения пузырей необходимо тщательно очищать поверхность плакированных листов и улучшать их качество.

## **1.6 Производство металлических корпусов**

При производстве корпусов из металла применяются технологии:

- пробивка, резка, вырубка, формовка, гибка листового металла и маркировка;
- токарные и фрезерные работы;
- шовная и точечная электросварка;

- окраска порошковая, нитроэмалями;
- нанесение надписей, рисунков и тп тампопечатью и шелкографией.

Производство металлических корпусов осуществляется на современном высокоточном оборудовании:

- Электромеханический листогибочный пресс с ЧПУ Finn-Power E65-2550 HS (пр-во Финляндия)
- Электромеханический координатно-револьверный вырубной пресс с ЧПУ Finn-Power E5 EVO (пр-во Финляндия)

### **1.7 Правка нежестких деталей при термической обработке**

Определены причины и механизм образования технологических остаточных деформаций и напряжений в процессе термической обработки нежестких деталей. Рассмотрены особенности формирования остаточного напряженно-деформированного состояния детали. Приведена математическая модель метода правки с предварительным обратным перегибом заготовки при термической обработке. Представлены экспериментальные данные, подтверждающие эффективность рассмотренного метода.

Изготовление нежестких деталей в большинстве случаев сопровождается образованием технологических остаточных деформаций, которые снижают геометрическую точность изделий. Это обстоятельство отрицательно сказывается на работоспособности и долговечности высокоточных деталей, работающих в условиях больших скоростей и знакопеременных нагрузок.

В существующих технологических процессах для снижения остаточных деформаций, как правило, предусматривается несколько операций правки упругопластическим изгибом и термической стабилизации остаточных напряжений. Однако эти методы обладают большой трудоемкостью и низкой эффективностью в обеспечении заданной точности. В этой связи актуальна разработка новых методов снижения технологических остаточных деформаций, основанных на знании причин и механизма образования технологических остаточных деформаций. Необходимо отметить, что процесс их образования в принципе нельзя рассматривать отдельно от процесса формирования остаточных напряжений в детали.

Образование остаточных деформаций и напряжений при термической обработке зависит от многих факторов: размеров поперечного сечения заготовки, предела текучести материала, коэффициента теплопроводности, схемы базирования заготовки, скорости нагрева и охлаждения и др. Взаимосвязи всех факторов представляют сложную динамическую систему, которую в определенный момент времени следует рассматривать в состоянии квазистатического равновесия. Несмотря на многообразие факторов, образование технологических остаточных деформаций и напряжений обусловлено двумя основными причинами:

1. Несимметричным распределением относительно оси детали технологических начальных напряжений, под которыми понимаются неуравновешенные напряжения в детали после обработки, но до ее деформации [1];

2. Изменением в процессе обработки заготовки упруго-напряженного состояния, которое возникает перед обработкой (например, в результате провисания детали от собственного веса) или во время обработки под воздействием технологической оснастки.

В основе формирования несимметричных относительно оси детали начальных напряжений также лежат две причины. Они зависят, прежде всего, от режима и вида термической обработки, определяющих градиент напряжений по поперечному сечению заготовки. В случае, когда суммарные напряжения (наследственные остаточные и возникающие в результате термического воздействия) превышают текущее значение предела текучести материала, причиной возникновения несимметричных начальных напряжений является неравномерная пластическая деформация. Если суммарные напряжения меньше текущего значения предела текучести, то несимметричные начальные напряжения появляются вследствие неравномерной релаксации напряжений, под которой понимается снижение остаточных напряжений с различной интенсивностью, изменяющее характер их распределения по поперечному сечению.

Любой вид термической обработки нежестких деталей, находящихся в свободном состоянии, можно представить совокупностью переходов из неуравновешенного напряженно-деформированного состояния в равновесное.

Эти переходы сопровождаются образованием остаточных деформаций. Следовательно, деформацию заготовки под воздействием начальных напряжений следует рассматривать как непрерывный процесс, состоящий из множества чередующихся этапов нагружения и разгрузки. Однако при термической обработке в фиксированном положении деформация заготовки происходит только после освобождения детали от всех внешних связей и нагрузок. Этому предшествует этап нагружения детали, который включает термическое воздействие и связанные с ним объемные изменения материала от структурно-фазовых превращений во время нагрева, выдержки и охлаждения.

Механизм образования технологических остаточных деформаций и напряжений, в основе которого лежит формирование несимметричных начальных напряжений в процессе термической обработки заготовки нежесткого вала, находящейся в свободном состоянии, можно представить следующим образом.

Быстрый нагрев заготовки приводит к снижению исходного значения предела текучести материала  $\sigma_T$  (представляющего собой результат упрочнения предшествующей обработкой материала в состоянии поставки) при одновременном образовании значительного градиента термических напряжений  $\sigma_{tH}$  по поперечному сечению (рис. 1, а). При нагреве происходит вытягивание продольных волокон и формирование в них термических начальных напряжений  $\sigma_{tH}$ , сжатия (знак начальных напряжений противоположен направлению деформации, в результате которой они возникли [2]). Напряжения  $\sigma_{tH}$ , складываясь алгебраически (с учетом знака) с наследственными остаточными напряжениями  $\sigma_O$ , превышают текущее значение предела текучести  $\sigma_T(t)$  (рис. 1, б). В результате происходит пластическое течение материала.

Интенсивность пластической деформации зависит от уровня и тождественности знаков активной части эпюры наследственных остаточных и термических напряжений, а также от предела текучести материала поверхностного слоя. Очевидно, чем выше исходное значение предела текучести, тем меньше вероятность возникновения пластической деформации. Пластическая деформация, обусловленная суммарными напряжениями  $\sigma_\Sigma$

(рис. 1, б), протекает с различной интенсивностью, как по глубине поверхностного слоя, так и по контуру поперечного сечения. Это связано с действием ряда факторов: асимметрией температурных полей (см. рис. 1, а), структурной неоднородностью материала, несимметричным распределением относительно оси заготовки наследственных остаточных напряжений и др.

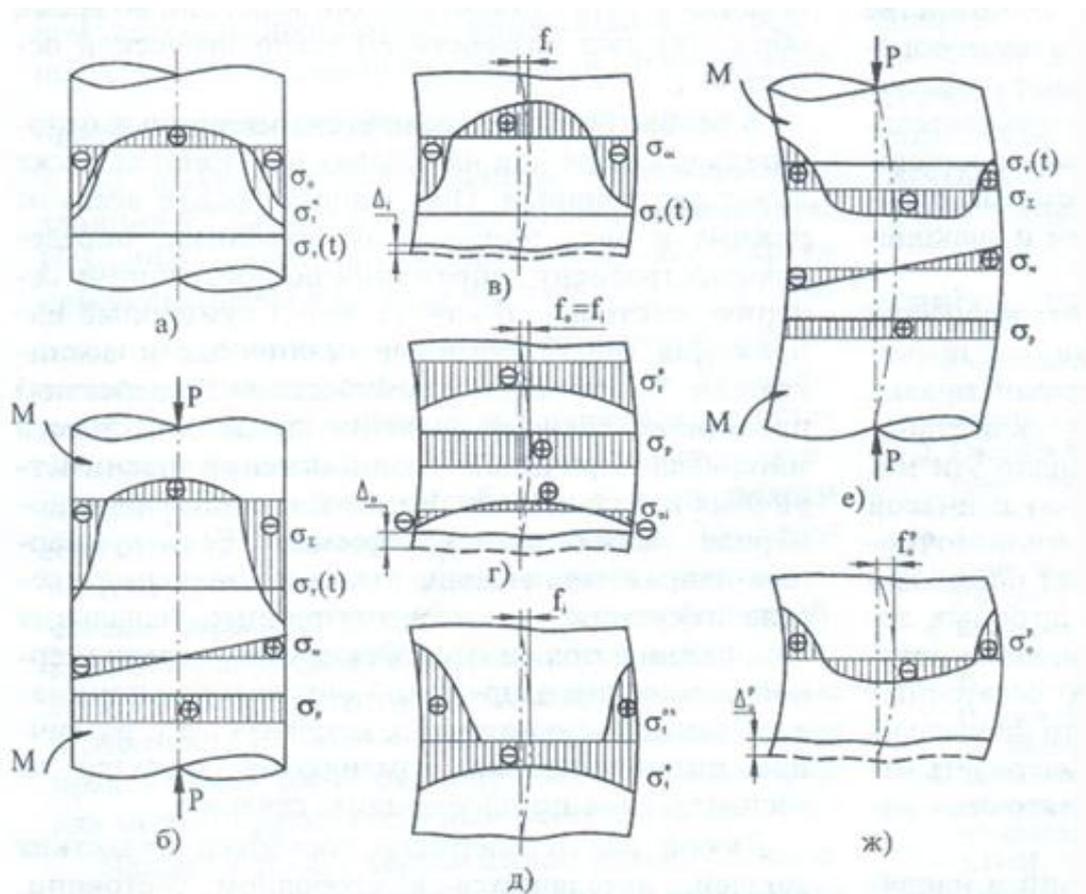
Неравномерная пластическая деформация нарушает равновесие напряженно-деформированного состояния заготовки. После этого начинается разгрузка, которая стремится привести деталь в новое равновесное состояние. Перераспределение начальных напряжений  $\sigma_{\Sigma}$  в процессе разгрузки сопровождается в общем случае продольной  $\Delta l$  и изгибной  $f_l$  деформациями (рис. 1, в) и закручиванием заготовки. При этом часть начальных напряжений  $\sigma_m$  и  $\sigma_r$  (см. рис. 1, б) релаксируют в результате действия изгибающего момента и продольной силы.

Дальнейшее образование несимметричных начальных напряжений  $\sigma_{\Pi}$  при нагреве приводит к дополнительным деформациям. Очевидно, что с наибольшей интенсивностью процесс деформирования заготовки происходит в начальный период нагрева и замедляется к его завершению, так как снижается градиент термических напряжений. Уменьшение разности температур между поверхностью и сердцевиной детали при выдержке сопровождается выравниванием удлинения волокон по поперечному сечению, что приводит к формированию начальных напряжений  $\sigma_{\text{В}}$ , характер распределения которых наиболее близок к равномерному (рис. 1, г). Этому же способствует релаксация наследственных остаточных напряжений. В результате деформация изгиба практически прекращается.

Если после выдержки охлаждение проводить с малой скоростью, то снятие упругого удлинения волокон не будет нарушать равновесие эпюры начальных напряжений  $\sigma_{\text{В}}$  и не приведет к изгибу заготовки, а будет сопровождаться только продольной деформацией. Предложенная схема подтверждает известный факт [3] о том, что уменьшение скорости охлаждения практически всегда приводит к уменьшению остаточных деформаций изгиба и уровня остаточных напряжений. Деформация изгиба будет происходить при неравномерном охлаждении заготовки, т. е. когда возникает несимметричная относительно оси эпюра термических начальных напряжений  $\sigma_{\text{Т}}$  (рис. 1, д).

Причем ускоренное охлаждение приводит к резкому сжатию наружных волокон и созданию больших начальных напряжений растяжения  $\sigma_{\text{тох}}$ . В этом случае суммарные напряжения  $\sigma_{\Sigma}$  ( $\sigma_{\text{тох}} + \sigma_{\text{тВ}}$ ) могут превысить текущее значение предела текучести (рис. 1, е), что приведет к формированию высокого уровня остаточных напряжений растяжения в поверхностном слое.

При дальнейшем охлаждении происходит уменьшение интенсивности деформации заготовки вследствие снижения градиента термических напряжений. В итоге деталь принимает равновесное напряженно-деформированное состояние, которое характеризуется результирующими изгибной  $f_{\text{ори}}$  продольной  $\Delta_{\text{ор}}$  остаточными деформациями, а также результирующей эпюрой остаточных напряжений  $\sigma_{\text{ор}}$  (рис. 1, ж). Известно [4], что термическая обработка деталей, находящихся в свободном состоянии, практически всегда увеличивает исходные остаточные деформации.



**Рис. 1. Принципиальные схемы образования остаточных деформаций и напряжений при термической обработке:**

*a* — формирование напряженного состояния при быстром нагреве; *б* — перераспределение суммарных напряжений в процессе разгрузки, сопровождающееся релаксацией части начальных напряжений в результате действия изгибающего момента *M* и продольной силы *P*; *в* — образованные во время нагрева остаточные деформации и напряжения ( $\sigma_{0l}$  — текущие осевые напряжения); *г* — формирование остаточного напряженно-деформированного состояния детали при медленном охлаждении; *д* — образование напряженного состояния при ускоренном охлаждении; *е* — перераспределение суммарных напряжений, возникающих при ускоренном охлаждении; *ж* — результирующие остаточные деформации и напряжения детали

## 1.8 Причины возникновения остаточных внутренних напряжений в процессе изготовления изделий машиностроения.

Остаточными напряжениями принято называть такие напряжения, которые существуют и уравниваются внутри твердого тела после

устранения причин, вызвавших их появление. Остаточные напряжения всегда являются внутренними, поскольку они само уравниваются внутри твердого тела или жесткого агрегата (напряженный железобетон, замкнутая сварная конструкция).

