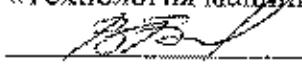


Федеральное агентство по образованию Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
Факультет «Механико-технологический»  
Кафедра «Технология машиностроения»

Заведующий кафедрой  
«Технология машиностроения»  
 В.И. Гусев  
«17» 06. 2016 г.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ РЕЗЬБЫ В ТОНКОЛИСТОВЫХ  
ЗАГОТОВКАХ ТЕРМИЧЕСКИМ СВЕРЛЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ПОДАЧИ ПОД ЗАДАННОЙ НАГРУЗКОЙ

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ


Направление 15.04.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»

Магистерская программа – «Технология автоматизированного  
машиностроения»

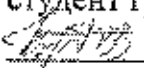
Рецензент:

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

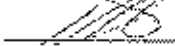
Рецензент:

  
«17» 06 2016 г.

Магистрант:

студент группы МТ-209  
 Ю.В.Казанцева  
«17» 06 2016 г.

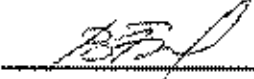
Научный руководитель:

к.т.н., доцент  
 П.В.Шаламов  
«17» 06 2016 г.

Челябинск  
2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА «Технология машиностроения»

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

  
В.И. Гузеев

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

ЗАДАНИЕ

по выпускной квалификационной работе (ВКР) студента

гр. МТ-204 - Факультет Механика  
ФИО Кузнецов Алексей Александрович

Направление 151900.68 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

1. Тема: Повышение прочности резьбы в титановых деталях: термическая обработка с применением порошков для химической обработки.
2. Утверждена приказом по университету от «15» апр. 2016 г. № 681
3. Срок сдачи студентом законченной ВКР 10 июня 2016 г.
4. Исходные данные к выпускной квалификационной работе

1. Чертеж детали, устройства, схема процесса, алгоритм, техническая литература по теме ВКР.
2. Материалы научно-исследовательской работы и практики; педагогической, производственной и научно-производственной практик.
3. СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Г.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Вилокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
4. ГОСТ 7.32-2001. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 16 с.
5. СТП ТМ 82-02-2011. Стандарт организации. Система управления качеством образовательных процессов. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования. / составители: В.И. Гузеев, Н.В. Сырейщикова, И.В. Сурков. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. – 49 с.
6. Подготовка магистерской диссертации: учебное пособие / Т.А. Аскалонова, А.В. Балащов, С.Л. Леонов [и др.]; под ред. Е.Ю. Татаркина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 248 с.

5. Содержание диссертации (объем от 50 – 150 листов машинописного текста)

Аннотация.
Содержание.
Введение.
<b>1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>
1.1. Формообразование отверстий в тонколистовых заготовках.
1.2. Формообразование отверстий с отбортовками термическим сверлением.
1.3. Цель и задачи исследования.
<b>2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ОТБОРТОВКАМИ ТЕРМИЧЕСКИМ СВЕРЛЕНИЕМ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ</b>
2.1 Методика изготовления инструментов и получения заготовок.
2.2 Описание экспериментальной установки.
2.3 Формообразование отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках термическим сверлением с применением подачи под заданной нагрузкой.
2.4 Общие выводы по главе.
<b>3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НИЖНИХ ОТБОРТОВОК ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ.</b>
3.1 Выбор математической модели.
3.2 Выбор факторов и интервалов их варьирования.
3.3 Определение коэффициентов уравнения регрессии, их значимости и адекватности моделей.
<b>4. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ОТБОРТОВКАМИ ТЕРМИЧЕСКИМ СВЕРЛЕНИЕМ</b>
4.1 Расчет прочности резьбового соединения на срез в отверстиях, образованных с подачей под заданной нагрузкой
4.2 Точность размеров отверстий сформированных термическим сверлением в листовых заготовках
4.3 Точность размеров отверстий сформированных термическим сверлением в листовых заготовках
4.4 Рекомендации по применению формообразования отверстий с отбортовками под резьбу термическим сверлением в тонколистовых заготовках с применением подачи под заданной нагрузкой
4.5 Экономическое обоснование ВКР
4.6 Рекомендации по применению формообразования отверстий с отбортовками под резьбу термическим сверлением в тонколистовых заготовках с применением подачи под заданной нагрузкой
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</b>

ПРИЛОЖЕНИЕ В
ПРИЛОЖЕНИЕ Г
* <i>Примечания.</i>
1. <i>Исходные данные и разрабатываемые вопросы формулируются конкретно, в соответствии с темой ВКР.</i>
2. <i>Количество разделов ВКР и их содержание согласовывается с руководителем магистранта.</i>

6. Перечень графического материала (диапазоны, приведенные во второй колонке заменить точным указанием обязательных чертежей).

Наименование листов	Кол-во листов (А1)
1. Исходные данные для разработки ВКР: чертежи и фотографии объекта, схемы и фотографии обработки, алгоритмы и т.п.	1... 2
2. Существующие методы решения проблемы, методики расчета объекта или его изготовления и их недостатки	1... 3
3. Цель и задачи работы.	1
4. Разработка моделей объекта или процесса его изготовления.	1... 4
5. Экспериментальные исследования	1... 4
7. Управление объектом: оптимизация решений, алгоритмы и программы	1... 4
8. Общие результаты и выводы. Научная и/или практическая ценность	1... 2
<i>Итого</i>	<i>10... 15</i>

### 7. Календарный план оформления ВКР

№ п/п	Наименование этапов оформления ВКР	Срок выполнения этапов работы (план)	Срок фактического выполнения	Подпись руководителя
<b>I</b>	<i>Записка ВКР</i>			
	Введение	15.02.2016	15.02.2016	<i>[Подпись]</i>
1	Общая часть	01.03.2016	01.03.2016	<i>[Подпись]</i>
2	Теоретическая глава	21.03.2016	21.03.2016	<i>[Подпись]</i>
3	Экспериментальная часть	18.04.2016	18.04.2016	<i>[Подпись]</i>
5	Управление объектом	30.04.2016	30.04.2016	<i>[Подпись]</i>
	Результаты и выводы	20.05.2016	20.05.2016	<i>[Подпись]</i>
<b>II</b>	<i>Графическая часть</i>			
1	Исходные данные (чертеж и фотографии объекта ВКР)	01.02.2016	01.02.2016	<i>[Подпись]</i>
2	Существующие методики расчета детали (изделия) или ее изготовления	01.03.2016	01.03.2016	<i>[Подпись]</i>

3	Цель и задачи работы.	15.03.2016	15.03.2016	
4	Разработка теоретических зависимостей, моделирование объекта.	30.03.2016	31.03.2016	
5	Экспериментальные исследования	18.04.2016	18.04.2016	
6	Управление и/или оптимизация параметров объекта, методики и/или алгоритмы расчета.	30.04.2016	30.06.2016	
7	Общие результаты и выводы, подготовка доклада.	10.05.2016	19.05.2016	
8	Подпись ВКР руководителем	10.06.2016	19.06.2016	
9	Предварительный просмотр ВКР, нормоконтроль, назначение рецензентов	15.06.2016	15.06.2016	
10	Рецензирование ВКР	17.06.2016	19.06.2016	
11	Защита ВКР	20.06.2016	20.06.2016	

8. Дата выдачи задания 12 февраля 2016 г.

Руководитель  Иванов И.В.

Студент  Кузнецов И.В.

Примечание: Заполнение плана оформляется в соответствии с содержанием ВКР и выдерживанием указанных сроков исполнения

## АННОТАЦИЯ

Казанцева Ю.В. Повышение прочности резьбы в тонколистовых заготовках термическим сверлением с применением подачи под заданной нагрузкой. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ, 2016. 77 с. 57 ил., библиогр. список – 34 наим. 36 плакатов - слайдов ф. А1, 7 листов.

В пояснительной записке дипломного проекта представлено исследование процесса формообразования отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках термическим сверлением. Изучены геометрические параметры образования отбортовок в отверстиях заготовок различной толщины (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 мм), образованных с применением подачи под заданной нагрузкой 50Н. Исследована прочность получаемой резьбы в отверстиях, изучена твердость металла в зоне образования отбортовок. Приведена методика изготовления заготовок и инструмента, описание экспериментальной установки и проведения экспериментов, описаны результаты экспериментов и сделаны соответствующие выводы, приведены рекомендации по использованию рассматриваемого метода в производстве. Было выяснено, что резьба, полученная в отверстиях с отбортовками, соответствует 7 степени точности по ГОСТ 16093-81, что является достаточным для резьбовых крепежей в машиностроении.

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР				
Игр.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Автор		Казанцева Ю.В.	<i>Ю.В. Казанцева</i>	16.06
Провер.		Шаламов П.В.	<i>П.В. Шаламов</i>	16.06
Реценз.				
И. Конст.				
Изобрет.		Резак В.И.	<i>В.И. Резак</i>	
Повышение прочности резьбы в тонколистовых заготовках термическим сверлением с применением подачи под заданной нагрузкой.				
			Лист	Листов
			1	1
ЮУрГУ Кафедра ТехМаш				

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в машиностроении и других отраслях широко применяются изделия из тонколистовых заготовок. В ряде случаев в таких изделиях необходимо сделать резьбовое отверстие для присоединения комплектующих деталей. Но нужно выяснить, будет ли такое отверстие выдерживать необходимую нагрузку.

Как известно, для того, чтобы резьба имела достаточную прочность, необходимо образовать 3-4 витка, что является невозможным в заготовках малой толщины - от 0,5 до 1,5 мм. Следовательно нужно увеличить длину свинчивания. Существуют различные способы увеличения длины свинчивания в отверстиях под резьбу в тонколистовых заготовках: гибка листов, приварка втулок, предварительная пробивка отверстий и другие методы. Однако существующие способы не обладают достаточной технологичностью. Применительно к тонколистовым заготовкам наиболее рационально применение способа формообразования отверстий методом пластического деформирования. Это позволяет исключить применение дополнительных элементов для увеличения длины свинчивания.

Известны способы [36 и др.] формообразования отверстий с отбортовками для нарезания резьбы в листовых заготовках термическим сверлением. Способы связаны с локальным нагревом заготовок за счёт сил трения и последующего пластического деформирования металла. В зарубежной практике эти способы нашли применение [30-35]. Однако предложенные материалы зарубежных фирм носят в основном рекламный характер. Способ формообразования отверстий с отбортовками в тонколистовых заготовках термическим сверлением не нашёл должного применения в отечественной практике, что можно объяснить недостаточным количеством проведённых исследований. Вследствие этого отсутствуют методики, которые позволяли бы разрабатывать технологию формообразования отверстий с отбортовками в тонколистовых заготовках термическим сверлением. Особенно актуальна эта проблема для отверстий, получаемых в тонколистовых заготовках толщиной 2,0 мм и менее, где длина свинчивания существенно влияет на прочность резьбового соединения.

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

## 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель настоящего исследования состоит в том, чтобы осуществить комплексный анализ существующих методов изготовления резьбовых отверстий в тонколистовых заготовках и выявить наиболее рациональный и экономически оправданный метод, для чего необходимо произвести обзор источников литературы по заданной теме. Это нужно для формулировки и детализации основных направлений исследования, для реализации исследовательского процесса как такового, чтобы выяснить, какие исследования в этой области уже проведены, а какие проводятся.

### 1.1. Формообразование отверстий в тонколистовых заготовках

В машиностроении широко применяются изделия из тонколистовых заготовок толщиной менее 2,0 мм (кожухи, кузова, крышки, ёмкости, задвижки, поддоны, коллекторы, теплообменники и др.), которые предусматривают резьбовое крепление к ним различных комплектующих деталей.

Одной из проблем работоспособности резьбового соединения является обеспечение длины свививания. Помимо этого основными геометрическими характеристиками, влияющими на прочность резьбового соединения на срез, являются диаметр резьбы  $d$  и ее шаг  $P$  (рисунок 1) [1].

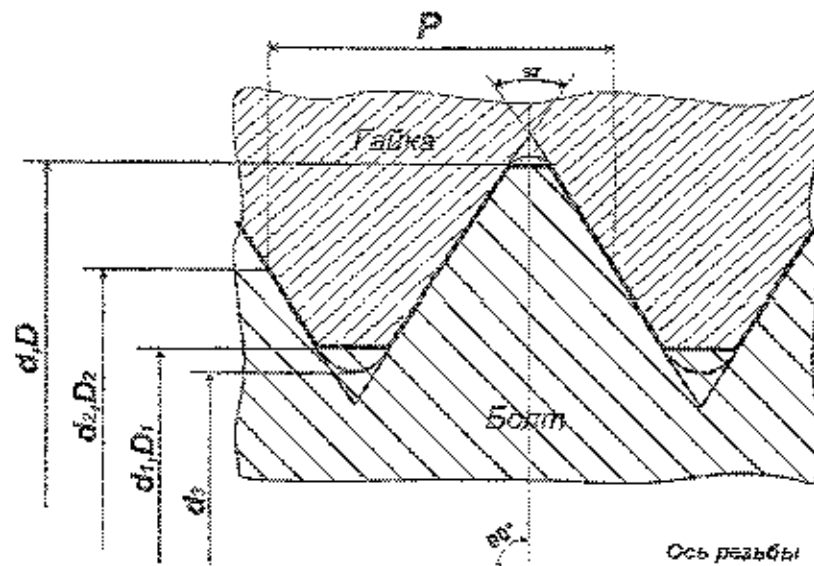


Рисунок 1.1 – Шаг, номинальные значения наружного, среднего и внутреннего диаметров резьбы в соединении болт - гайка

Распределение нагрузки между витками резьбы является одной из самых важных оценок конструктивного совершенства динамически нагруженных соединений. На рисунке 1.2 показано распределение нагрузки для гайки между 5-ю витками резьбы по мнению Г.Б. Иосилевича. Из рисунка видно, что нагрузка распределена достаточно неравномерно. Первый (от опорного торца гайки) виток резьбы несет свыше 33% нагрузки, а пятый лишь 8%. Этот результат впервые

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
12



получен профессором Н.Е.Жуковским в 1902г, неоднократно подтверждался экспериментами, а позднее - точным решением.

При увеличении высоты гайки от  $0,8d$  до  $2d$  нагрузка на первый виток снижается на 8-10%. Снижение нагрузки на первом витке приводит к пропорциональному повышению сопротивления усталости соединения. [2]

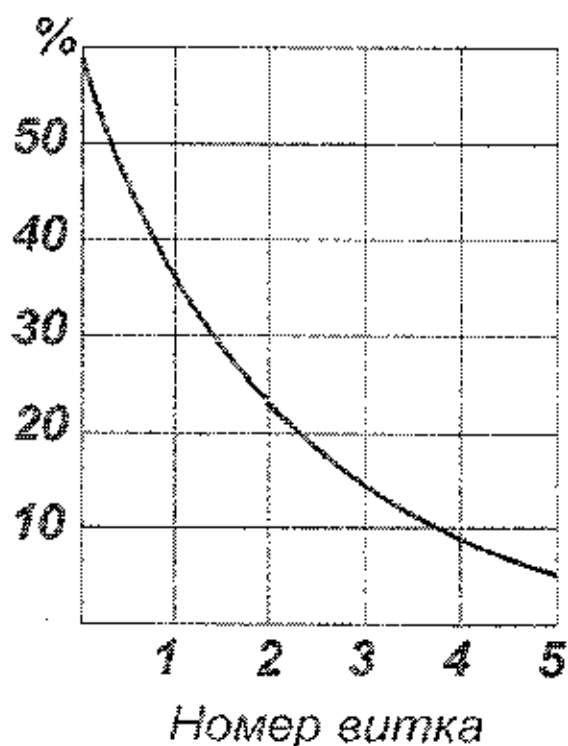


Рисунок 1.2 – Нагрузки на отдельные витки резьбы, в процентах от общей силы, для соединения типа болт-гайка.

Учитывая характер распределения нагрузки по виткам резьбового соединения, можно предположить, что на первые 3-4 витка резьбы в отверстии тонколистовой заготовки приходится более 70% нагрузки, тогда резьбовое соединение будет обеспечивать достаточную конструктивную прочность. Это можно осуществить различными способами. В основном для получения отверстий в тонколистовых заготовках используются методы пластического деформирования: штамповка в закрытых штампах, пробивка, механическое воздействие специальным инструментом.

Для увеличения длины свинчивания в резьбовых отверстиях тонколистовых заготовок и обеспечения необходимой прочности применяют различные способы повышения прочности соединения. Все существующие способы можно разделить на две группы:

- с использованием основного материала заготовки;
- с присоединением к заготовке дополнительных элементов.

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

### 1.1.2 Увеличение длины свинчивания за счёт приваривания втулки.

Приваривание втулки (рисунок 1.3) также позволяет увеличить длину свинчивания в два и более раза, но для этого необходимо оборудование и технологические приспособления для изготовления и приваривания втулки. Способ обладает малой производительностью, кроме того, не всегда есть возможность приваривать втулку (из-за нехватки места).

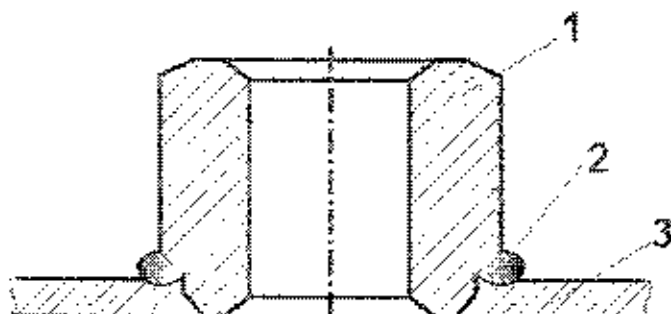


Рисунок 1.3 – Увеличение длины свинчивания при помощи приваривания втулки: 1 – втулка; 2 – сварной шов; 3 – заготовка [3]

### 1.1.3 Увеличение длины свинчивания за счет гибки листа.

Гибка листа (рисунок 1.4) позволяет увеличить длину свинчивания в два и более раза, но обладает рядом недостатков: повышенный расход материала, наличие линии сопряжения листов и малая производительность из-за необходимости дополнительной операции гибки листа. Кроме того, этот способ имеет узкую область применения, так как не всегда имеется возможность сделать загиб листа. [3]

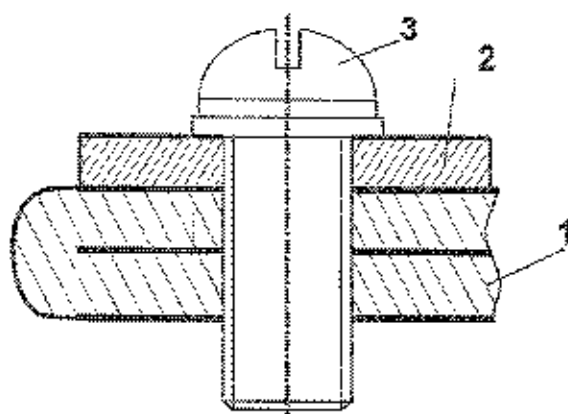


Рисунок 1.4 – Увеличение длины свинчивания за счет гибки листа: 1 – заготовка; 2 – накладка; 3 – винт [3]

### 1.1.4 Увеличение длины свинчивания за счёт приваривания гайки

Приваривание гайки (рисунок 1.5) также позволяет увеличить длину свинчивания в два и более раза, однако этот способ связан с относительно

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

## SUMMARY

Kazantseva Y.V. Increase of durability of a carving in sheet blanks thermal drilling using filing under the specified load – Chelyabinsk: SUSU, MT, 2016. 77 page. 57 ill., bibliographic list - 34., 36 posters £ A1, 7 sheets.

In an explanatory note of the degree project presents an investigation of the process forming tap holes by rotating punch in thin sheet workpieces. Geometrical parameters of the formation crimp holes in workpieces of different thicknesses (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm) formed from the feed using a predetermined load 50N were considered. Thread investigated strength received in holes studied hardness within the area of the metal crimp. Method of manufacture of workpieces and tools, description of the experimental setup and experimentation, describes the results of experiments and made appropriate findings, provides guidance on how to use this method in production. It was found that thread received in holes flare corresponds to 7 degree of accuracy in accordance with GOST 16093-81, which is sufficient for threaded fasteners in mechanical engineering.

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Повышение прочности резьбы в тонколистовых заготовках термическим сверлением с применением подачи под заданной нагрузкой.	Лист	Листа	Листов
Разраб.		Казанцева Ю.В.	<i>[Signature]</i>	15.06				
Провер.		Шаламов П.В.	<i>[Signature]</i>	17.06				
Реценз.								
Н. Кондр.								
Утверд.		Дубров В.В.				ЮУрГУ Кафедра ТехМаш		

ОГЛАВЛЕНИЕ	
ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
1.1. Формообразование отверстий в тонколистовых заготовках.....	12
1.1.2 Увеличение длины свинчивания за счёт приваривания втулки.....	14
1.1.3 Увеличение длины свинчивания за счёт гибки листа.....	14
1.1.4 Увеличение длины свинчивания за счёт приваривания гайки.....	14
1.1.5 Отбортовка с предварительной пробивкой отверстия.....	15
1.1.6 Холодная объёмная штамповка в закрытых штампах (рисунок 1.7).....	16
1.2 Формообразование отверстий с отбортовками термическим сверлением.....	16
1.3 Цель и задачи исследования.....	25
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ОТБОРТОВКАМИ ТЕРМИЧЕСКИМ СВЕРЛЕНИЕМ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ.....	26
2.1. Методика изготовления инструментов и получения заготовок.....	26
2.2 Описание экспериментальной установки.....	29
2.3 Формообразование отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках термическим сверлением с применением подачи под заданной нагрузкой.....	34
2.4 Общие выводы по главе.....	43
3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НИЖНИХ ОТБОРТОВОК ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ.....	44
3.1 Выбор математической модели.....	44
3.2 Выбор факторов и интервалов их варьирования.....	44
3.3 Определение коэффициентов уравнения регрессии, их значимости и адекватности моделей.....	46
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ОТБОРТОВКАМИ ТЕРМИЧЕСКИМ СВЕРЛЕНИЕМ.....	49
4.1 Расчет прочности резьбового соединения на срез в отверстиях, образованных с подачей под заданной нагрузкой.....	49
4.2 Проверка прочности резьбового соединения на срез.....	51
4.3 Точность размеров отверстий сформированных термическим сверлением в листовых заготовках.....	62

4.4 Рекомендации по применению формообразования отверстий с отбортовками под резьбу термическим сверлением в тонколистовых заготовках с применением подачи под заданной нагрузкой .....	65
4.5 Экономическое обоснование ВКР.....	67
4.6 Рекомендации по применению формообразования отверстий с отбортовками под резьбу термическим сверлением в тонколистовых заготовках с применением подачи под заданной нагрузкой .....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ .....	73
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	74
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	
ПРИЛОЖЕНИЕ В	
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	

					15090062.2016.1887.420 ЛЗ ВКР	Лист
Илл.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

сложной подготовкой – необходимо оборудование и технологическая оснастка для изготовления и приваривания гайки. Из-за этого способ обладает малой производительностью, кроме того, не всегда есть возможность приваривать гайку (из-за нехватки места).