Образование остаточных напряжений всегда связано с неоднородными линейными или объемными деформациями в смежных объемах материала. В самом общем виде деформация определяется как процесс, при котором изменяется расстояние между какими-либо точками тела. Нарушения исходного взаимного расположения точек тела, размеров и формы могут быть обратимыми и необратимыми. В первом случае они сопровождаются временными напряжениями, а во втором – остаточными.

## **1.9 Методы измерения остаточных напряжения**

Определение остаточных напряжений: механический метод и рентгеновский метод.

Рентгеновский метод является неразрушающий он основан на измерении параметры к кристаллической решетки материалов. Этот параметр сравнивается с параметрами решетки неходовом материале. В итоге образования деформация кристаллической решетки и по методом определения напряжения.

Механический метод является разрушающими от осеован на удалением плоскости слоев, и толщина и измерении деформация.

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. 2.1.1):  $\sigma_\theta$  — 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.

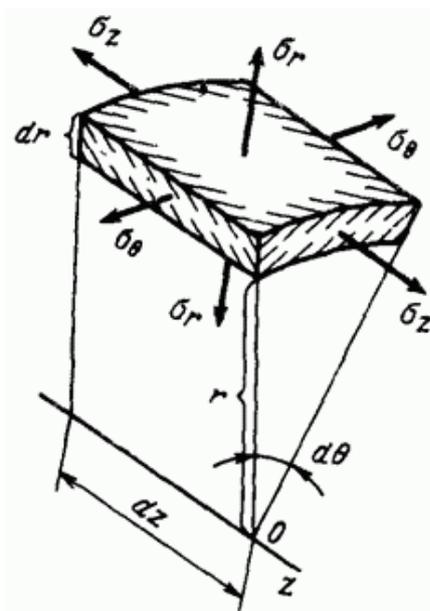


Рис. 2.1.1 Схема напряженного состояния цилиндрического элемента

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.

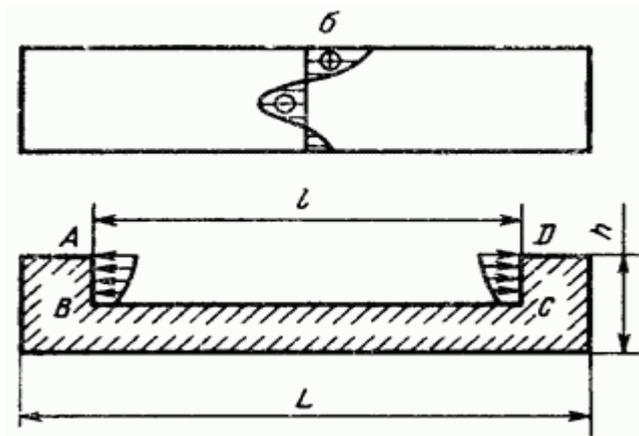


Рис. 2.1.2 Сечение для выявления остаточных напряжений

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. 2.1.2), 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 BC не должна быть загружена остаточными напряжениями.

Определим остаточные напряжения  $\sigma(a)$ , действующие в стержне на расстоянии  $a$  от верхней грани стержня (рис. 2.1.3).

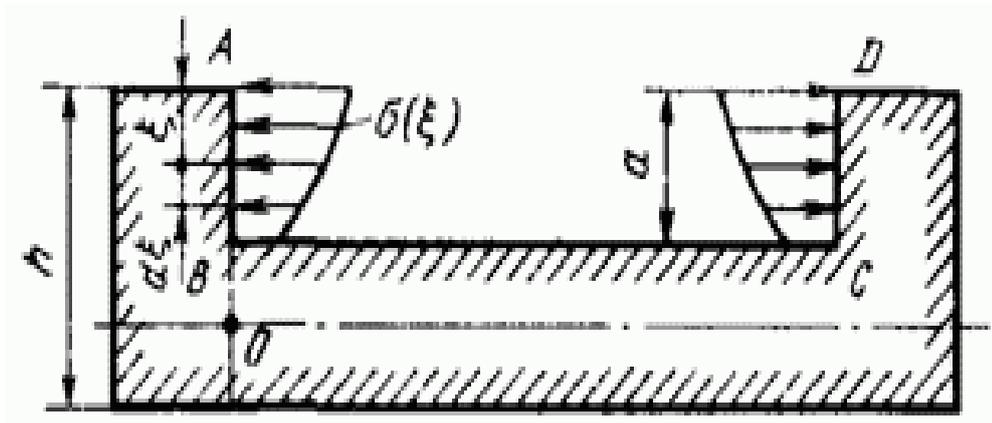


Рис. 2.1.3 К расчету остаточных напряжений

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 проинтегрировав 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  $h=4\dots 6\text{мм}$ ,  $a=0.1\dots 0.3\text{мм}$ ).

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. 2.1.4).

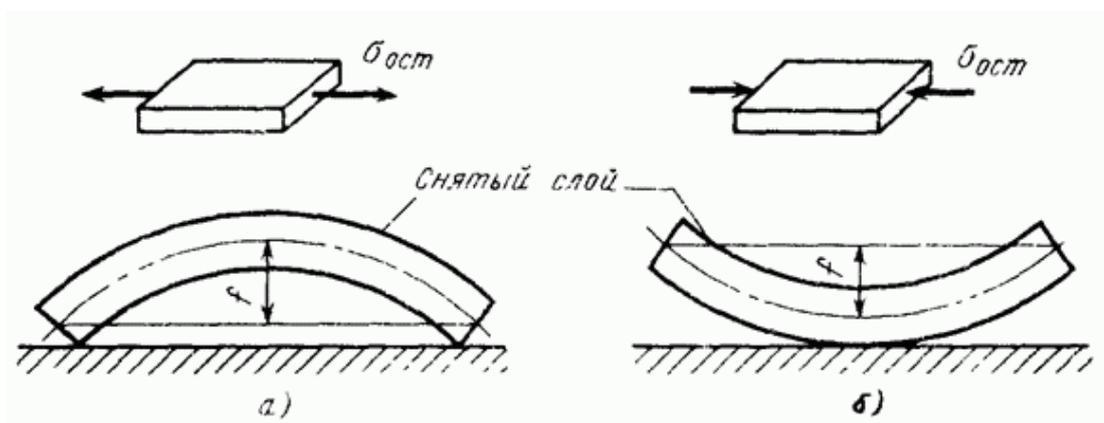


Рис. 2.1.4 Схема прогиба стержня при снятии верхнего слоя: а - растягивающие напряжения; б — сжимающие напряжения

На практике остаточные напряжения определяют с помощью специальных приборов. На рис. 2.1.5 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.

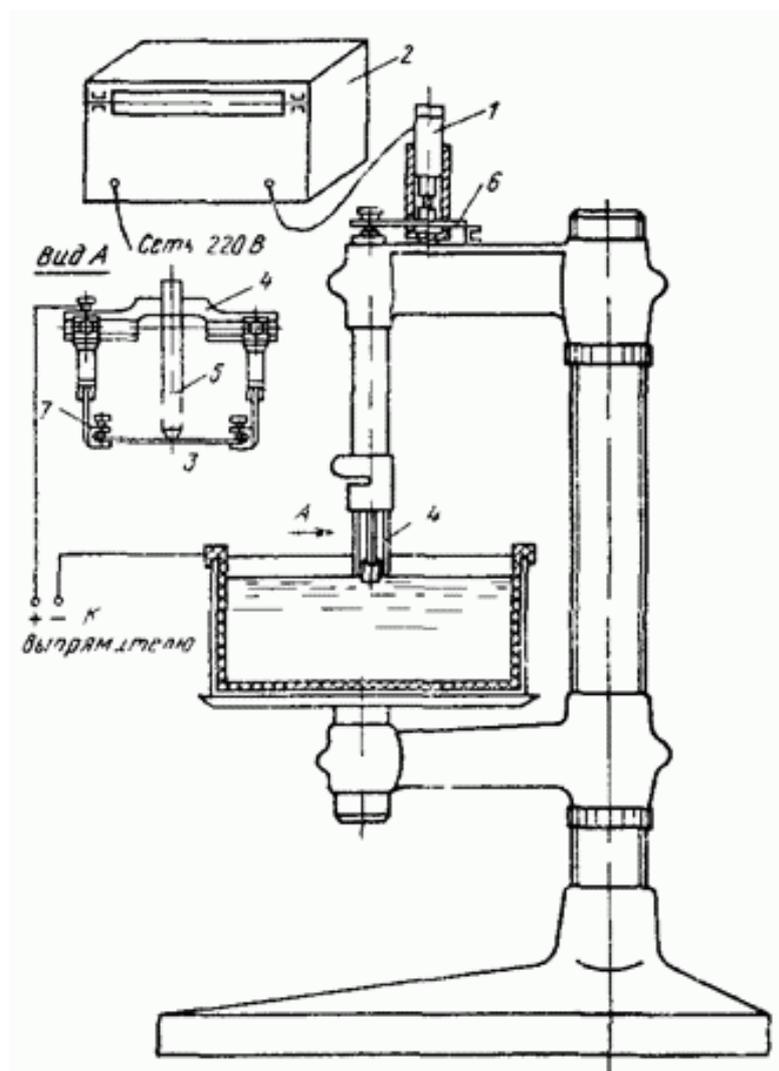


Рис. 2.1.5 Схема установки для определения остаточных напряжений

Поверхности, не подвергающиеся травлению, покрывают воском. Образец закрепляют в держателе 4 с помощью тонких (упругих) пластинок 7, которые не препятствуют повороту его концевых сеченчд. 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°С

Электролит для травления образцов из углеродистых сталей включает 80% фосфорной кислоты ( $H_3PO_4$ ), 15% серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) и 5% хромового ангидрида.

Для жаропрочных сплавов на никелевой основе используют электролит, содержащий 45%  $H_3PO_4$ , 45%  $H_2SO_4$  и 10% воды. Для титановых сплавов используют электролит, включающий 50% азотной кислоты ( $HNO_3$ ), 10% плавиковой кислоты (HF) и 40% воды.

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. 2.1.6) 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

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

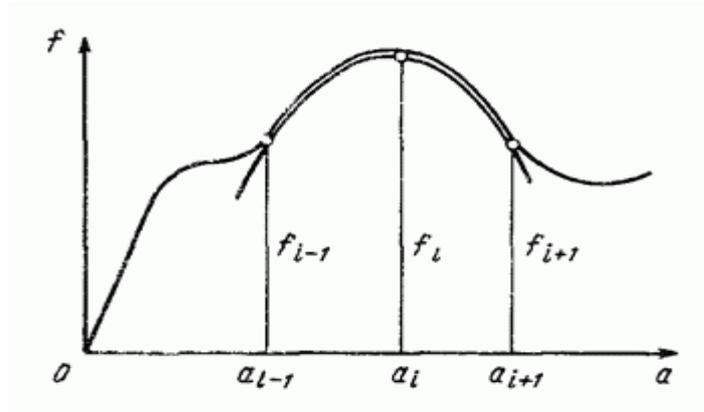


Рис. 2.1.6 График приближенного вычисления производной

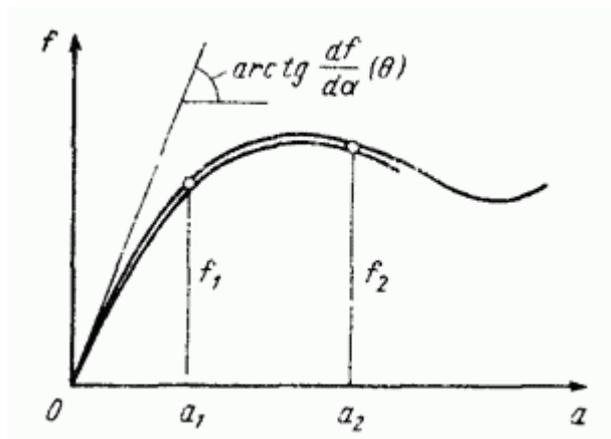


Рис. 2.1.7 График приближенного вычисления производной в начале координат

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. 2.1.7)

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

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 .

### **1.10 Измерение остаточных напряжений методом полосок.**

Как известно, метод заключается в том, что исследуемая напряженная область размечается на ряд параллельных узких полосок их данные в исходном состоянии и после разрезки. Для измерения напряжений были вырезаны темплеты размером  $25 \times 160 \times 160$  мм<sup>3</sup> и  $16 \times 160 \times 160$  мм<sup>3</sup> (вершина шва удалялась). На внешней необработанной поверхности у обоих торцов перпендикулярно к шву размечались полоски шириной 160 мм. По средней линии каждой полоски на обоих концах, отступая по 16 или 25 мм от края. Найденная деформация служит характеристикой остаточной напряженности соответствующей зоны или пластины.

Различие температур до и после разрезки на 1 °С эквивалентно напряжению  $0,2 \text{ кг/мм}^2$ . По методу разрезки полосок принято учитывать только линейно напряженной состояние. Между тем в зоне сварного шва возникают продольные и поперечные напряжения, хотя вторые меньше первых и влияют они на деформацию продольных полосок через коэффициент Пуассона, но это вносит некоторую погрешность в измерение продольных остаточных напряжений.