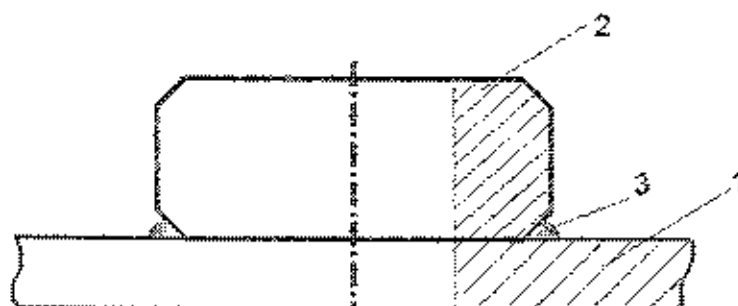


Рисунок 1.5 – Увеличение длины свинчивания при помощи приварки гайки: 1-гайка; 2 – заготовка; 3- сварной шов [3]

### 1.1.5 Отбортовка с предварительной пробивкой отверстия

Один из самых распространенных способов получения резьбовых поверхностей в отверстиях заготовок, изготовленных из листового металла, а также широко применяется для изготовления цилиндрических баков, патрубков, крышек с отверстиями и т.д. [4] (рисунок 1.6). Деформация металла при отбортовке характеризуется изменением радиально-кольцевой сетки, нанесенной на заготовку. При отбортовке отверстий происходит удлинение в тангенциальном направлении и уменьшение толщины. Более тонкой получается кромка борта. Однако данный способ несовершенен, так как не обеспечивает желаемых прочностных качеств резьбового отверстия. Этим способом невозможно получить достаточную высоту отверстия под резьбу из-за недостатка материала в зоне штампуемого отверстия. Цилиндрическая часть отверстия получается недостаточной для нарезания прочной резьбы с соответствующим числом витков.

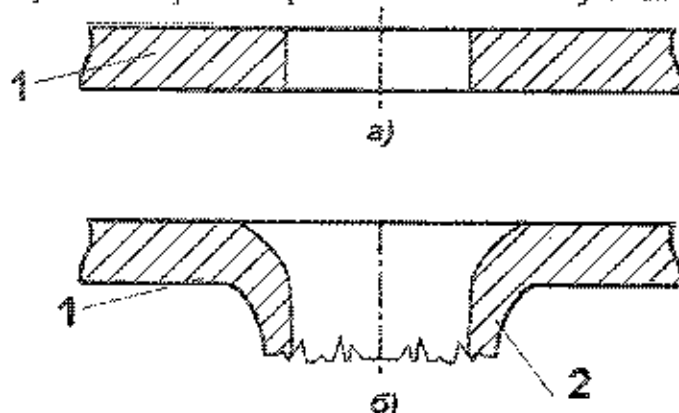


Рисунок 1.6 – Отбортовка с предварительной пробивкой отверстия: а) до пробивки, б) после пробивки; 1– заготовка, 2– борт; [4]

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
15

### 1.1.6 Холодная объёмная штамповка в закрытых штампах (рисунок 1.7)

По мнению Я.З. Вадеева [7], холодная объёмная штамповка в закрытых штампах является наиболее совершенным способом образования отверстий под резьбу в листовом материале с экономической и качественной точки зрения. При данном способе предварительное отверстие не пробивается (не сверлится), следовательно, материал из зоны отверстия в отход не идет, а полностью расходуется на образование борта. Выдавливаемый пуансоном материал перераспределяется в кольцеобразной полости, в глухой матрице, высота отверстия получается достаточной для нарезания резьбы с необходимым количеством витков. Остающаяся на дне отверстия пленка пробивается метчиком при нарезании резьбы. Недостатками этого способа являются необходимость предварительной подготовки производства (изготовление штампа), необходимое прессовое оборудование и оснастка. Кроме того, этим способом невозможно увеличение длины свинчивания в замкнутом профиле.

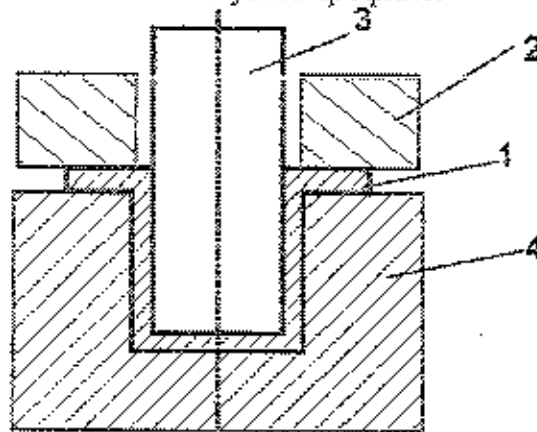


Рисунок 1.7 – Холодная объёмная штамповка в закрытых штампах:  
1 – заготовка; 2 – штамп; 3 – пуансон; 4 – пластина [7]

Все вышелперечисленные способы увеличения длины свинчивания не являются достаточно технологичными, так как требуют применения сложного оборудования и технологической оснастки, что подразумевает повышение себестоимости и увеличение затрат времени. Также ни один из представленных способов не пригоден для формирования отверстия в замкнутом объёме и в труднодоступных местах. Способ увеличения длины свинчивания в отверстиях под резьбу в тонколистовых заготовках за счёт пластического деформирования листовой заготовки вращающимся пуансоном является решением данной проблемы.

### 1.2 Формообразование отверстий с отбортовками термическим сверлением

Впервые идею об использовании тепла, выделяющегося в результате трения металлов для формообразования отверстий с отбортовками, сформулировал в 30-х годах XX века голландский инженер Жан Клод Де Вальер. Несмотря на то, что ему удалось разработать инструмент для формообразования отверстия с

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

отбортовками, осуществить свою идею на практике и внедрить данную технологию в производство не удалось.

С помощью формовки отверстий могут быть созданы отверстия с толщиной стенок до 12мм. Длина стенок полученных отверстий в 4 раза превышает исходную толщину металла при диаметрах от 1,8 до 32мм. Процесс формовки трением основан на комбинации осевого усилия и вращения с относительно высокой скоростью, вызывающего локальное разогревание под действием трения, что делает металл пластичным и позволяет пуансону проникать сквозь металл за считанные секунды. (Рисунок 1.8) [5]

К достоинствам формообразования отбортовок термическим сверлением в листовом металле следует отнести относительно высокую производительность и безотходность. Коэффициент использования металла равняется 1. Для выполнения данной операции не требуется специального оборудования, метод позволяет изготавливать отверстия с отбортовками в труднодоступных местах. [8]

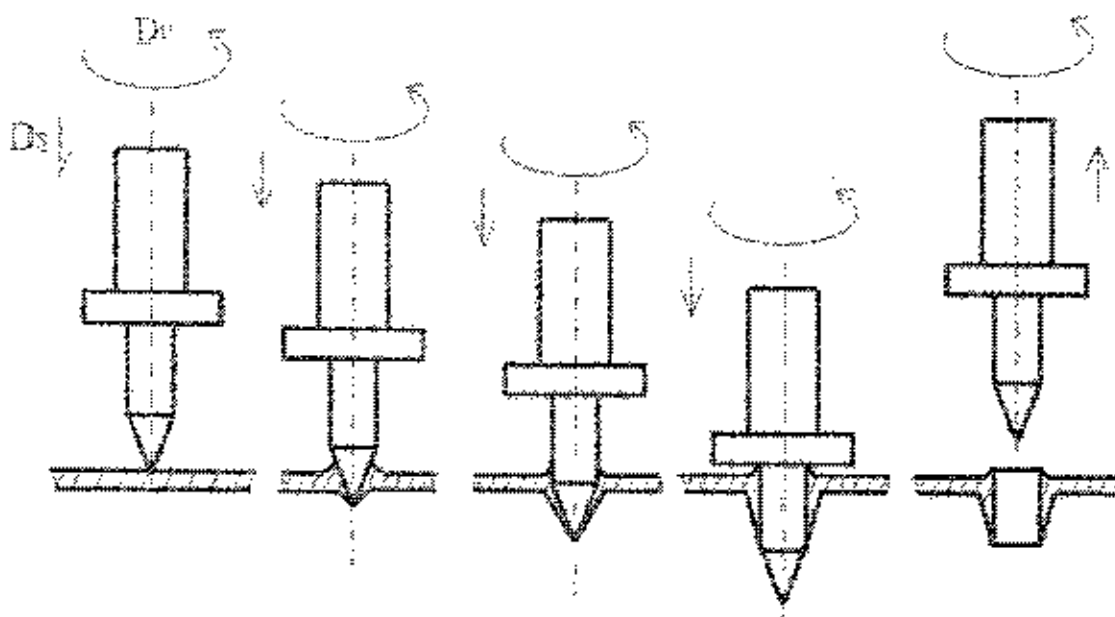


Рисунок 1.8 – Схема получения отбортовок пластическим деформированием  
 $D_v$  – осевое вращение инструмента,  $D_s$  – движение подачи

Этот метод увеличения длины свинчивания в тонколистовой заготовке используют компании FormDrill, CentreDrill. При вращательном и поступательном движении наконечника возникает трение, которое нагревает инструмент и заготовку до высокой в несколько сотен градусов температуры. Естественно, такая температура может вызвать перегрев, чтобы подобное не произошло используется цанговый патрон с охлаждающим радиатором. [9]

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
17



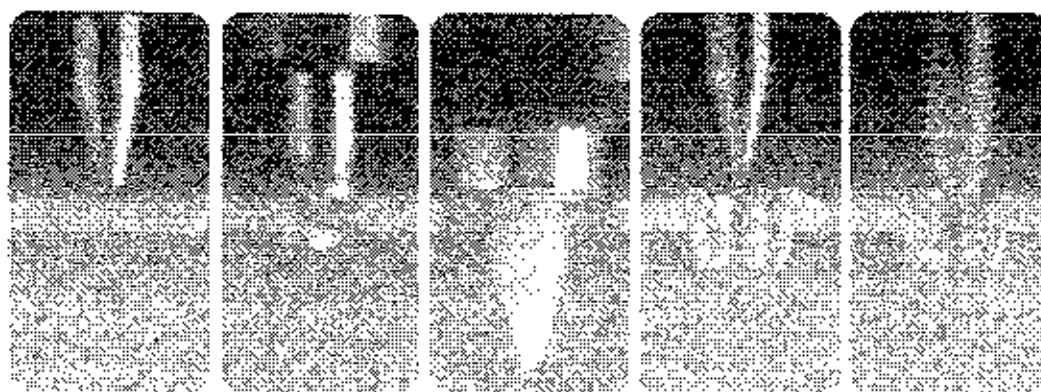


Рисунок 1.9 – Этапы формирования отверстия с отбортовками пуансоном

Этап 1. Вначале пуансон Centerdrill располагается над намеченным отверстием.

Этап 2. За счет подачи и скорости вращения пуансона, возникает нагрев металла до температуры достаточной для придания материалу пластичности. После чего Centerdrill проникает в материал за считанные секунды.

Этап 3. Centerdrill вытесняет металл в горизонтальном и вертикальном направлениях, преимущественно вниз, формируя втулку. Постепенно осевая сила уменьшается, а подача увеличивается по мере проникновения в металл. Подразумевается применение адаптивного управления на станке с ЧПУ, но не указываются технологические параметры и режимы обработки.

Этап 4. В итоге получается законченная втулка. Материал, вытесненный в противоположную сторону от подачи, преобразуется в обрамляющий бортик в форме кольца. Это кольцо может быть срезано в процессе аналогичной операции формовки отверстия в случае использования специального торцующего пуансона Centerdrill, который имеет режущую площадку на пояске.

Этап 5. Втулка готова для формовки резьбы при помощи бесстружечного метчика Centertap. Формируемая при помощи холодной деформации резьба повышает твердость материала за счет наклепа. [6]

В результате имеем резьбовое соединение, способное выдерживать большой момент затягивания без сверления и последующего приваривания винтовой гайки.