При определении остаточных напряжений используется обычная теория тонких пластинок. Она основана на гипотезе о прямолинейности нормалей в процессе деформации.

При изгибе пластинки (рис. 1) ее срединная поверхность искривляется. Если радиусы кривизны срединной поверхности  $R_x$  и  $R_y$  (рис. 2), то относительные деформации на расстоянии  $z$  от срединной поверхности, как и при обычном изгибе стержней,

$$\varepsilon_x = \frac{z}{R_x} \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{z}{R_y} \quad (2)$$

Эти деформации связаны с напряжениями (рис. 3), действующими в слое  $z$ , соотношениями упругости

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y) \quad (3)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x) \quad (4)$$

Учитывая равенства (1) и (2), найдем

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{1}{R_x} + \frac{\mu}{R_y} \right) z \quad (5)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{1}{R_y} + \frac{\mu}{R_x} \right) z \quad (6)$$

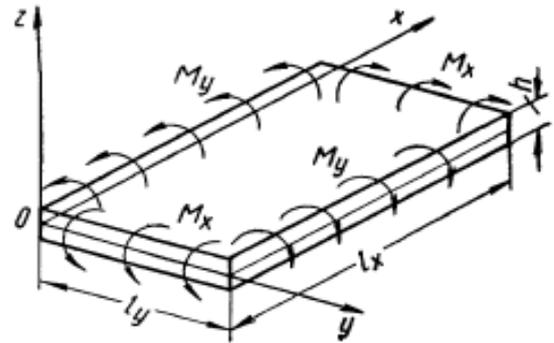


Рис. 1 Изгиб тонкой пластинки

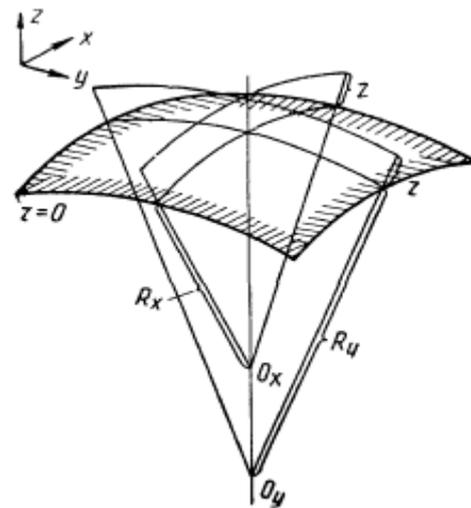


Рис. 2 Искривление срединной поверхности пластинки после деформации

Из этих зависимостей вытекает, что напряжения от внешних нагрузок распределяются по толщине пластинки по линейному закону. Изгибающие моменты на единицу длины сечения

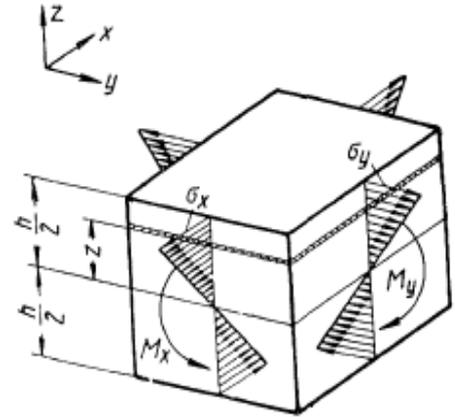


Рис. 3 Напряжения в элементе

$$M_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_x z dz = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \left( \frac{1}{R_x} + \frac{\mu}{R_y} \right) \quad (7)$$

$$M_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_y z dz = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \left( \frac{1}{R_y} + \frac{\mu}{R_x} \right) \quad (8)$$

Последние равенства позволяют выразить радиусы кривизны через изгибающие моменты

$$\frac{1}{R_x} = \frac{12}{Eh^3} (M_x - \mu M_y) \quad (9)$$

$$\frac{1}{R_y} = \frac{12}{Eh^3} (M_y - \mu M_x) \quad (10)$$

Если пластинка загружена распределенными моментами по краям (чистый изгиб пластинки, см. рис. 1), то величины  $M_x$  и  $M_y$  постоянны и соответственно равны приложенным моментам. В этом случае, как следует из формул (9) и (10), радиусы кривизны одинаковы во всех точках пластинки.

Прогиб пластинки в результате кривизны в сечении, параллельном оси  $x$ , будет равен (рис. 4)

$$f_x = \frac{l_x^2}{8R_x} \quad (11)$$

величина  $f_x$  предполагается малой относительно  $R_x$ . Прогиб в результате кривизны в сечении, параллельном оси  $y$

$$f_y = \frac{l_y^2}{8R_y} \quad (12)$$

Общий наибольший прогиб

пластинки (превышение пластинки

над плоскостью  $z=0$ )

$$\omega = f_x + f_y \quad (13)$$

Перейдем к характеристике остаточного напряженного состояния. Остаточные напряжения в пластинке  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  параллельны срединной плоскости пластинки. Напряжение  $\sigma_z$ , отсутствующее на внешних поверхностях пластинки, считается малым для всех внутренних точек. Предполагается, что остаточные напряжения в данном слое материала ( $z=\text{const}$ ) одинаковы для всех

точек пластинки. Это допущение, очевидно, нарушается возле краев пластинки, но в соответствии с принципом Сен-Венана краевые зоны имеют небольшую протяженность.

Подобное допущение

использовалось и при определении остаточных напряжений в стержнях. Принимается, что главные направления соответствуют направлениям  $x$  и  $y$ , и

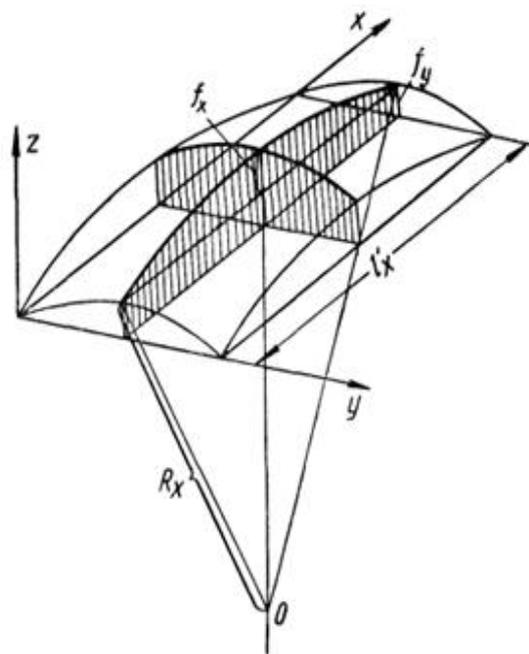


Рис. 4 Прогиб срединной поверхности

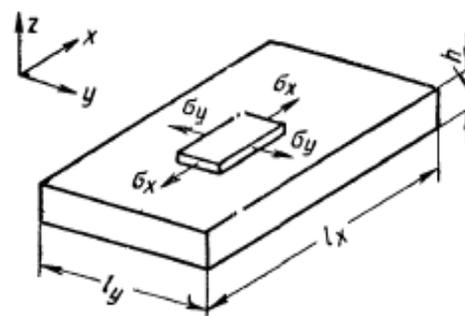


Рис. 5 Остаточные напряжения в пластинке

потому на гранях выделенного элемента (рис. 5) касательные напряжения отсутствуют. Перейдем к изложению методов определения остаточных напряжений

в пластинках.

В соответствии с этим методом из пластинки вырезаются полоски вдоль главных направлений (рис. 6). Ширина полоски  $b$  должна быть наибольшей, с тем, чтобы напряженное состояние в полоске после вырезки было одноосным.

$$\begin{array}{cc} b_1 & b_2 \\ 3\text{мм} & 5\text{мм} \end{array}$$

Далее проводится последовательное снятие слоев по высоте сечения полоски  $h=25$  и  $16$  мм и определяются изложенными ранее способами остаточные напряжения в полоске.

Результаты измерения в двух полосках позволяют провести расчет остаточных напряжений в пластинках  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ . Предполагается, что разрезка полосок осуществляется таким образом, что дополнительные остаточные напряжения не вносятся. Перейдем к изложению теории метода.

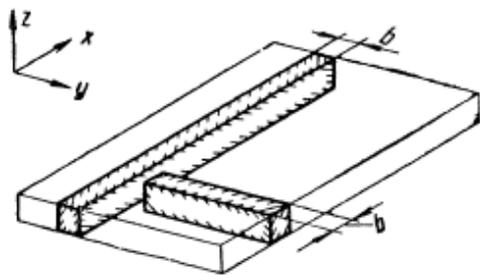


Рис. 6 Метод полосок

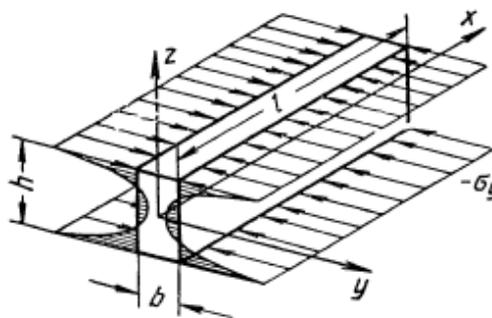


Рис. 7 Приложение обратных остаточных напряжений по боковым грациям полоски

Рассмотрим сначала полоску, ось которой параллельна оси  $x$ . Вырезание полоски эквивалентно приложению на боковых гранях остаточных напряжений  $\sigma_y$  с обратным знаком (рис. 7)

В результате приложения этой нагрузки в поперечных сечениях полоски возникнут дополнительные напряжения  $\sigma_{хд}$ . Первая часть задачи состоит

таким образом в определении напряжений и деформаций в узкой полоске, нагруженной по боковым граням, распределенным давлением -  $\sigma_y$ . Деформация в осевом направлении

$$\varepsilon_{хд} = \frac{1}{E}(\sigma_{хд} - \mu\sigma_{уд}) \quad (14)$$

Так как ширина пластинки мала, то

$$\sigma_{уд} \approx -\sigma_y \quad (15)$$

Подобное допущение используется в плоской задаче теории упругости. В двух близких точках равенство (15) является точным (рис. 8).

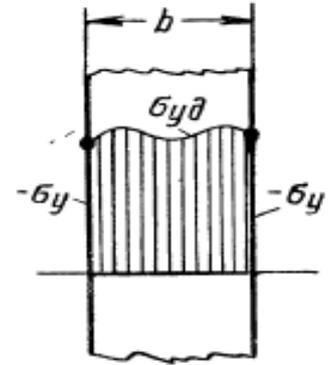


Рис.8 Обоснование

Вследствие малости расстояния  $b$  и непрерывности изменения функции соотношение (15) следует признать справедливым и для всех внутренних точек.

приближенного равенства(15)

Из уравнения (14) получаем

$$\varepsilon_{хд} = \frac{1}{E}(\sigma_{хд} + \mu\sigma_y)$$

Запишем это равенство в такой форме

$$\varepsilon_{хд} = \frac{1}{E}\sigma_{хд} + \alpha t \quad (16)$$

где условная температурная деформация

$$\alpha t = \frac{\mu}{E}\sigma_y \quad (17)$$

Соотношение (16) является основным при расчете температурных напряжений в стержнях. Итак, дополнительные напряжения и деформации в полоске такие же, как при температурной деформации, определяемой равенством (17).

$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$
24°C	100°C	200°C	300°C	400°C	450°C	500°C

На основании известных результатов теории стержней можно написать следующую зависимость

$$\sigma_{хд} = E \left( \frac{\int_F E \alpha t dF}{\int_F E dF} + z \frac{\int_F E z \alpha t dF}{\int_F E z^2 dF} - \alpha t \right) \quad (18)$$

где интегралы распространяются на всю площадь поперечного сечения.

С учетом зависимости (17)

$$\sigma_{хд} = E \left( \frac{\int_F \mu \sigma_y dF}{\int_F E dF} + z \frac{\int_F z \mu \sigma_y dF}{\int_F E z^2 dF} - \frac{\mu}{E} \sigma_y \right) \quad (19)$$

Из условий равновесия части пластинки (при сечении плоскостью  $y = \text{const}$ ) следует

$$\int_{F_1} \sigma_y dF_1 = 0 \quad \int_{F_1} z \sigma_y dF_1 = 0 \quad (20)$$

где  $F_1 = hl$  – площадь боковой поверхности стержня.

$h$	5мм	10мм	15мм	20мм	25мм
$hl$	1000мм <sup>2</sup>	2000мм <sup>2</sup>	3000мм <sup>2</sup>	4000мм <sup>2</sup>	5000мм <sup>2</sup>

Если напряжения  $\sigma_y$  одинаковы по всей длине  $l$ , то

$$\int_{F_1} \sigma_y dF_1 = \frac{l}{b} \int_F \sigma_y dF = 0$$

$$\int_{F_1} z \sigma_y dF_1 = \frac{l}{b} \int_F z \sigma_y dF = 0 \quad (21)$$

При постоянном значении коэффициента Пуассона  $\mu$  в различных точках сечения, как это принимается обычно, из соотношений (19) и (21) вытекает

$$\sigma_{хд} = -\mu \sigma_y \quad (22)$$

Следует отметить, что полученный результат применим на некотором удалении от торцов стержня, так как формула (18) не учитывает краевой эффект.

Остаточные напряжения, существующие в полоске после вырезки

$$\sigma_{xn} = \sigma_x + \sigma_{xd} = \sigma_x - \mu\sigma_x \quad (23)$$

Напряжение  $\sigma_{xn}$  определяется с помощью последовательного снятия слоев (рис. 5.9). Например, при измерении прогиба, будем иметь

$$\sigma_{xn}(a) = \frac{4E}{3l^2} \left[ (h-a)^2 \frac{df}{da}(a) - 4(h-a)f(a) + 2 \int_0^a f(\xi) d\xi \right] \quad (24)$$

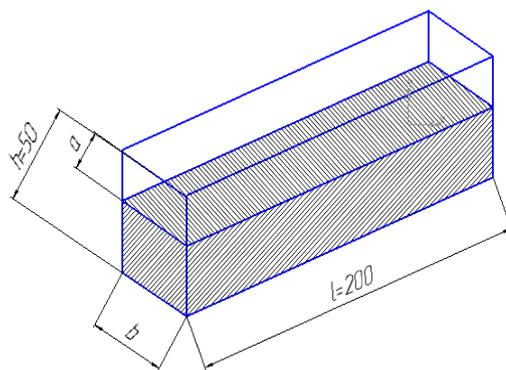


Рис. 5.9 Последовательное снятие слоев полоски

Здесь  $b$  определены

$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
5мм	10мм	15мм	20мм	25мм

## 2. Методика экспериментальных исследований

При термообработке алюминиевого сплава АМГ6 возникает остаточное напряжение, которое производит к изгибу материала.

### 2.1 Этапы эксперимента:

1. Для проведения экспериментов из листа АМГ6 были вырезаны образцы представленные на рис. 1

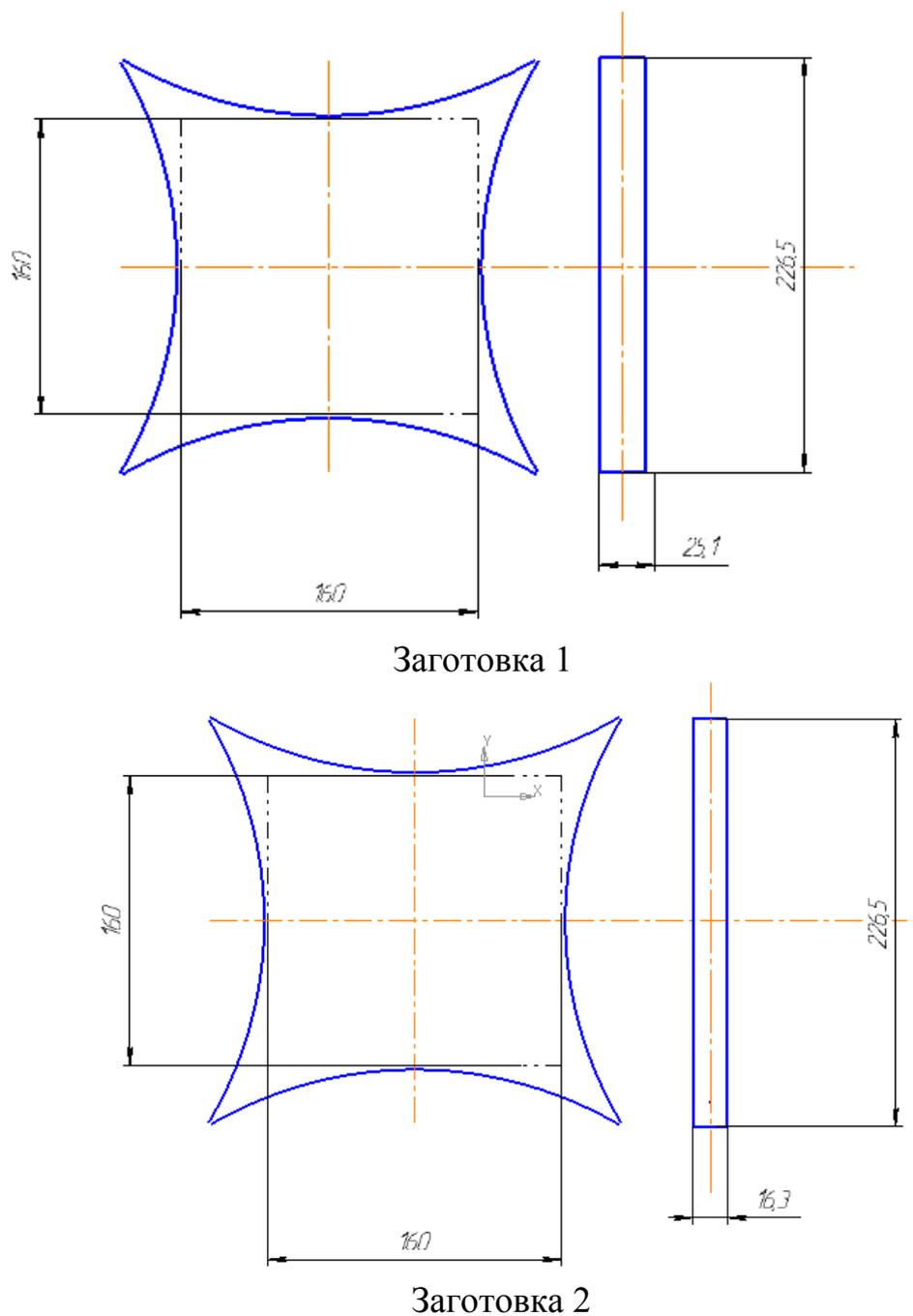


Рис. 1

2. Далее из заготовок фрезеровали квадрат размером 160\*160 мм (рис. 2)

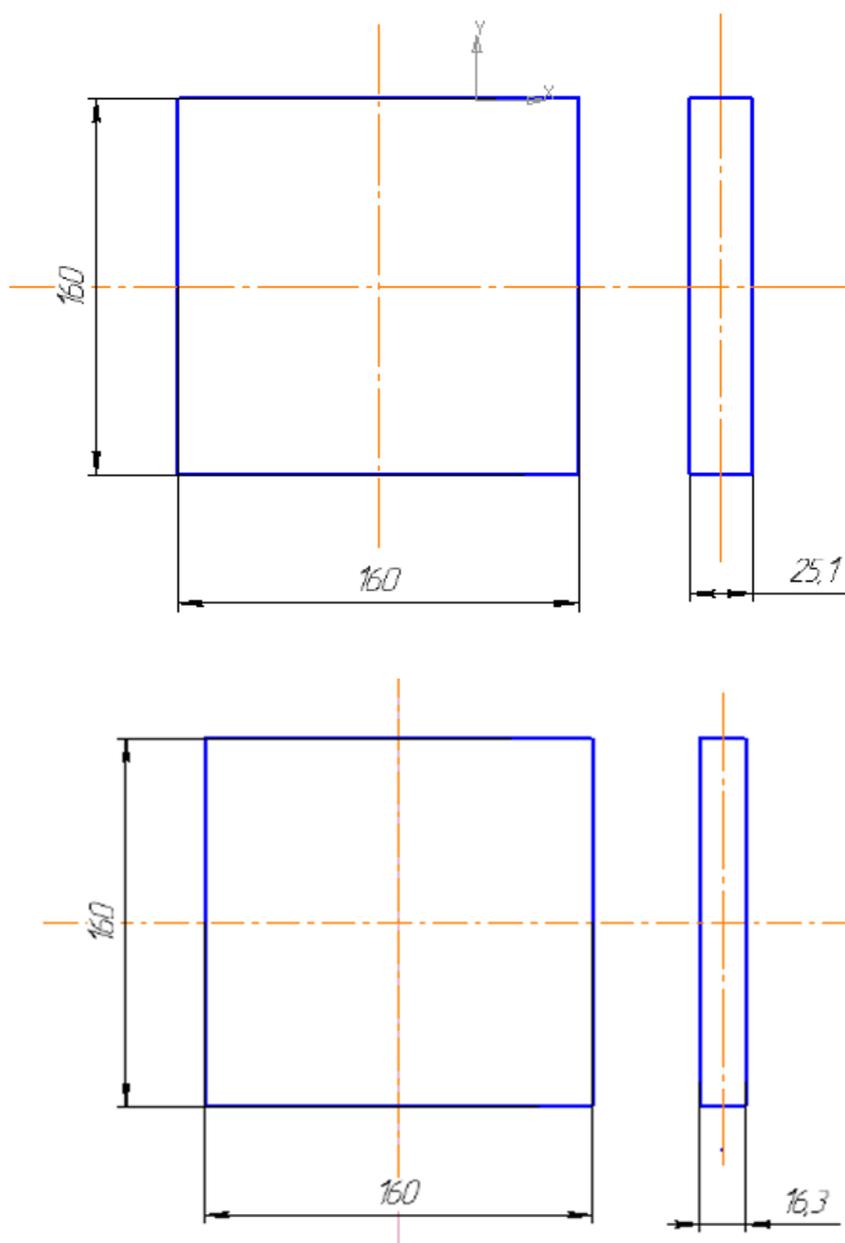


Рис. 2

- Измерение плоскостности

Отклонение от плоскостности контролировали с помощью лекальной линейкой на рис. 3

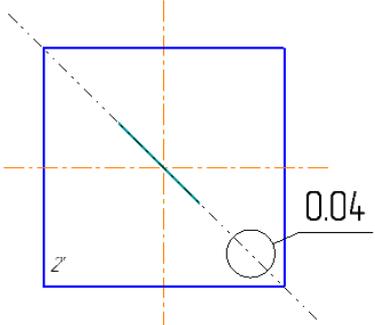
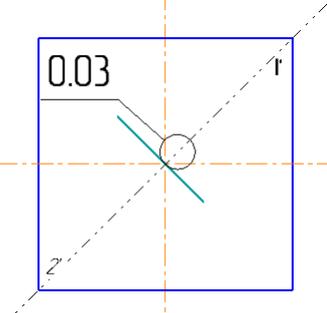
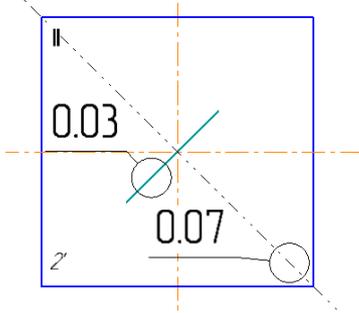
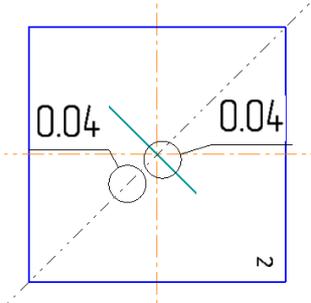
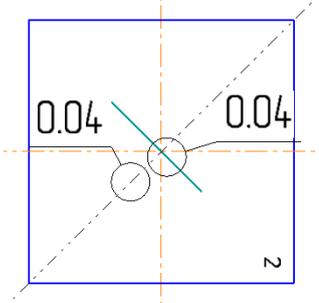


Рис. 3 линейка лекальная типа ЛЧ

Результат измерения показан на таблице 1 и получил следующий вывод.

1. Две стороны детали 1-1 не изгибаются.
2. Первая плоскость не изгибается, а вторая плоскость изгибается.
3. Две плоскости изгибаются.
4. Две плоскости изгибаются.

Таблице 1

Деталь 1-1	Плоскость	I	II
	Параметр	0	0
Деталь 1-2	Плоскость	2	2'
	Параметр	0	
Деталь 2-1	Плоскость	I'	II
	Параметр		
Деталь 2-2	Плоскость	2	2'
	Параметр		

4. Из пластин на электроэрозионном станке DK7725 вырезали полоски толщиной 1 мм на рис. 4.

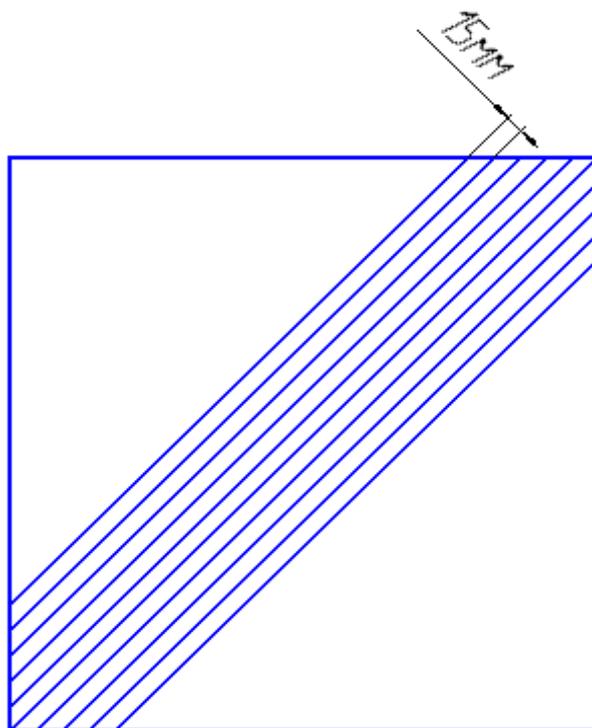


Рис. 4

Для исследования остаточных напряжений из подготовленных пластин вырезали на электроэрозионном станке DK7725 полоски размером 160\*25\*25 мм.