Использование операций термического сверления и накатывания резьбы дает следующие преимущества перед другими способами получения резьбовых отверстий в тонкостенных металлических профилях:

- Экономия времени
- Возможность работать с тонкими профилями
- Повышенная прочность резьбы (формовка резьбы)
- Отверстия с гарантированным зазором
- Неразъемные соединения - основной материал остается без инородных примесей
- Отсутствие необходимости использования укрепляющей сквозной сверки или приваривания винтовой гайки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
18

- Меньший износ, чем у разъемных соединений
- Использование только одного материала, что позволяет избежать электрохимической коррозии
- Высокая допустимая нагрузка подшипниковых втулок

Сформировать крепление при помощи наконечника и метчика возможно в изделиях с толщиной стенки от 1 до 10 мм и изготовленных из большинства видов черных и цветных металлов, включая малоуглеродистую сталь, нержавеющую сталь, медь и алюминий.

По виду наконечники можно разделить на два вида: обычный и срезающий наконечник (рисунок 1.10). В отличие от обычного наконечника, срезающий наконечник удаляет кольцевой буртик с передней поверхности заготовки, в которой формируется отверстие. Так же они различаются по длине. В зависимости от толщины материала используется короткий или длинный наконечник.

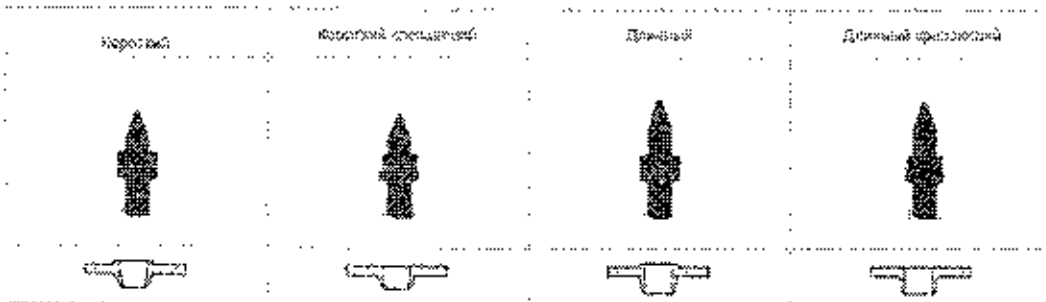


Рисунок 1.10 – Виды наконечников пуансона

Простота, универсальность и долговечность инструмента и оснастки, отсутствие образования стружки при термическом сверлении позволяет эффективно применять данную технологию как при массовом производстве на автоматизированном оборудовании, а так и при опытных единичных испытаниях.

Следующим шагом в формировании крепления тонкостенной детали является накатывание резьбы. Накатывание внутренней резьбы бесстружечными метчиками – это один из наиболее производительных способов образования резьбы в деталях (рисунок 1.11) позволяет уменьшить трение и обеспечить легкий доступ смазочного материала в зону деформирования.

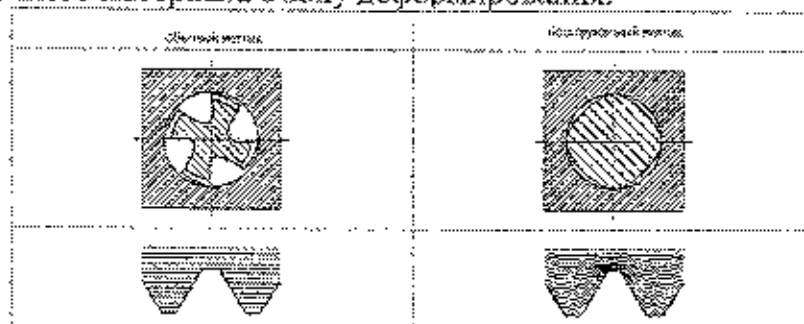


Рисунок 1.11 – Геометрия метчиков и структура получаемой резьбы

В отличие от процесса нарезания резьбы при накатывании материал подвергается пластическому деформированию с усилием, превышающим предел текучести, что делает процесс необратимым. Образуется наклеп, благодаря

которому увеличивается усталостная прочность и износостойкость поверхности резьбы. Здесь так же уместно обратить внимание на то, что при накатывании, отверстие под резьбу сверлится с несколько большим диаметром, чем под нарезание резьбы обычным метчиком. Это обусловлено тем, что при накатке резьбы, материал заготовки перемещается, подвергаясь пластическому деформированию, а не удаляется, как при нарезании обычным метчиком.

Данный способ изготовления резьбы имеет некоторые специфические особенности. Одним из основных факторов, определяющих эффективность процесса накатывания внутренней резьбы, является охлаждение-смазывание. Правильный выбор смазочно-охлаждающей жидкости является очень важным фактором, обеспечивающим работоспособность бесстружечных метчиков. Чем эффективнее охлаждение и смазывание метчика в процессе обработки, тем выше его стойкость и лучше качество получаемого резьбового отверстия.

Использование комбинации операций термического сверления и накатывания резьбы несет в себе определенные преимущества, такие как:

- формирование отверстий и резьбы без образования стружки;
- высокая точность и низкая шероховатость отверстия и резьбы;
- высокая производительность;
- высокая стойкость инструмента (при соблюдении рекомендуемых режимов работы, наконечник – 10 000 отверстий, метчик – 20 000 отверстий);
- не требуется дополнительного спец. оборудования и может производиться на любом сверлильном или фрезерном станке;
- высокая прочность резьбы;

Однако весь метод, описанный кампанией Formdill, имеет множество недостатков:

- не указывается прочность получаемого соединения;
- обработка ведется с применением принудительной подачи, что может вызвать деформацию тонколистовых заготовок;
- не указываются геометрические параметры инструментов и состав технологической охлаждающей жидкости;
- применяются станки 5го поколения мощностью 8000 - 10000 об/мин
- информация, представленная кампанией, носит больше рекламный характер, нежели практический.

В работе [12] описывается способ получения множества отверстий в тонколистовой заготовке автоматизированно на прессе с ЧПУ, где передвигается сама заготовка, а высота получаемых отбортовок регулируется матрицей нужной формы. После смены инструмента и матрицы возможно нарезание резьбы в полученных отверстиях на том же станке (рисунок 1.14). Это комбинированные станки Trumpf производственного ряда Trumatic Laser-Press [13], объединяющие координатно – пробивные прессы и лазерную резку в одной CNC установке.

В отечественной и зарубежной литературе предложен ряд способов получения отверстий с отбортовками термическим сверлением. Например, в

работе [13 А.с. 637178 СССР, МКИ В 21Д19/00. Способ отбортовки / А.И. Прагер, Ю.Г. Буров, Л.Н. Дубровин, И.С. Щенев. – №2503254/25-27; заявл. 20.05.77; опубл. 15.12.78. Бюл. №46.] способ осуществляют следующим образом. Тонколистовую заготовку с замкнутым контуром укладывают на матрицу. Вращающийся инструмент подводят к заготовке до соприкосновения с ее верхней плоскостью с усилием контакта, не превышающим значение усилия, необходимого для изгиба плоскости заготовки в продольном сечении. В точке контакта создается температура на 150-200 °С ниже ковочной и с наступлением стационарного режима теплопередачи в поперечном сечении заготовки по истечении расчетного времени производят деформацию вращающимся инструментом, который становится (в данном случае) точечным источником тепла постоянной мощности. Расчетное число оборотов для стальных заготовок толщиной 1 - 2 мм 3500 об/мин.

Способ позволяет качественно отбортовывать отверстия: без трещин и разрывов по периметру кромки, с частотой внутренней поверхности не ниже 8-го класса за один технологический прием, с высотой борта не менее трех толщин без учета толщины самой заготовки в плоских или пространственных листовых заготовках, в том числе и с замкнутым контуром.

Недостатками указанного способа являются необходимость выполнения в заготовке предварительного отверстия, ограниченная высота получаемого борта, а также возможность разрыва борта из-за наличия растягивающих напряжений на кромках отбортовываемого отверстия заготовки.

В работе [14.] описывается способ получения множества отверстий в тонколистовой заготовке автоматизированно на прессе с ЧПУ, где передвигается сама заготовка, а высота получаемых отбортовок регулируется матрицей нужной формы. После смены инструмента и матрицы возможно нарезание резьбы в полученных отверстиях на том же станке (рисунок 1.15). Это комбинированные станки Trumpf производственного ряда Trumpatic Laser-Press [15], объединяющие координатно – пробивные прессы и лазерную резку в одной CNC установке. Однако информация, представленная компанией, носит более рекламный характер, нежели практический.

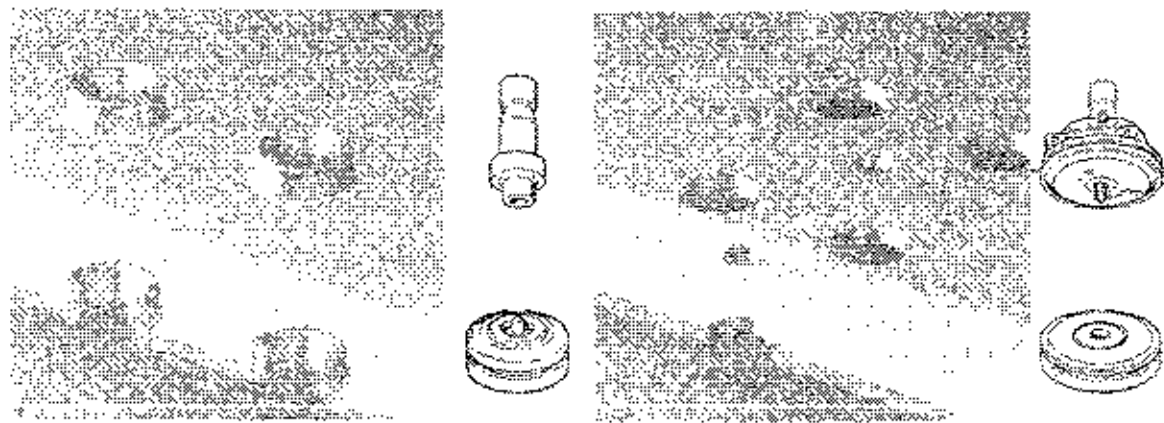


Рисунок 1.12 – Получаемые отверстия, пуансоны и матрицы к ним [15]

В работе [16] рассматриваются особенности технологии обработки отверстий в листовых заготовках. Инструментом служит стержень конической формы, которому сообщается вращение со скоростью 0,6...0,9 м/с (на станках с ЧПУ) или 1,3...1,45 м/с (на обычных). При толщине листа 2,0 мм скорость подачи может составлять в начале обработки 100 мм/мин, а в конце процесса повышаться до 1000 мм/мин. При проникновении в лист инструмент вытесняет материал заготовки в стороны, в результате чего на верхней и нижней сторонах листа образуются кольцевые выступы. Предложен график изменения сил резания инструмента в ходе сверления (до 1000 Н). В изготовленных таким способом отверстиях можно нарезать резьбу бесстружечным метчиком.

В работе [17] утверждается, что способ позволяет качественно обработать отверстия с точностью внутренней поверхности не ниже 8-го качества за один технологический переход с высотой борта не менее трёх толщин листа без учёта толщины самой заготовки в плоских и пространственных листовых деталях, в том числе и с замкнутым контуром. Автором предложен инструмент для изготовления отверстий в листовых заготовках [18]. Предложенный способ не может быть применим в условиях любого производства в силу малой распространённости необходимого оборудования.

В работе [19] предложен новый способ изготовления отбортовок в тонколистовых заготовках термическим сверлением. Сущность способа заключается в использовании теплоты трения, возникающей при контакте инструмента с заготовкой. Рабочая часть пуансона имеет коническую форму. Предварительно в заготовке просверливается отверстие. В результате осевого перемещения вращающегося пуансона в заготовке образуется отверстие с бортами, высота которых составляет около четырёх толщин заготовки. Способ рекомендуется применять для изготовления отбортованных отверстий в заготовках толщиной 0,3 – 2,0 мм. Наряду с описаниями вышеприведённых способов приводятся их модели. Автором предложено уравнение для определения частоты вращения пуансона с учётом разности температур на верхней и нижней поверхностях заготовки, осевой силы, коэффициента трения и угла конусности инструмента. Необходимо отметить, что в предложенное уравнение входят разность температур на верхней и нижней поверхностях заготовки. Однако эта разность из-за существенной теплопроводности материала будет незначительной и практически не влияющей на процесс формообразования отверстия при толщинах заготовки 0,3 – 2,0 мм. Кроме того, входящий в уравнение коэффициент трения для процесса формообразования отверстий термическим сверлением неизвестен, что не позволяет вести практические расчёты.