С каждой полоски снимали с помощью электроэрозионного станка слой 1 мм

После вырезали, что одну из пластинок подвергали вакуумированным отжигу 440°C, с другой пластинки фрезеровали слой глубиной 3 мм (скорость фрезерования 8000 об/мин и подача 100 мм/об)

## 2.2 Измерение прогиба

Измерение прогибов пластинок после снятия слоев осуществляли на специальном приспособлении.

Схема приспособления показана на рис. 5



Рис. 5

Потом мы вырезаем 4 полосок (рис.2) из детали (рис.1). Как следующий чертеж.

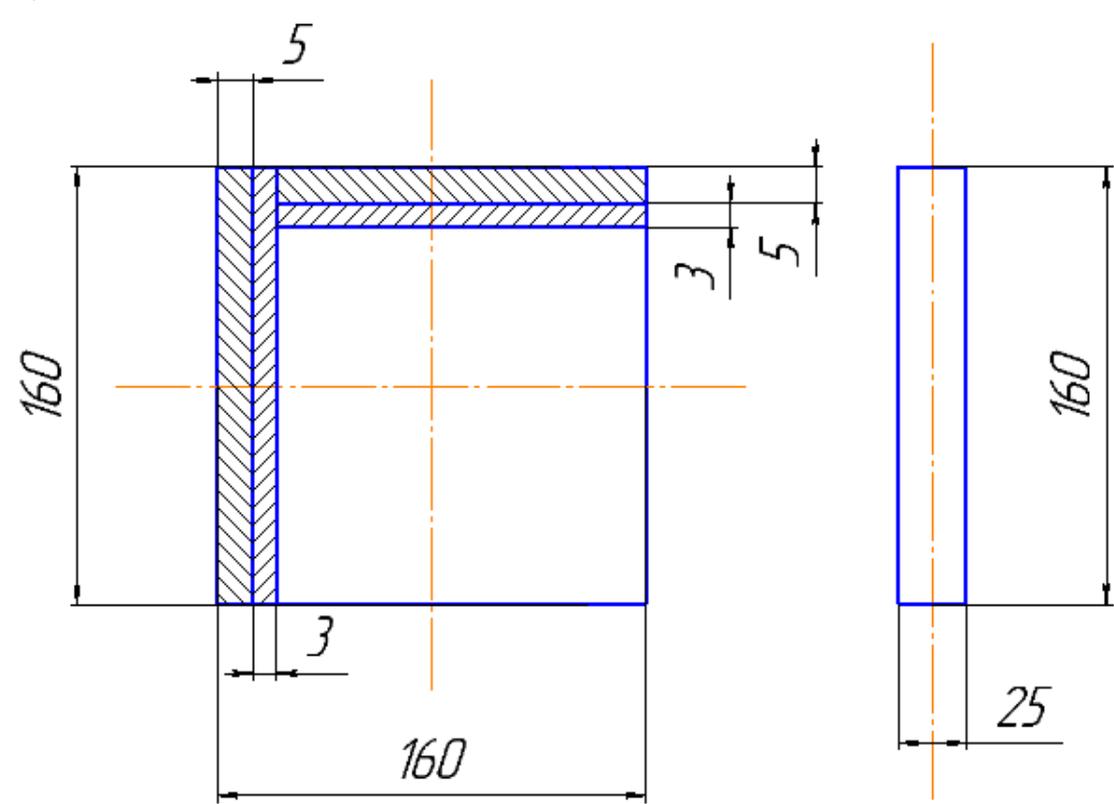


Рис.1

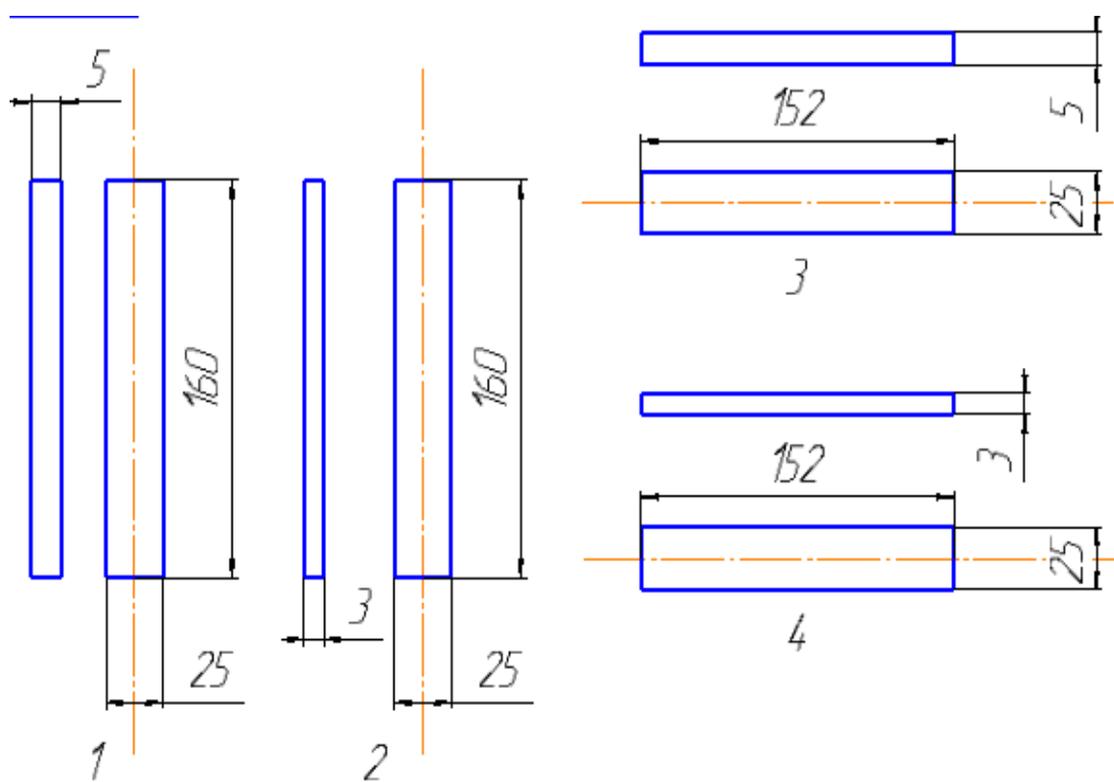
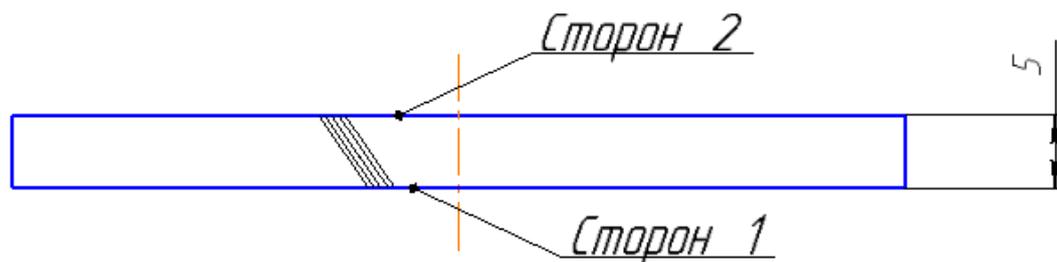


Рис.2

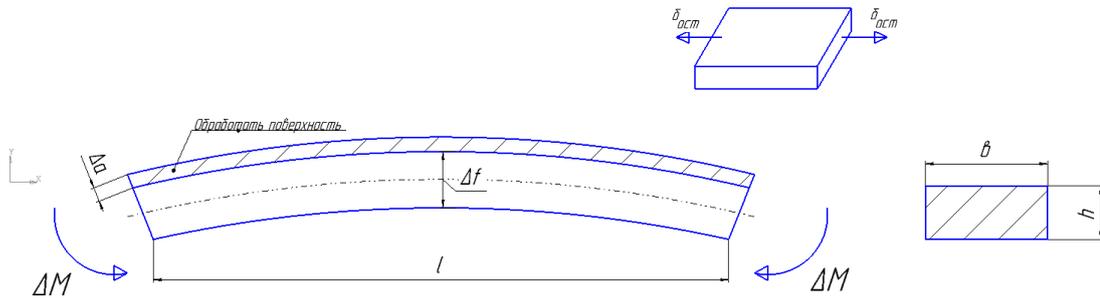
Измерение остаточных напряжений выполняли по следующей методике.



Пластика 1

	1	2	3	Средняя величина	Направление прогиба
Сторон 1	19	20	20	19,7	
Сторон 2	7	7	8	7,3	
Прогиб	12	13	12	12,3	↑

Рассмотрим вариант механического метода определения остаточных напряжений.



При снятии слоя  $\Delta a$  возникает прогиб плоскости. Под действием остаточных напряжений плоскость будет под изгибу.

При чистом изгибе:

$$f = \frac{Ml^2}{8E\tau}$$

$$\Delta f = \frac{\Delta M l^2}{8E\tau}$$

$$\tau = \frac{bh^3}{12}$$

$$\Delta M = \sigma_{\text{ост}} * b * \Delta a * \frac{h}{2}$$

Учитывая равенства, найдем

$$\Delta f = \frac{\tau_{\text{ост}} * \Delta a * b * h * l^2 * 12^3}{2 * 8 * E * b * h^3}$$

Получаем

$$\sigma_{\text{ост}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a}$$

Где  $E$  — модули упругости

$l$  –длина

$h$  –высота

$\Delta f$  –прогиб

**Модули упругости (E) для некоторых веществ:**

Материал	E, МПа	E, кгс/см <sup>2</sup>
Алюминий	70000	713 800
Вода	2030	20300
Дерево	10000	102 000
Кость	30000	305 900
Медь	100000	1 020 000
Резина	5	50
Сталь	200000	2 039 000
Стекло	70000	713 800

$$\sigma_{\text{ост}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a}$$

$$E = 70000 \text{ МПа}$$

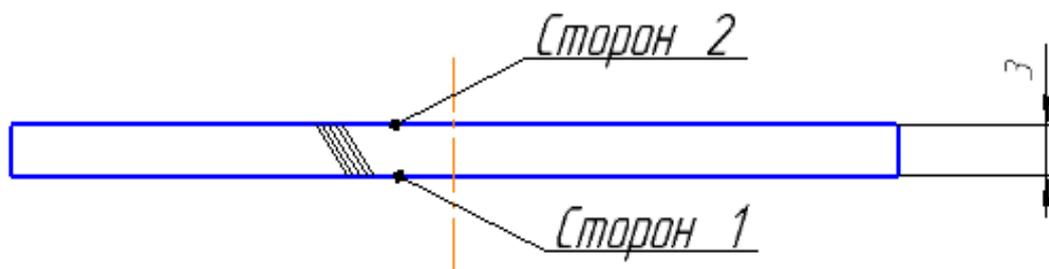
$$l = 160 \text{ мм}$$

$$h = 25 \text{ мм}$$

$$\Delta f = 12.3 \text{ мкм}$$

$$\Delta a = 5 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\text{ост}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 25^2}{160^2} * \frac{12.3 * 10^{-3}}{5} = 5,605 \text{ МПа}$$

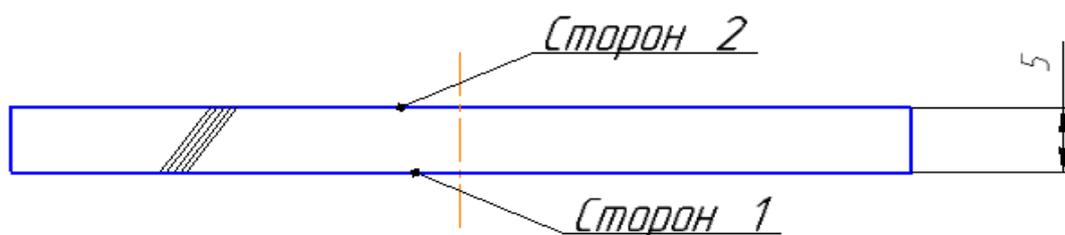


Пластика 2

	1	2	3	Средняя величина	Направление прогиба
Сторон 1	28	30	27	28,3	
Сторон 2	8	9	7	8	
Прогиб	20	21	20	20,3	↑

Остаточное напряжение пластинки 2

$$\sigma_{\text{ост}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 25^2}{160^2} * \frac{20.3 * 10^{-3}}{3} = 15,419 \text{ МПа}$$

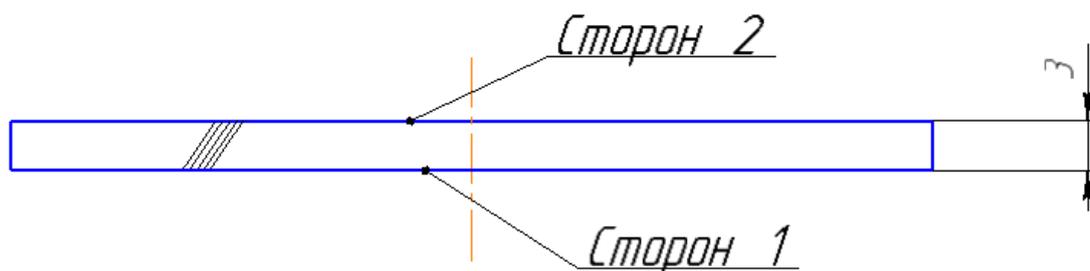


Пластика 3

	1	2	3	Средняя величина	Направление прогиба
Сторон 1	1	-3	-1	-1	
Сторон 2	12	8	11	10,3	
Прогиб	11	11	12	11,3	↓

### Остаточное напряжение пластинки 3

$$\sigma_{\text{ост}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 25^2}{152^2} * \frac{11.3 * 10^{-3}}{5} = 5,706 \text{ МПа}$$



### Пластинка 4

	1	2	3	Средняя величина	Направление прогиба
Сторон 1	26	29	30		
Сторон 2	8	9	9		
Прогиб	18	20	21	19,7	↑

### Остаточное напряжение пластинки 4

$$\sigma_{\text{ост}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 25^2}{152^2} * \frac{19.7 * 10^{-3}}{3} = 16,579 \text{ МПа}$$

### Результаты исследования остаточного напряжения

	Средняя величина	Направление прогиба	$\sigma_{\text{ост}}$
Пластинка 1	12,3	↑	5.605МПа
Пластинка 2	20,3	↑	15.419МПа
Пластинка 3	11,3	↓	5.706МПа
Пластинка 4	19,7	↑	16.579МПа

В последний мы получили такой чертеж, что заключается заготовка прогиба.

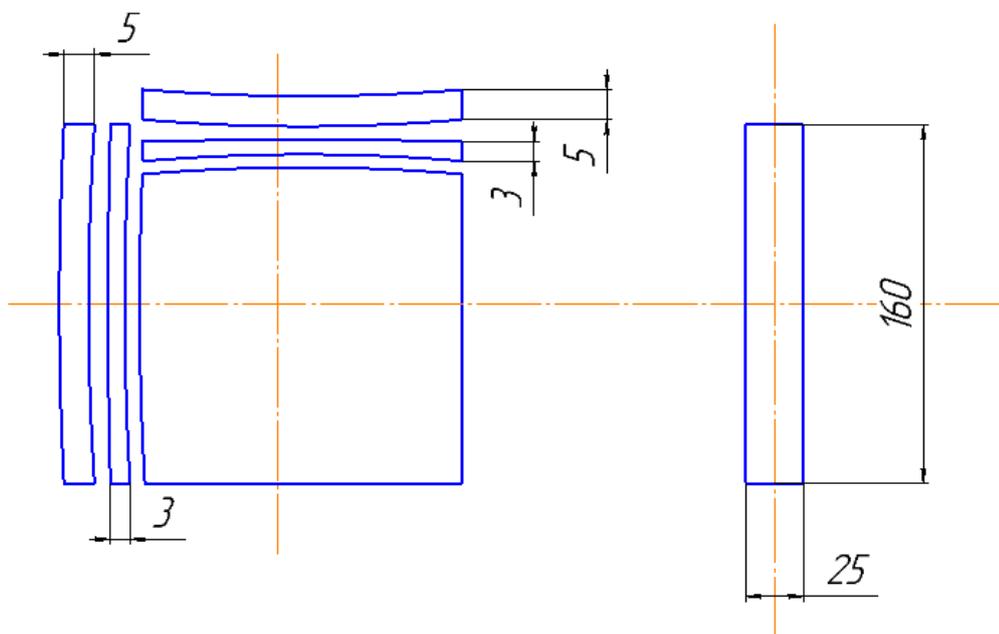


Рис. 3 Общий вид направления прогибов пластинки после вырезки

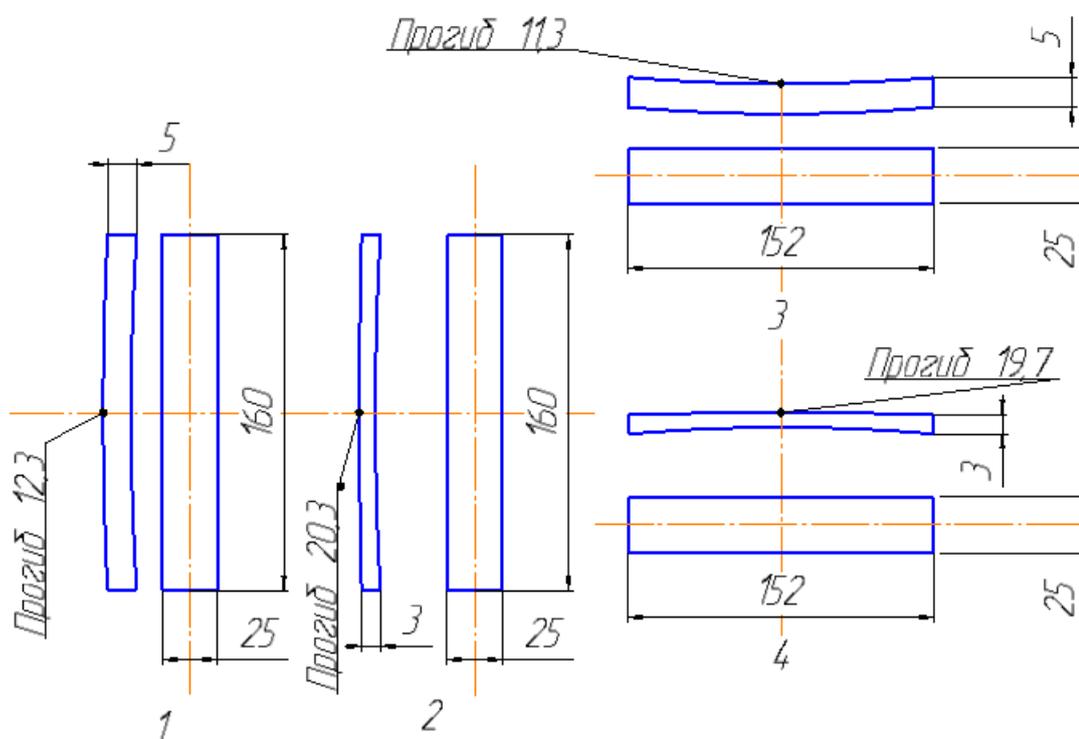
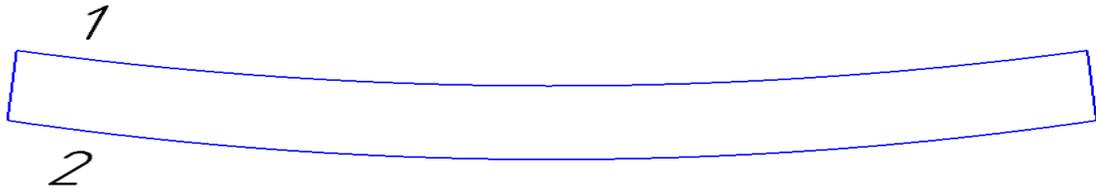


Рис. 4 Общий размер пластинки после вырезки

Вырезали каждые пластинки и измерили изгиб.

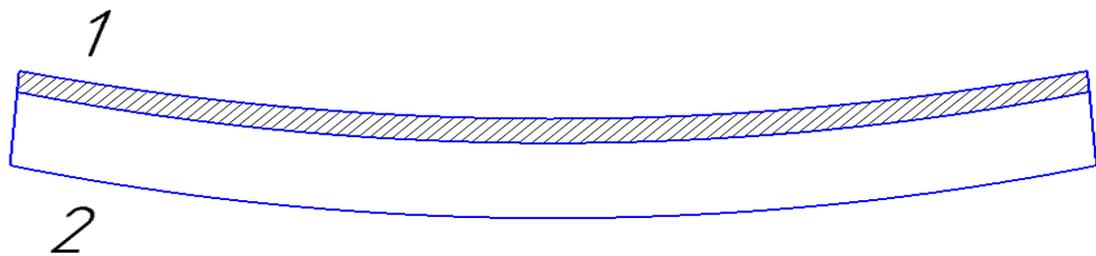
Пластинка 1

До вырезки



Сторона	До вырезать			Среднее
1	10	10	8	9,3
2	-8	-6	-8	-7,3

После вырезать 1мм



После вырезать			Среднее	Δ
10	12,5	14,5	12,3	3
-13	-11	-9	-11	-3,7

$$E = 70000 \text{ МПа}$$

$$l = 167 \text{ мм}$$

$$h = 16 \text{ мм}$$

$$\Delta f_1 = 3 \text{ мкм}$$

$$\Delta f_2 = -3,7 \text{ мкм}$$

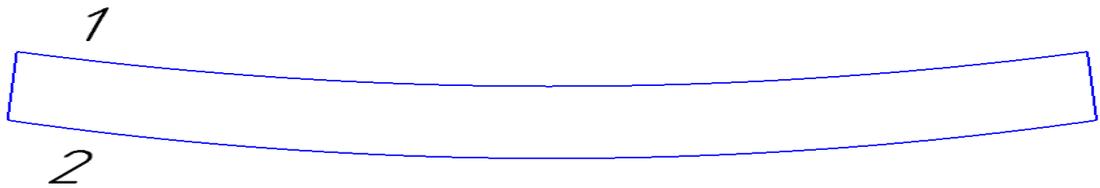
$$\Delta a = 1 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\text{ост1}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 16^2}{160^2} * \frac{3 * 10^{-3}}{1} = 2,17 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ост2}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 16^2}{160^2} * \frac{3,7 * 10^{-3}}{1} = 2,57 \text{ МПа}$$

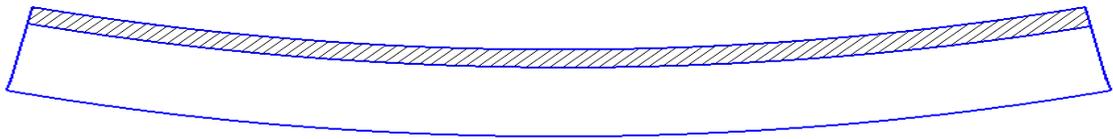
## Пластинка 2

До вырезки

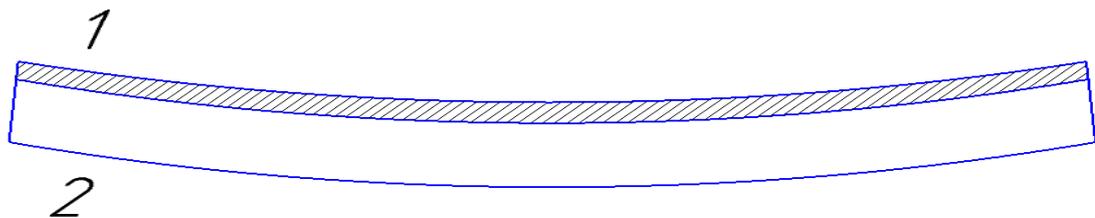


Сторона	До вырезать			Среднее
1	10	8	10	9,3
2	-8	-10	-7	-8,4

фрезеровать 3мм



Вырезать 1мм



После фрезеровать	После вырезать			Среднее	Δ
2	6	7	9	6,3	4
2	-6	-7	-5	-6	-3,4

$$E = 70000 \text{ МПа}$$

$$l = 199 \text{ мм}$$

$$\Delta f_1 = 3 \text{ мкм}$$

$$\Delta f_2 = 2,4 \text{ мкм}$$

$$\Delta a = 1 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\text{ост1}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 16^2}{199^2} * \frac{4 * 10^{-3}}{1} = 2,41 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ост2}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 16^2}{199^2} * \frac{3,4 * 10^{-3}}{1} = 2,05 \text{ МПа}$$

### Пластинка 3

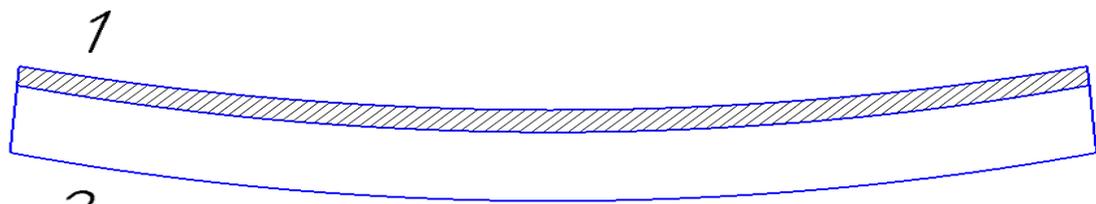
До вырезки



2

Сторона	До вырезать			Среднее
1	4	6	2	4
2	-8	-6	-12	-8,6

После вырезать 1 мм



2

После вырезать			Среднее	Δ
8	9	6	7,7	3,7
-11	-12	-14	-12	-3,4

$$E = 70000 \text{ МПа}$$

$$l = 199 \text{ мм}$$

$$h = 16 \text{ мм}$$

$$\Delta f_1 = 3,7 \text{ мкм}$$

$$\Delta f_2 = -3,4 \text{ мкм}$$

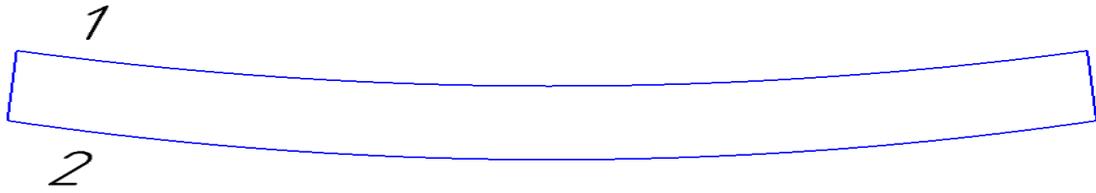
$$\Delta a = 1 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\text{ост1}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 16^2}{199^2} * \frac{3,7 * 10^{-3}}{1} = 2,23 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ост2}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 16^2}{199^2} * \frac{3,4 * 10^{-3}}{1} = 2,05 \text{ МПа}$$