В работе [20] изучен износ инструмента из карбида вольфрама при сверлении трением заготовки из низкоуглеродистой стали. Характеристики износа инструмента определяются путем измерения изменений веса инструмента, изменений его формы с помощью координатно-измерительной машины, и делая наблюдения по износу с помощью сканирующей электронной микроскопии. Энергия рассеивающего спектрометра применяется для анализа изменения в химическом составе поверхности инструмента вследствие сверления. Кроме того,

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Дата	ИР докум.	Подпись	Лист		22

осевая нагрузка и крутящий момент во время сверления и размер отверстий периодически измеряются, чтобы контролировать износ инструмента. Результаты показывают, что инструмент из карбида прочен - минимальный износ инструмента появляется после сверления 11000 отверстий, но наблюдения также указывают на прогрессивном появлении канавок на кончике инструмента. Данное исследование узконаправленное, посвящено изучению износа инструмента при сверлении трением.

Автор работы [21] приводит описание экспериментов по термическому сверлению в заготовках из нержавеющей стали толщиной 2 мм пуансоном с некоторым множеством граней по поверхности конусной части для улучшения площади контакта с просверливаемой заготовкой и снижения сил резания и обычным твердосплавным сверлом с целью сравнения их эффективности работы. Описанные в работе исследования доказали, что при термическом сверлении время процесса образования отверстия сокращается, срок службы инструмента выше в несколько раз, за счет допущенного износа рабочей части инструмента получаемая шероховатость поверхности на заготовке меньше. В данной работе режимы сверления не изучаются.

В работе [22] автор сравнивает сверление в тонколистовой заготовке из нержавеющей стали инструментами с AlCrN- и TiAlN-покрытием. Теплопроводность AlCrN ниже, чем у TiAlN [23], но теплопроводность AlCrN и TiAlN ниже, чем у карбида вольфрама. Тепло, производимое в процессе сверления, может легко рассеиваться через режущий инструмент, что приводит к более низкой температуре поверхности заготовки. Тем не менее, инструменты с покрытием с низкой теплопроводностью, такого как AlCrN, как правило, сохраняют тепловую энергию, произведенную во время работы, и, следовательно, имеют более высокую температуру сверления. Однако автор отмечает, что при увеличении числа опытов разница в температуре поверхности между инструментами с покрытием и без покрытия становится меньше, т.к. поверхность стареется.

В работе [24] исследование посвящено изучению процесса сверления трением, нетрадиционный метод получения отверстия с "втулкой" за одну стадию. Исследовались два сплава: алюминиевые и магниевые, они являются хрупкими по сравнению с пластичным материалом заготовки, используемой в предыдущих исследованиях. Техническая задача состоит в том, чтобы создать втулку цилиндрической формы без значительного радиального разрушения или образования лепестков. Были предложены две идеи - предварительный нагрев заготовки и высокоскоростное сверление трением. Были проанализированы влияния температуры заготовки, скорость шпинделя и скорость подачи на экспериментальную осевую силу, крутящий момент и форму втулки. Осевая сила и крутящий момент уменьшаются, а форма втулки улучшается с повышением температуры заготовки. Изменение скорости вращения шпинделя показывает неоднозначные результаты при формировании отверстий в обоих рассмотренных материалах. Энергия, средняя мощность и максимальная мощность, необходимые для сверления трением были рассчитаны и проанализированы, чтобы

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
И.И.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23



продемонстрировать количественно преимущества заготовки с предварительным нагревом и высокой скоростью вращения шпинделя при сверлении трением.

В работе [25] производится описание обработки отверстий в тонколистовых заготовках с одновременным формированием буртиков с двух сторон заготовки. Для этой цели используется вращающийся инструмент, имеющий сферическую вершину, конический и цилиндрический участки, а также кольцевой поясок. При вращении инструмента, в контакте с поверхностью детали, выделяется тепло, нагревающее заготовку, а осевая подача инструмента позволяет получить отверстие, диаметр которого равен диаметру цилиндрической части инструмента. Выдавленный вниз металл образует нижний буртик, а кольцевой поясок инструмента формирует верхний буртик с плоской поверхностью.

Помимо вышерассмотренных способов, существует и множество других вариантов получения отверстий с отбортовками термическим сверлением. Например, в работе [8] способ осуществляют следующим образом.

Трубная заготовка (толщина стенки 1 мм) укладывается на опоры. Вращающийся инструмент подводят до соприкосновения с верхней поверхностью заготовки с усилением контакта, не вызывающим изгиба в продольном сечении. В точке контакта создается температура ниже температуры горячей деформации на 150-200о и с наступлением стационарного режима теплопередачи в поперечном сечении заготовки, производят деформацию вращающимся инструментом одновременно принудительно охлаждая нижнюю поверхность деформируемого участка заготовки проточной водой. Охлаждаемая нижняя поверхность деформируемого участка создает подпор металлу, нагретому до температуры горячей деформации и под действием пуансона он вытесняется вверх. Так как вращающийся пуансон является точечным источником тепла постоянной мощности и перемещается вниз, то практически весь разогретый металл перемещается вверх.

Способ позволяет качественно отбортовывать отверстия: без трещин и разрывов по периметру кромки, с частотой внутренней поверхности не ниже 8-го класса за один технологический прием, с высотой борта не менее трех толщин без учета толщины самой заготовки в плоских или пространственных листовых заготовках, в том числе и с замкнутым контуром. [8]

В работе [7] автор провел исследования в этой малоизученной области и решил следующие задачи:

- определены технологические параметры, существенно влияющие на формообразование и размеры отверстий;
- проведено численное моделирование механизма формообразования отверстий;
- установлена взаимосвязь геометрических параметров отверстия с длиной свинчивания и прочностью резьбового соединения на срез;
- разработана методика по использованию способа формообразования отверстий в производстве.

После ознакомления с этими исследованиями можно выделить следующие замечания:

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист 24
Изд.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- исследования проводились только к одному материалу заготовок;
- не рассмотрено применение принудительной подачи инструмента;
- не рассмотрено влияние углов заточки инструмента на технологические параметры операции и на геометрию получаемых отбортовок.

В связи с этим сформулируем следующие задачи и цель данного проекта.

### 1.3 Цель и задачи исследования

Способ формообразования отверстий с отбортовками термическим сверлением в листовых заготовках широко используется в России и за рубежом. Сделано множество открытий в данной области, но различные параметры процесса формирования отверстий в тонколистовых заготовках термическим сверлением изучены не в полной мере.

**Цель работы:** Обеспечение прочности резьбового соединения в тонколистовых заготовках термическим сверлением при рассмотрении влияния подачи под заданной нагрузкой на геометрию получаемых отбортовок, температуру и осевую силу процесса.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить стадии процесса
2. Определить геометрию отбортовок, полученных под заданной нагрузкой в заготовках толщиной 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мм.
3. Сравнить расчетную и экспериментальную прочность резьбового соединения на срез.
4. Определить микротвёрдость материала заготовки в зоне образования отбортовок.
5. Дать экономическое обоснование данному исследованию.
6. Определить возможность применения метода на практике, рассчитать поле рассеивания полученных диаметров отверстий.

*7. Моделировать экспериментально высоту чашечек отбортовок в зоне фрезинга.*

						15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	лист
							25
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата			



## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ОТБОРТОВКАМИ ТЕРМИЧЕСКИМ СВЕРЛЕНИЕМ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ

В данной главе приводится методика изготовления заготовок и инструмента, описание экспериментальной установки и проведения экспериментов, результаты и выводы по ним.

### 2.1. Методика изготовления инструментов и получения заготовок

Для изготовления инструментов в качестве заготовки использовались шестигранные стержни из твердого сплава ВК6 ГОСТ 3882-74 (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Твердосплавные стержни

Для проведения экспериментов был изготовлен инструмент (пуансон) с углом заточки -  $20^\circ$  и предохранительным конусом  $60^\circ$  (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Инструмент

На вершине инструмента изготавливался предохранительный конус с углом  $60^\circ$  для предотвращения скалывания инструмента и увеличения площади контакта инструмента и заготовки. Для получения необходимых размеров инструмент затачивался на универсально-заточном станке ЗЕ642А (рисунки 2.3, 2.4). Этот станок предназначен для заточки и доводки основных видов режущего инструмента из инструментальной стали, твердого сплава и металлокерамики абразивными, алмазными и алмазоборными кругами. Станки могут быть оснащены приспособлениями, в том числе приспособлениями для плоского, круглого наружного и внутреннего шлифования, и системой отсоса пыли. Станок ЗЕ642Е имеет гидравлический привод продольного перемещения стола, а также укомплектован системой подачи охлаждающей жидкости.

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист 26
Илл.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

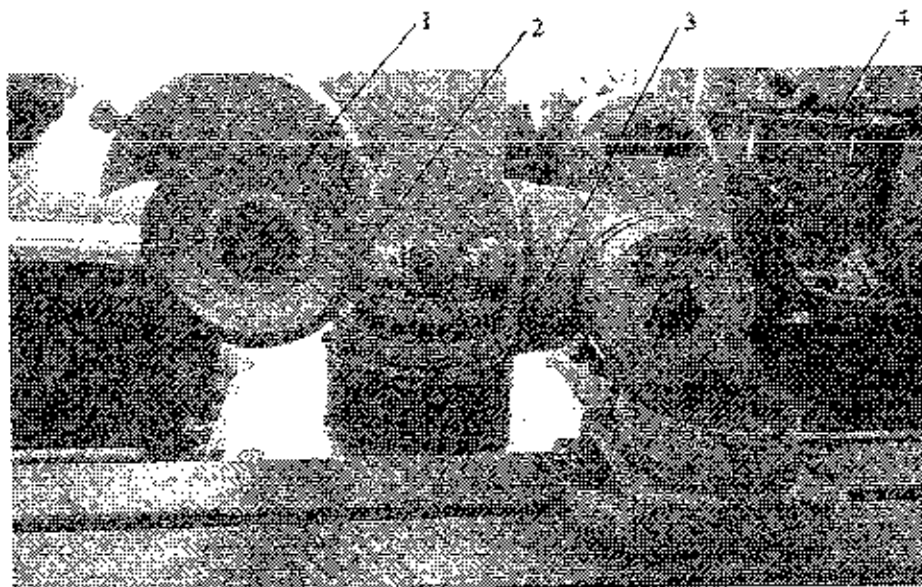


Рисунок 2.3. – Станок 3E642A: 1 - шлифовальный круг; 2 - заготовка; 3 – стол для перемещения; 4 - приспособление для заточки инструмента;

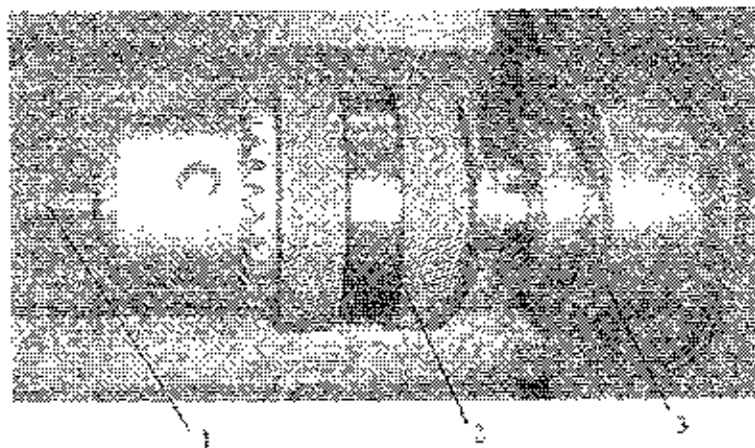


Рисунок. 2.4 – Закрепление заготовки - 1 - заготовка; 2 – патрон, 3-оснастка;

В качестве инструмента для заточки был выбран шлифовальный круг, который выпускается в соответствии с ГОСТ Р 52781-2007 (рисунок 2.5). Шлифовальные круги применяются в инструментах с вращательным рабочим движением. Это абразивные круги, предназначенные для шлифования поверхностей обрабатываемых деталей, в том числе обдирки верхнего слоя, а также для заточки зубцов режущего инструмента и шлифовки зубьев шестерен. Размеры кругов определяются размерами деталей, которые подлежат обработке.

В маркировку шлифовального круга обычно включают марку абразивного материала, номер зернистости, степень его твердости, а также вид связки, допустимую окружную скорость и размер круга. [10]

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист 27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

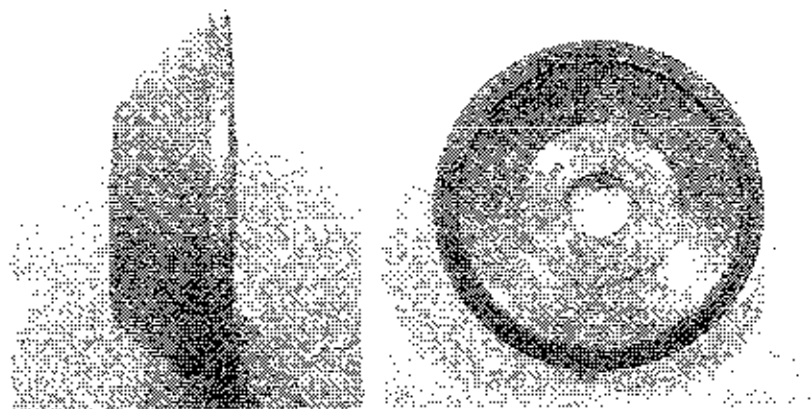
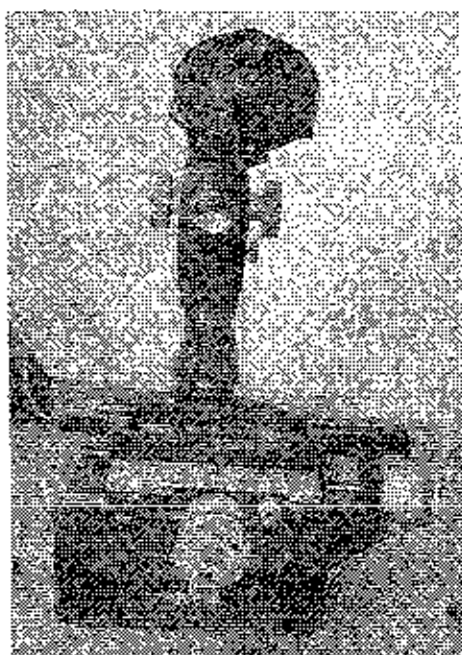
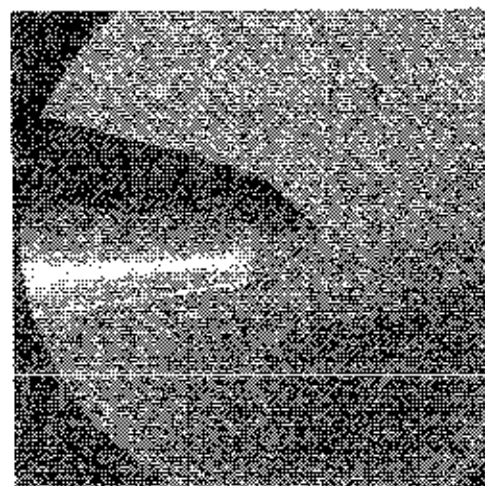


Рисунок 2.5 – Шлифовальный круг

Углы и диаметральные размеры инструмента проверялись на малом инструментальном микроскопе (рисунок 2.6).



а)



б)

Рисунок 2.6 – Измерения на микроскопе: а)- микроскоп; б) - вид из микроскопа

Заготовки для формообразования отверстий под резьбу изготавливались из листового проката марки 08 кп ГОСТ 16523-89 толщиной 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Они нарезались на пластинки 50×40 мм ручной ножовкой из полос, закрепленных в тисках (рисунок 2.7).

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

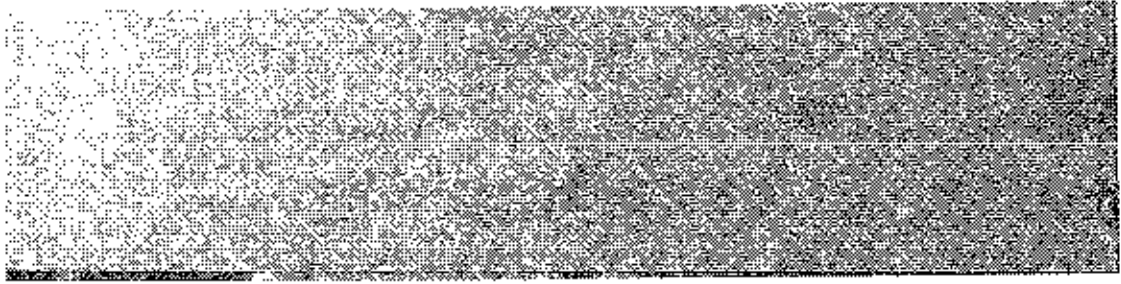


Рисунок 2.7 – Размеченная на заготовки полоса металла

## 2.2 Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка приведена на рисунке 2.8.

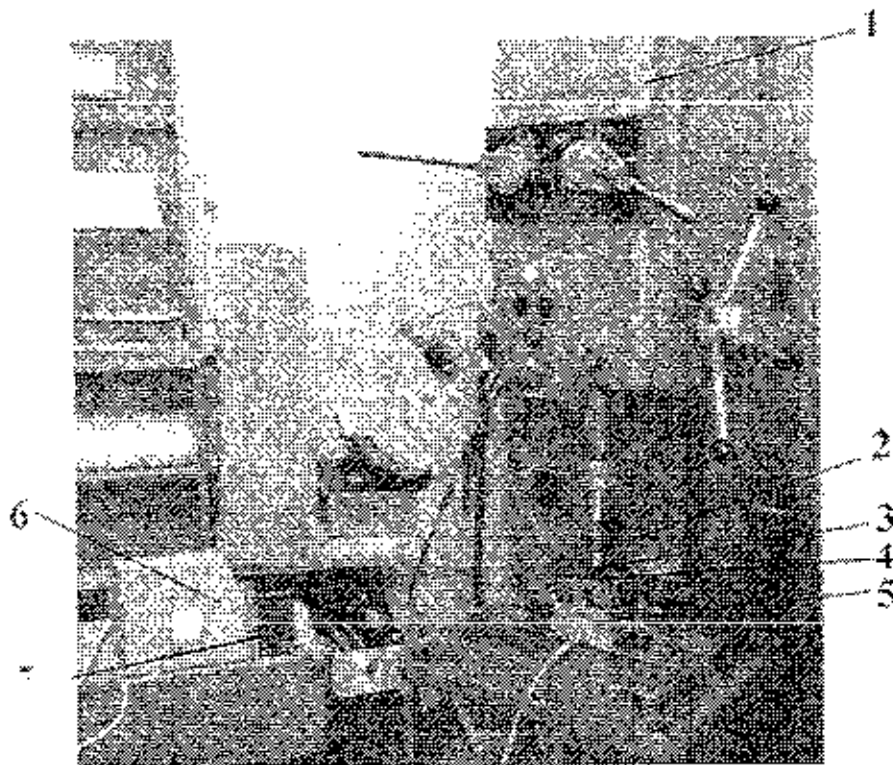


Рисунок 2.8 – Схема и фотография экспериментальной установки:  
 1 – вертикально-сверлильный станок 2Н125; 2 – патрон; 3 – пуансон;  
 4 – заготовка (пластина); 5 – динамометр механический; 6 – усилитель  
 заряда, 7 – мультиметр с термопарой

Опыты проводились на вертикально-сверлильном станке 2Н125. Станки этой модели предназначены для сверления, рассверливания, зенкования, развертывания, нарезания резьбы; применяются в условиях единичного и серийного производства.

Технические характеристики:

- Класс точности Н

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

- Наибольший диаметр сверления в стали 45 ГОСТ 1050-74, мм 25
- Размеры конуса шпинделя по ГОСТ 25557-82 Морзе 3
- Расстояние от оси шпинделя до направляющих колонны, мм 250
- Наибольший ход шпинделя, мм 200
- Расстояние от торца шпинделя, мм:
  - до стола 60-700
  - до плиты 690-1060
- Наибольшее (установочное) перемещение сверлильной головки, мм 170
- Перемещение шпинделя за один оборот штурвала, мм 122.46
- Рабочая поверхность стола, мм 400x450
- Наибольший ход стола, мм 270
- Установочный размер Т-образных пазов в столе по ГОСТ 1574-75:
  - центрального 14Н9
  - крайних 14Н11
- Расстояние между двумя Т-образными пазами по ГОСТ 6569-75, мм 80
- Количество скоростей 12
- Пределы частоты вращения шпинделя, 1/мин 45-2000
- Количество подач 9
- Пределы подачи, мм/об 0.1-1.6
- Наибольшее количество нарезаемых отверстий в час 60
- Управление циклами работы Ручное
- Род тока питающей сети Трехфазный
- Напряжение питающей сети, В 380/220
- Габаритные размеры, мм:
  - высота 2350
  - ширина 785
  - длина 915
- Масса станка, кг 880

Для измерения осевой силы использовался многокомпонентный динамометр 9257В Kistler с рабочей плитой 100x170 мм (рисунок 2.9). Одной из главных особенностей прибора является возможность измерения сил резания в широком частотном диапазоне (от 1 Н до 10 кН). Компактная конструкция позволяет устанавливать динамометр на станки с небольшой рабочей зоной. Герметичность динамометра позволяет производить измерение сил резания при обработке с применением СОЖ. [11]

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

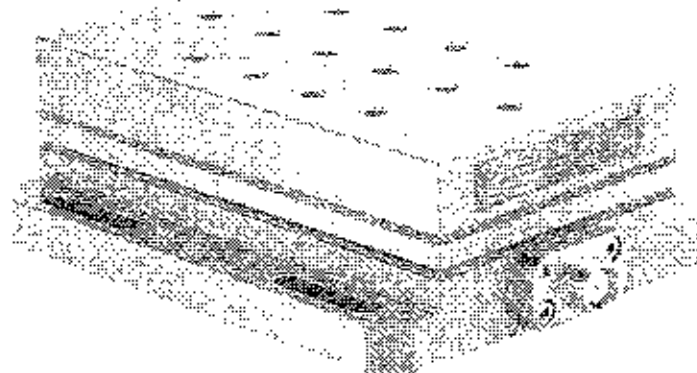


Рисунок 2.9 – Многокомпонентный динамометр 9257B Kistler.

Для фиксации и преобразования сигнала, поступающего с динамометра, использовался многоканальный усилитель заряда 5070A Kistler для многокомпонентного измерения сил резания - в нормированный токовый или потенциометрический выход, значение которого проще анализировать с помощью стандартного оборудования (рис. 2.10). Усилитель дает возможность производить измерения в диапазоне  $\pm 200000$  мкВ в частотном диапазоне 0-20 кГц.