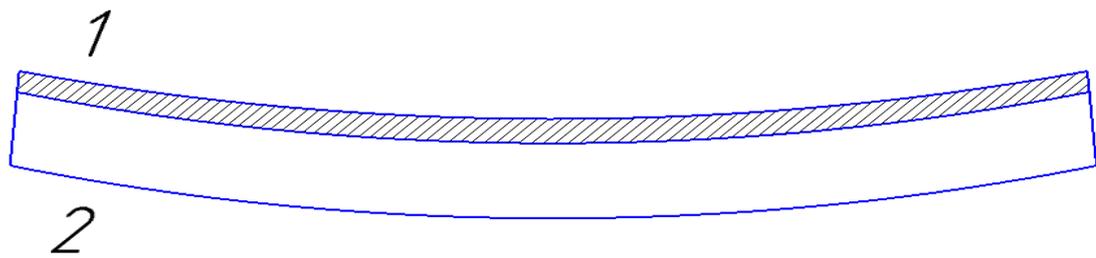
## Пластика 4

До вырезки



Сторона	До вырезать			Среднее
1	7	8	7	7,3
2	-7	-7	-8	-7,3

После вырезать 1мм



После вырезать			Среднее	$\Delta$
4	3	3	3,3	4
-4	-3	-4	-3,7	-3,6

$$E = 70000 \text{ МПа}$$

$$l = 147 \text{ мм}$$

$$h = 16 \text{ мм}$$

$$\Delta f_1 = 4 \text{ мкм}$$

$$\Delta f_2 = -3,6 \text{ мкм}$$

$$\Delta a = 1 \text{ мм}$$

$$\sigma_{\text{ост1}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 16^2}{147^2} * \frac{4 * 10^{-3}}{1} = 4,42 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{ост2}} = \frac{4}{3} * \frac{Eh^2}{l^2} * \frac{\Delta f}{\Delta a} = \frac{4}{3} * \frac{70000 * 16^2}{147^2} * \frac{3,6 * 10^{-3}}{1} = 4,01 \text{ МПа}$$

Результаты исследования остаточного напряжения

### 2.3 Вывод:

1. В начале мы измерили плоскостности всего заготовки и узнали, что все плоскость заготовки изгибается.
2. Потом мы вырезали 4 пластинки, которые толщина 3 и 5 мм. Мы измерили их прогиб и получили таблица 1.

Таблица 1

	Средняя величина	Направление прогиба	$\sigma_{ост}$
Пластинка 1	12,3		5.605МПа
Пластинка 2	20,3		15.419МПа
Пластинка 3	11,3		5.706МПа
Пластинка 4	19,7		16.579МПа

Они все изгибается и знали пластинка 2 и 4 большее прогиб чем пластинка 1 и 3.

Мы получили что в первом чем больше толщина, тем меньше остаточное напряжение и меньше прогиб. Во втором чем больше вблизи центра, тем больше остаточное напряжение и больше остаточное напряжение.

3. Мы вырезали 4 полоски и измерили их изгиб и потом вырезали пластинки (1 мм) из каждой полоски и измерили их изгиб. В конце, мы получили таблица 2.

Таблица 2

Полоска	До вырезки	Фрезеровать	$\Delta$ (мкм)	$\sigma_{ост}$ (МПа)	После вырезки	$\Delta$ (мкм)	$\sigma_{ост}$ (МПа)
1	11,65	-	-	-	8,3	3,35	2,37
2	8,85	2	6,85	9,57	6,15	2,7	2,23
3	9,45	-	-	-	6,3	3,15	2,34
4	7	-	-	-	4	3	1,12

- 1) После вырезания пластинки, остаточное напряжение полоски будет меньше.
- 2) Из результатов исследования видно что представленных результата не достаточно чтобы более полно проанализировать картину остаточных напряжениях в пластинки из сплава АМГ6 после различных методов обработки.
- 3) Результаты экспериментов показали, что при фрезеровании с указанными режимами остаточные напряжения в полосках в 4 раза больше чем в не обработанных фрезерованием полосках.
- 4) Результаты экспериментов показали, что после вакуумированного отжига снизили остаточные напряжения.

### **3. Экономический раздел**

#### **Описание работы.**

В исследуемой работе мною был рассмотрен метод снятия остаточных напряжений в полосках. При определении остаточных напряжений используется обычная теория тонких пластинок. Она основана на гипотезе о прямолинейности нормалей в процессе деформации. Мною исследованы литературные источники, которые раскрывают такие вопросы как: деформация алюминиевого сплава, измерения остаточных напряжений, термическая обработка, а также расчет метода в полосках.

Одним из главных достоинств проектируемого мною метода является его простота и точность. На мой взгляд для повышения конкурентоспособности проектируемого метода необходимо повышать производительность, именно используется автоматические измерительные механизмы. После этого можно думать о выдвигении проектируемого метода на рынок как универсального в полной мере конкурентоспособного существующим методам.

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

Для оценки продукта с конкурирующими разработками необходимо провести систематический анализ, так как рынки постоянно изменяются. Данный анализ помогает корректировать исследование для более успешного противостояния со своими конкурентами, а также определить направление для будущего повышения эффективности научного исследования.

Для данного анализа в качестве сравнения могут быть использованы все информационные данные о конкурентах.

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты (табл. 1).

Таблица 1.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентноспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Универсальность в эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
2. Точность применения	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
3. Простота применения	0,05	5	3	2	0,25	0,15	0,1
4. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	5	4	1	0,25	0,2	0,05
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	2	4	5	0,1	0,2	0,25
6. Научная новизна	0,05	4	5	1	0,2	0,25	0,05
7. Потребность в ресурсах памяти	0,05	2	2	4	0,1	0,1	0,2
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	2	4	4	0,2	0,4	0,4

2. Уровень проникновения на рынок	0,1	1	4	3	0,1	0,4	0,3
3. Цена	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
5. Послепродажное обслуживание	0,05	3	3	4	0,15	0,15	0,2
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
7. Срок выхода на рынок	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
8. Наличие сертификации разработки	0,05	2	4	4	0,1	0,2	0,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>38</b>	<b>47</b>	<b>43</b>	<b>3,25</b>	<b>3,75</b>	<b>3,45</b>

Основываясь на проведенном анализе следует отметить то, что наиболее эффективным направлением для повышения конкурентоспособности исследования является повышение качества использования памяти в исследовании, а также повышение качества интеллектуального интерфейса. Конкурентные методы исследования разрабатывались без применения современных ЭВМ. Следует сказать, что это не мешает им модернизироваться, однако рынок вероятнее всего рассмотрит уже существующие современные методы, нежели будет тратить ресурсы на реорганизацию старых методов исследования.

Одним из главных преимуществ исследуемого метода является его универсальность, что позволяет расширить выбор рынка реализации продукта.

Однако, как показывает практика, потребитель отдает предпочтения тому продукту, за которым закреплены различные научные сертификаты и т.п. Но в данном примере наличие подобных сертификатов уделен меньший вес, так как по сути методика уникальна.

## 2. План проекта

На стадии планирования проекта удобно построить календарный графики научного исследования. Данные графики помогают контролировать готовность планируемых работ, а также по мере необходимости вводить коррективы.

Линейный график работ представим в таблице 2.

Таблица 2.

<b>Код работы (из ИСР)</b>	<b>Название</b>	<b>Длительность, дни.</b>	<b>Дата начала работ</b>	<b>Дата окончания работ</b>	<b>Состав участников</b>
1	Составление технического задания	30	01.09.15	01.10.15	Чэнь синьхань, Охотин
2	Литературный обзор	30	01.10.15	01.11.15	Чэнь синьхань
3	Патентный поиск	30	01.11.15	01.12.16	Чэнь синьхань

4	Исследование деформации материала	30	01.02.16	01.03.16	Чэнь синьхань, Охотин
5	Исследование остаточных напряжений	30	01.03.16	01.04.16	Чэнь синьхань, Охотин
6	Исследование метода снятия напряжения	60	01.04.16	01.06.16	Чэнь синьхань, Охотин
7	Научная практика	15	15.08.16	30.08.16	Чэнь синьхань,
8	Проектирование метода снятия остаточных напряжений в полосках	90	01.09.16	01.12.16	Чэнь синьхань
9	Первичная апробация проектируемого метода	15	01.12.16	15.12.16	Чэнь синьхань
10	Научная практика	15	01.02.17	15.02.17	Чэнь синьхань
11	Измерение деформации и остаточных напряжений	45	15.02.17	01.04.17	Чэнь синьхань

12	Термическая обработка	15	01.04.17	15.04.17	Чэнь синьхань, Охотин
13	Отрезать пластины	15	15.04.17	01.05.17	Чэнь синьхань
14	Расчет остаточных напряжений	15	01.05.17	15.05.17	Чэнь синьхань
15	Сравнение проектируемого метода исследования с другим методом	15	15.05.17	01.06.17	Чэнь синьхань, Охотин
16	Подведение итогов по работе	7	01.06.17	08.06.17	Чэнь синьхань, Охотин

В линейном графике не учитываются периоды зимних и весенних каникул. Следует также учесть, что данный график составляется индивидуально, некоторые периоды времени работ могут не совпадать с календарным планом учебного заведения.

### **3. Реестр рисков исследования**

Возможные риски проекта включают в себя непредвиденные обстоятельства, которые могут возникнуть в данном проекте и вызвать череду последствий, которые приведут к негативным эффектам. Для анализа рисков

необходимо привести объективную оценку имеющейся информации по данным рискам.

Данные по рискам приведем в таблице 3.

Таблица 3.

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения	Условия наступления
1	Нелинейность поправочных коэффициентов	Ошибка в вычислениях	5	5	Высокий	Корректировка коэффициентов	Ошибка при проектировании метода
2	Ошибка характеристик материала	Ошибка в вычислениях	1	5	Высокий	Экспериментальное определение требуемых характеристик	Ошибка или неточность данных по материалам
3	Ошибочное предположение при определении деформаций	Ошибка в вычислениях	3	4	Средний	Уточнение уравнений деформаций	Неверное исследование возникающих деформаций
4	Неверный выбор основополагающей методики	Ошибка в вычислениях	2	2	Высокий	Выбор аналогичной методики	Ошибка при проектировании
5	Ошибка в расчетной программе	Ошибка в вычислениях	4	5	Средний	Повторное программирование	Ошибка программиста

*Примечание:* Уровень риска может быть: высокий, средний или низкий в зависимости от вероятности наступления и степени влияния риска. Риски с наибольшей вероятностью наступления и высокой степенью влияния будут иметь высокий уровень, риски же с наименьшей вероятностью наступления и низкой степенью влияния соответственно низкий уровень.

Исходя из таблицы 3, наиболее характерными рисками являются ошибки при обработке с данными. Все перечисленные риски воздействуют на ошибки в вычислениях, другими словами при получении конечных данных. Основным условием возникновения данных рисков является человеческий фактор, так как проектирование методики производится исключительно вручную. Единственным надежным и эффективным направлением смягчения данных рисков является периодическая перепроверка расчетов, сохранение старых вычислений и их сравнение с актуальными. Иначе исключить человеческий фактор невозможно.

#### **4. Предположительный бюджет научного исследования**

Следующий раздел предлагает на рассмотрение одну из возможных ситуаций постановки бюджета для научного исследования. Следует отметить то, что в реальном проекте не было потрачено средств (не считая зарплату руководителя и т.п.) на само исследование. Единственным ресурсом являлось время. Поэтому для оценки бюджета предположим картину, когда теоретическое проектирование был уже проведено, и исследование подошло к этапу практической апробации с использованием оборудования, которое рассматривалось в предыдущих разделах.

При непосредственном планировании бюджета должно быть в полной мере отражены те или иные планируемые расходы, которых требует проект. Обозначим основные группы планируемых расходов как:

- Расход на оборудование (испытательные стенды, производственные станки);
- Расход на рабочий персонал (заработная плата, обучение и т.п.);
- Расход на выполнение сторонних научных исследований (исследование метода зарубежными учеными и т.п.);
- Прочие расходы.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Таким образом обозначим планируемые затраты в таблице 4.

Таблица 4.