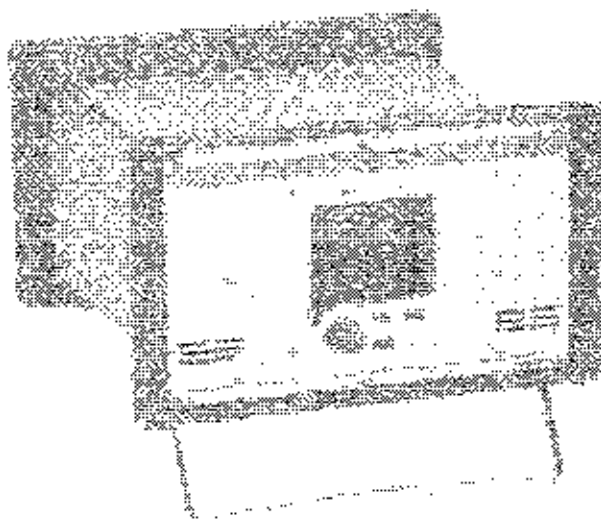


Рисунок 2.10 – Многоканальный усилитель заряда 5070A Kistler для многокомпонентного измерения сил резания.

Для измерения температуры применялась хромель-алюмелевая термопара диаметром 0,1 мм в предварительно подготовленное отверстие диаметром 1мм (рисунок. 2.11). [27]

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист 31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



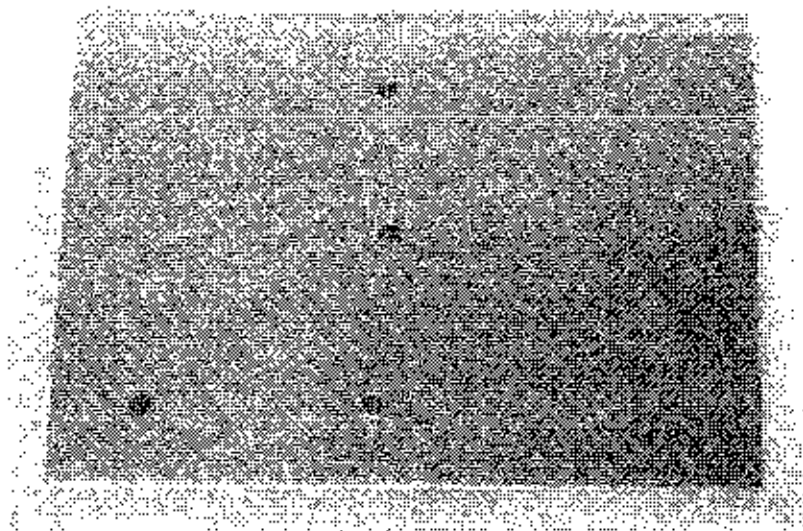


Рисунок 2.11 – Заготовка толщиной 1мм с отверстиями для термопары

Такие отверстия сверлились вручную на вертикально-сверлильном станке (рисунок 2.12).

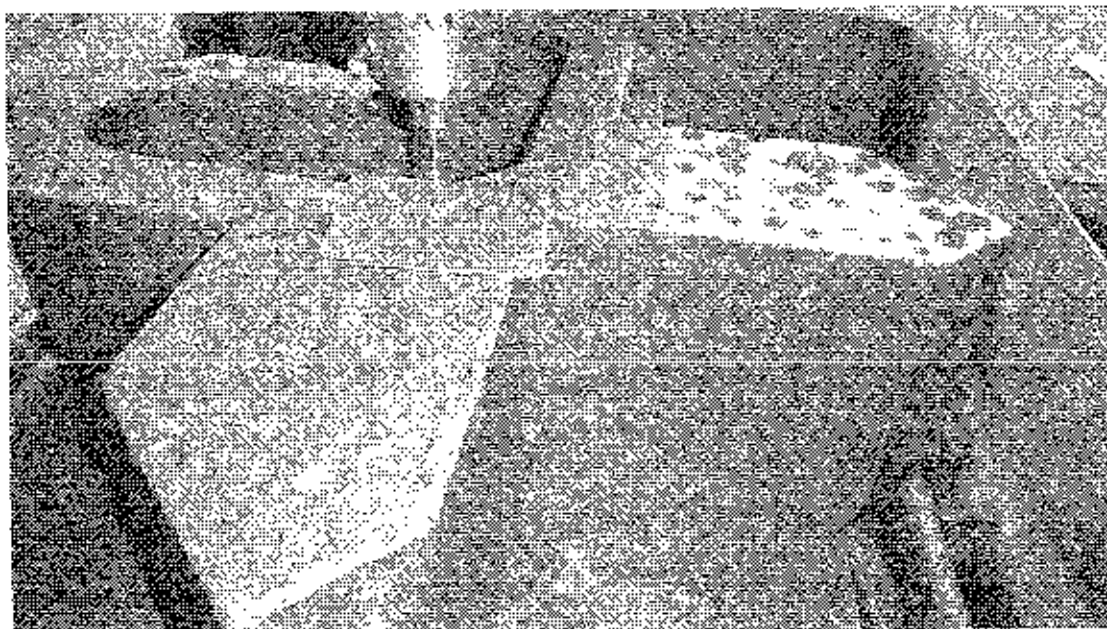


Рисунок 2.12 – Сверление отверстий под термопару

На рисунке 2.13 приведена фотография установки с закрепленной термопарой в предварительно просверленном отверстии.

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 2.13 – Закрепление термопары: 1 - термопара; 2-заготовка, закрепленная в приспособлении, установленном на динамометре

Измерение температуры производилось цифровым мультиметром S-Line серии DT-830 (рисунок 2.14). Мультиметры этой серии предназначены для измерения постоянного и переменного напряжения, постоянного тока, сопротивления, проверки диодов, транзисторов, звуковой прозвонки цепей на проводимость. Некоторые модели измеряют частоту или температуру и имеют функцию вывода на экран значков измеряемых величин.

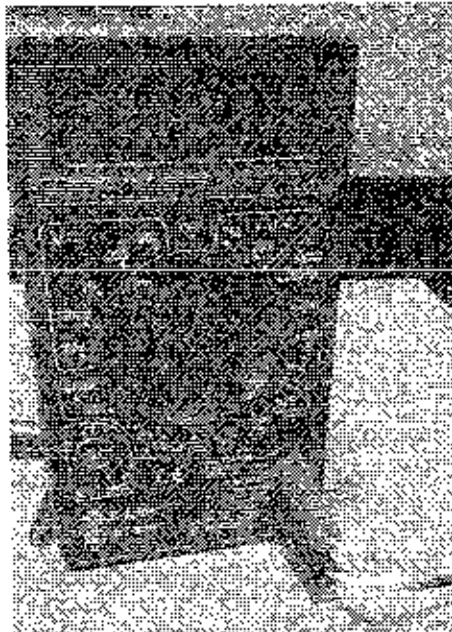


Рисунок 2.14 – Цифровой мультиметр

Для фиксации показаний приборов применялось видеозаписывающее устройство.[12]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР



2.3 Формообразование отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках термическим сверлением с применением подачи под заданной нагрузкой

Для изучения влияния подачи под заданной нагрузкой на геометрию получаемых отборок в тонколистовых заготовках термическим сверлением были проделаны опыты с разными толщинами заготовок (0,5; 1; 1,5 и 2 мм). Эксперименты проводились на вертикально-сверлильном станке 2Н125 (см. пункт 2.1) Во всех опытах использовался один инструмент  $d=4,2$  мм, угол заточки  $\alpha=20^\circ$  (см. пункт 2.2). На протяжении всего эксперимента постоянной остается частота вращения шпинделя  $2000 \text{ мин}^{-1}$  и нагрузка в 50 Н.

Для задания фиксированной нагрузки применялась рычажная система, обеспечивающая перемещение инструмента под заданной осевой силой. Установка защищена патентом на полезную модель. [28] (Рисунок 2.15)



Рисунок 2.15 – Фотография рычажной системы

Сам процесс формообразования отверстия с отбортовками под резьбу представлен на рисунках 2.16-2.21 в виде пяти стадий: от врезания конуса инструмента до прохождения через заготовку его цилиндрической части.

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Всего 34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

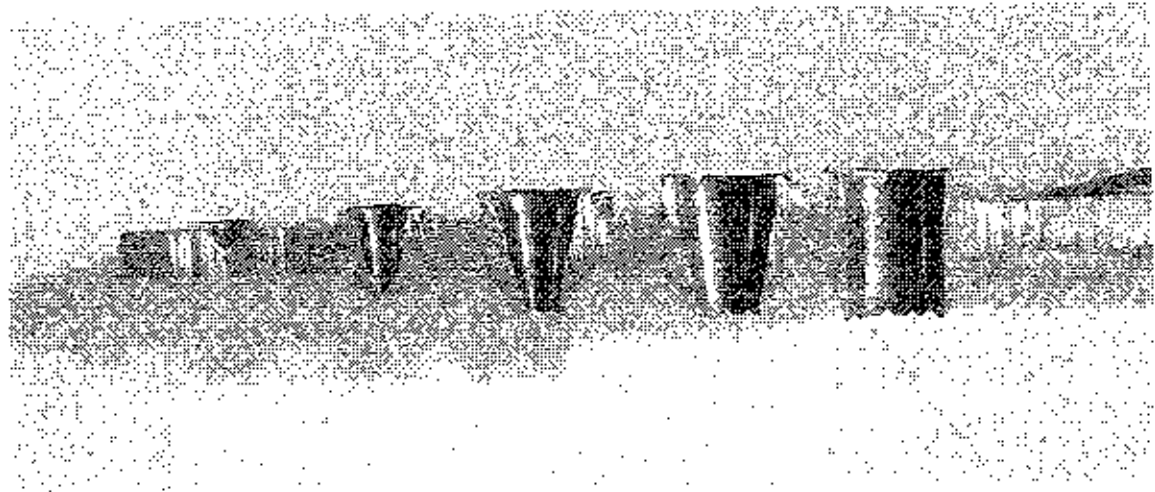


Рисунок 2.16 – 5 стадий образования отверстия с отбортовками

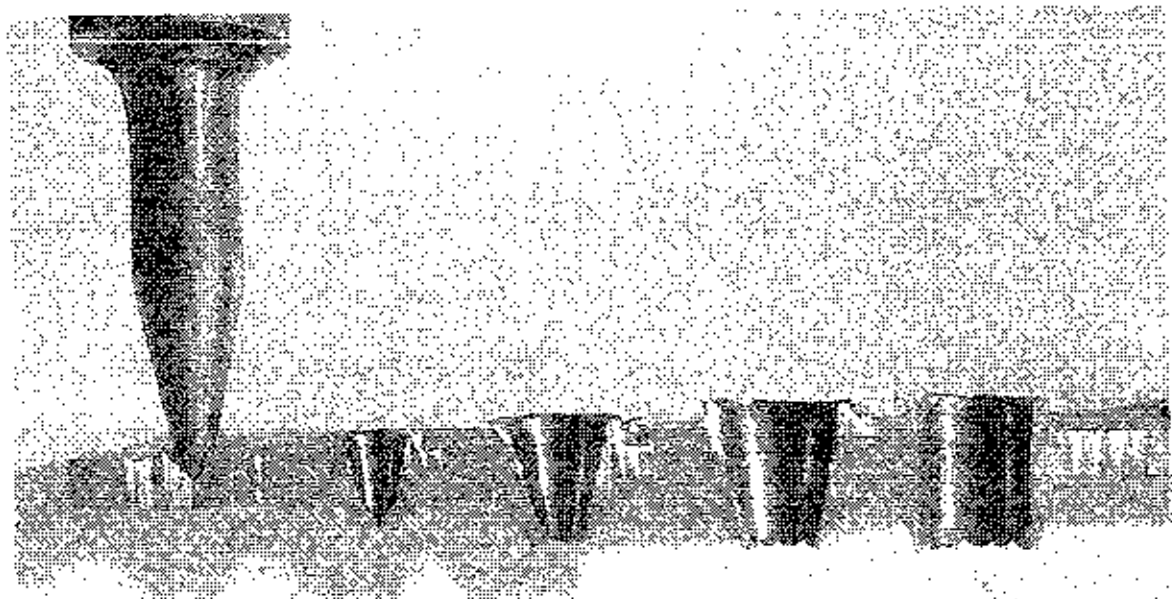


Рисунок 2.17 – 1 стадия формообразования отверстия с отбортовками

На первой стадии наблюдается внедрение предохранительного конуса инструмента в заготовку и начало образования верхней отбортовки заготовки из-за нагрева и выдавливания металла вверх.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
35