Вид работ	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями
Конструирование механизма измерения	50	0	20	10	8	20	0
Разработка термообработки	20	0	20	10	8	20	0
Авто-расчет	0	0	20	10	8	20	0
Материалы	100	50	15	10	8	20	0
Испытание	30	60	15	10	8	20	50

\*Значения в ячейках указаны в тысячах рублей.

## **Список использованной литературы.**

1. Видяев И. Г., Серикова Г. Н., Гаврикова Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие //ИГ Видяев, ГН Серикова, НА Гаврикова, НВ Шаповалова, ЛР Тухватулина ЗВ Криницына. – 2014.

## 4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### Описание рабочего места

В этом разделе обсуждаются организационные вопросы, связанные с рабочим местом в соответствии с промышленной гигиены, промышленной безопасности и правил технологии защиты окружающей среды.

В данной работе, на основе качения и промежуточной плоскости радиального передаточного механизма, который преобразует крутящий момент, к которому она принадлежит. Механизм является производство продукта.

Горизонтальные и вертикальные плоскости конструкции станции понимать, что подходящее устройство для получения функционально взаимосвязанного пространства (оборудования, инструментов и объекты человеческого труда) должны быть расположены в рабочем процессе.

Следует учитывать при проектировании работы свет, температура, влажность, давление, шум, вибрация, загрязнение, электромагнитное поле, а также наличие других санитарных требований для работы организации.

При проектировании производства следует не только обращать внимание на охрану окружающей среды, в частности, в безотходного производства.

Это также возможность экстренной необходимости рассматривать. Поскольку производственная площадь находится в городе Томск, возможной из ЧС является наводнение. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

### 1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

На производстве, где находятся различное оборудование (такие как станки и т.п.), а также используются вспомогательные вещества для удаления остаточных напряжениях при термообработке, могут быть следующие вредные факторы:

- не комфортных метеоусловий;
- производственного шума;

## 1.1 Метеоусловия

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

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

Таблица 1 - Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	легкая	19 – 24	15 - 75	$\leq 0.1$
Теплый	легкая	20 - 28	15 - 75	$\leq 0.2$

## 1.2. Производственный шум

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

В случае отрезать алюминии на токарным станке, 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;

### 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.

### **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  $\rho_{\text{п}}=70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_3 = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ .

Выбираем лампу ЛХБ125, световой поток которой равен  $\Phi_{\text{лд}} = 8000$  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 1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

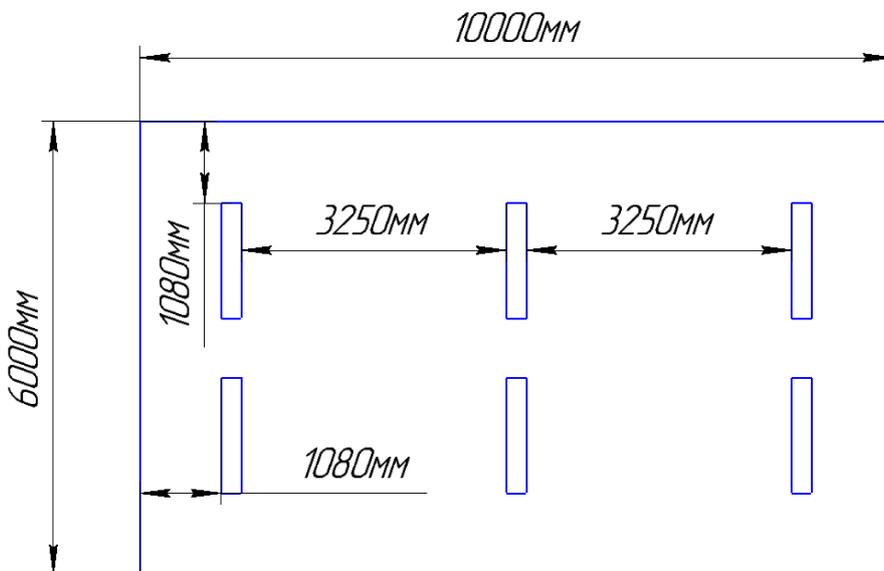


Рисунок 1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

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  $\rho_{\text{л}} = 70\%$ ,  $\rho_{\text{с}} = 50\%$  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.

#### **1.4 Электромагнитные поля**

На производстве используются электроустановки, которые в свою очередь генерируют электромагнитное поле.

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

### **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 статистического электричества.

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 2).

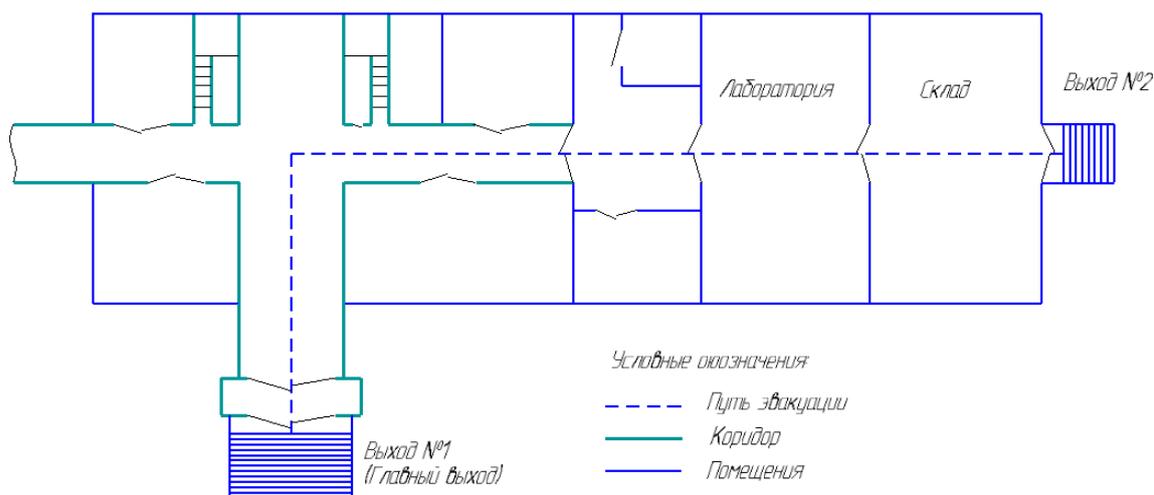


Рис 2. Пути эвакуации из производственного помещения.

### 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.

### **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 последующей переработки.

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.

### **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.

В период весны река Томь и талые воды могут привести к наводнению всего города. Таким образом в условиях наводнения необходимо предотвратить попадание воды в производственное помещение. Для этого по внешнему и внутреннему периметру здания и помещения должны быть предусмотрены мешки с песком для создания локальных плотин (в частности в местах слабой герметизации – оконные проемы, двери и т.п.). В случае если же вода все-таки попала в помещение, необходимо поднять оборудование на достаточное расстояние от пола. Для этого предусмотрены домкраты и деревянный брус.

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.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера://под ред. Проф. В.Ф. Панина. – М: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284с.
2. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. - 3-е изд., перераб. И доп. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. - 178 с.
3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы»
4. Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей: учебное пособие/Амелькович Ю.А., Анищенко Ю.В., А. Н. Вторушина, М. В. Гуляев, М. Э. Гусельников, А. Г. Дашковский, Т. А. Задорожная, В. Н. Извеков, А. Г. Кагиров, К. М. Костырев, В. Ф. Панин, А. М. Плахов, С. В. Романенко. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 236с.
5. СНиП 23 – 05 – 95\* «Естественное и искусственное освещение» (с изменением N 1) [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно – технической документации.
6. ГОСТ 12.1.003-76. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
7. СанПиН 11 – 12 – 77. Санитарные правила и нормы «Защита от шума. Нормы проектирования».
8. ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.
9. ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.99 М 96-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

10. В.М.Нагорный, Г.М.Федоров. Организация работы комиссии по чрезвычайным ситуациям объекта / Под ред. В.В. Шевченко. - [Электронный ресурс].

11. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

## 5. Раздел на иностранном языке

### 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 a 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.

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.

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

The most

typical modes of heat treatment of castings from aluminum alloys:

Modes of heat treatment of foundry aluminum alloys:

Alloy Brand	The designation of heat treatment	Hardening			Tempering		
		Heating temperature, °C	Holdin g time, hour	Cooling medium and its temperature, °C	Heating temperature, °C	Holdin g time	Cooling Medium
AЛ1	T5	515±5	2-5	Water 20-100	175±10	3-5	Gas
AЛ1	T7	515±5	2-5	Water 20-100 or air	220±10	2-4	
АЛ4	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
MJ15	T2	-	-	-	170-250	3-5
MA5	T4	410-420	4-12	Hot water-	-	-
MJ15	T6	410-420	12-16	Air	-	-
MA5	T6	410-420	4	Hot water	170-180	16-24
MJ15	T6	410-420	12-16	Air	170-180	16
MJ14	T6	375-385	10-16		160-190	16

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.

### **1.3 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.

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.

#### **1.4 Manufacture of metal cabinet**

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

- 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 **cabinet** 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 nonrigid 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 can not 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 [1];
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  $\sigma_{tH}$  across the cross section (Fig. 1, a). When heated, stretching of longitudinal fibers occurs and the formation of thermal initial stresses  $\sigma_{tH}$ ,

compression in them (the sign of the initial stresses is opposite to the direction of deformation, as a result of which they arose [2]). The stresses  $\sigma_{tH}$ , forming algebraically (taking into account the sign) with hereditary residual stress  $\sigma_O$ , 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  $\Delta i$  and flexural  $f_i$  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.

Дальнейшее образование несимметричных начальных напряжений  $\sigma_{tH}$  при нагреве приводит к дополнительным деформациям. 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) Этому же способствует релаксация наследственных остаточных напряжений. В результате деформация изгиба практически прекращается.

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 [3] 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 arises 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.

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 [4] that the thermal treatment of parts in the free state almost always increases the initial residual deformations.

## References

1. Engineering Technology Laboratory E. I. du Pont de Nemours G Company (Inc.)  
Wilmington, Delaware 19898
2. White J L 1990 Twin Screw Extrusion: Technology and Principles (Munich:  
Hanser)
3. Amash A, Bogun M, Schuster R-H, G "U and Schmitt M 2001 New concepts for  
continuous mixing of powder orl rubber Plast, Rubber and Compos. 30 401-5
4. Fan Z, Bevis M J and Ji S 1999 Process and apparatus for manufacturing casting  
from immiscible metallic liquids PCT/WO 01/23124 A1
5. Fan Z, Bevis M J and Ji S 1999 Method and apparatus for producing semisolid  
metal slurries and shaped components PCT/WO 01/21343 A1
6. Fan Z, Ji S and Bevis M J 2000 UK Patent Application 0 019 855.6
7. Fan Z, Ji S and Bevis M J 2000 Process and apparatus for making alloys casting  
PCT/GB01/03596
8. Agassant J F and Poitou A 1994 A kinematic approach to distributive mixing  
Mixing and Compounding of
9. Polymer ed I Manas-Zloczower and Z Tadmor (New York: Hanser) p 52
10. Holmes M 2002 Twin screw extruder simulation programs—what can they offer?  
Plastics Additives Compound.
11. Vergnes B, Della Valle G and Delamare L 1998 A global computer software for  
polymer flows on corotating twin screw extruders Polym. Eng. Sci. 38 1781-92
12. Potente H and Flecke J 1997 Analysis and modelling of the residence time  
distribution in intermeshing co-rotating twin screw extruders based on finite  
element simulation Proc. ANTEC'97 Brookfield CT, I 110 (Toronto: Society of  
Plastics Engineers) Fluid flow aspects of TSE process 789 Lai-Fook R A, Li  
Y and Smith A C 1991 A 2-D numerical study of intermeshing self-wiping  
screws in biopolymer extruder Polym. Eng. Sci. 31 1157.
13. Lawal A, Railkar S and Kaylon D M 1999 3-D analysis of fully flighted screws  
of co-rotating twin screw extruder Proc. Soc. Plastic Eng. ANTEC'99 (New  
York, USA)

14. Yao C H and Manas-Zloczower I 1997 Influence of design on mixing efficiency in a variable intermeshing clearance mixer Int. Polym. Process. XII 92 (Germany: Hanser)
15. Wilson M P, Al-Malaika S, Generalis S C and Bruce D P 1996 Flow field analysis of some mixing element regions within a closely intermeshing, co-rotating twin-screw extruder Proc. 1996 5th World Congress of Chemical Engineers (San Digo) vol 4, pp 509-14
16. Rios A C, Gramman P J, Stanfield E and Osswald T A 1998 Comparative study of rhomboidal distributive mixing section using computer modelling Proc. ANTEC'98 Brookfield CT I 222 (Atlanta: Society of Plastics Engineers)
17. Rubin Y and Avalosse T 2000 Analysis of mixing in corotating twin screw extruder through numerical simulation, Intern. Polym. Process. XV 2 (Munich)
18. Sebastian D H and Rakos R 1992 Simulation of transport phenomena for kneading elements in twin-screw extruders Food Extrusion Science and Technology ed J L Kokini et al (New York: Marcel Dekker) pp 105-20
19. Gramman P J, Rios A C, Stanfield E and Osswald T A 2001 Comparative study of mixing in twin screw extruder using the boundary element method Proc. Boundary Elements XVII (Southampton: CM Publications)