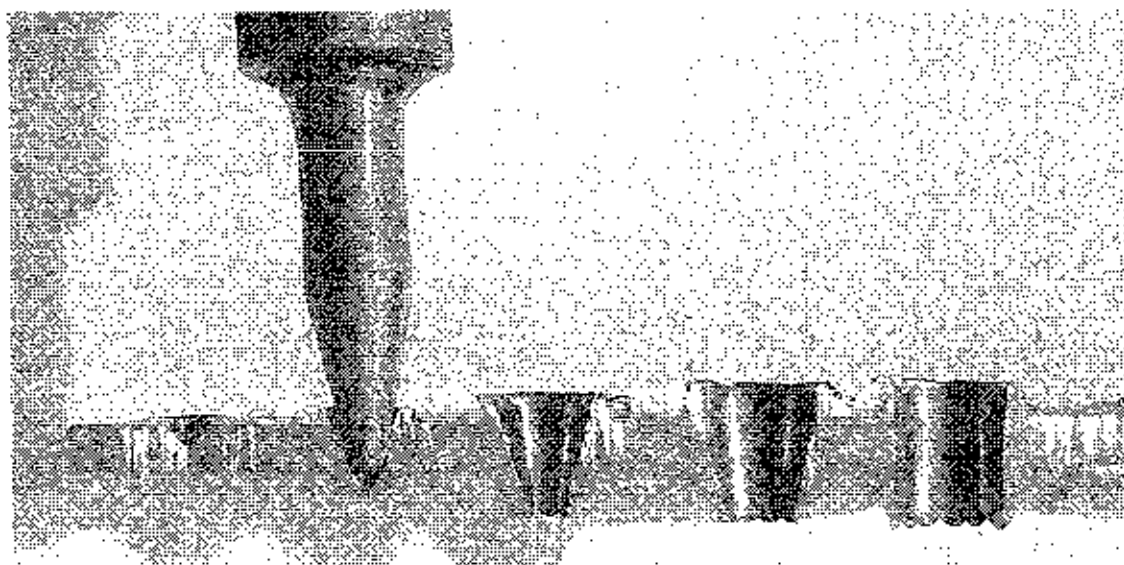


Рисунок 2.18 – 2 стадия формообразования отверстия с отбортовками

На второй стадии наблюдается внедрение конусной части инструмента и начало образования нижней отбортовки.

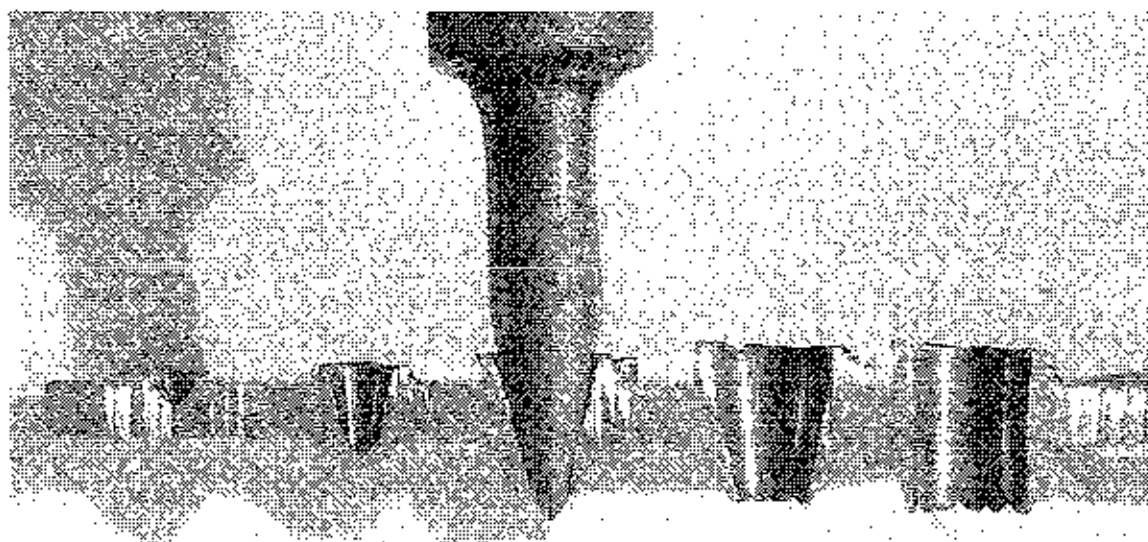


Рисунок 2.19 – 3 стадия формообразования отверстия с отбортовками

На третьей стадии наблюдается разрыв нижней кромки заготовки.

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист 36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

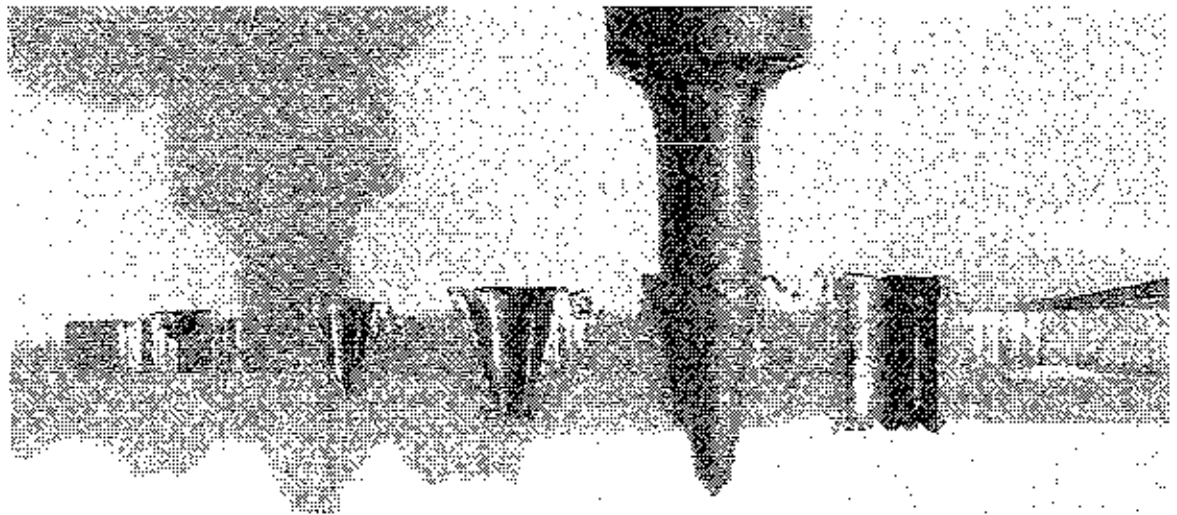


Рисунок 2.20 – 4 стадия формообразования отверстия с отбортовками

На четвертой стадии наблюдается начало внедрения цилиндрической части инструмента в заготовку.

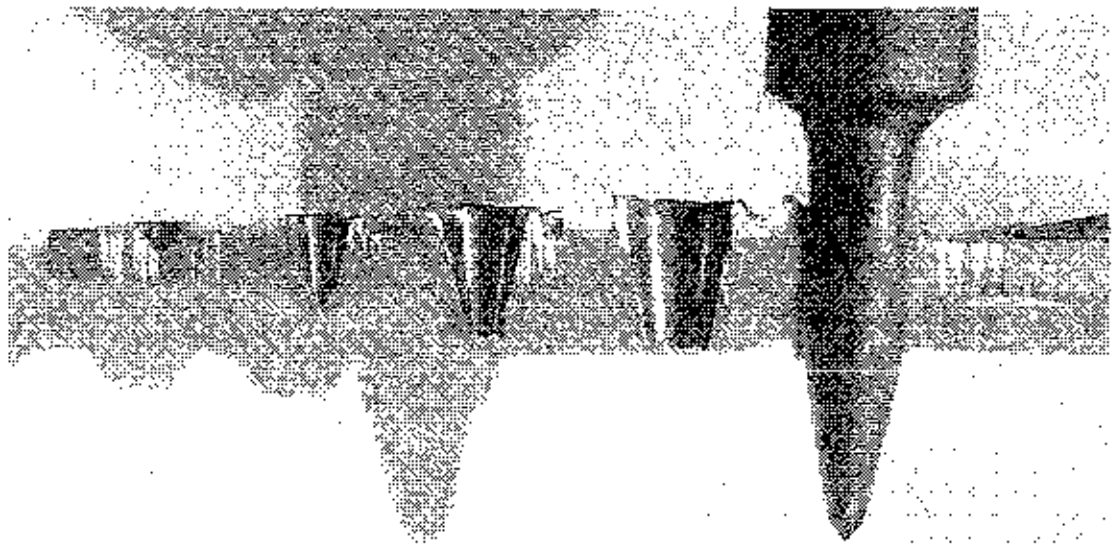


Рисунок 2.21 – 5 стадия формообразования отверстия с отбортовками

На пятой стадии наблюдается выход цилиндрической части инструмента из заготовки и окончательное формирование отверстия в заготовке.

При проведении экспериментов фиксировалось время начала изменения осевой силы и температуры. Результаты приведены в таблице 2.2:

Таблица 2.1 Время начала изменения температуры и осевой силы

						15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			37

№ эксперимента	Время, с которого начинается изменение параметра, с	
	По температуре	По силе
1	0,4	0,4
2	0,2	0,4
3	0,4	0,2
4	0,4	0,8
5	0,4	0,2
6	0,6	0,4
7	0,4	0,4
8	0,8	0,4
9	0,6	0,8
10	0,6	0,4

По результатам таблицы можно сделать вывод, что среднее значение времени начала изменения температуры равняется 0,48 с и фиксируемой осевой силы – 0,44 с, что отображено на графике на рисунке 2.22.

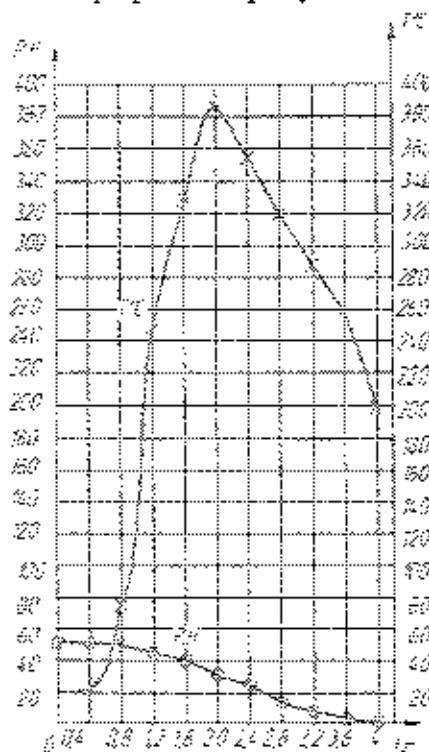


Рисунок 2.22 – Графики зависимости Р,Н и Т°С от t,с при подаче под заданной нагрузкой 50 Н

Полученные в результате проведения экспериментов заготовки были разрезаны вручную ножовкой для замера геометрии отбортовок (рисунок 2.23).



Рисунок 2.23 – Разрезанная заготовка для дальнейших замеров

Для удаления заусенцев поверхность для замера обрабатывалась на универсально-заточном станке 3Д642Е (рисунок 2.24). Этот станок предназначен для заточки и доводки основных видов режущего инструмента из инструментальной стали, твердого сплава и минералокерамики абразивными и алмазными кругами из эльбора, а также приспособлен для круглого (наружного и внутреннего) плоского шлифования.

Технические характеристики.

- Класс точности по ГОСТ 8-77 – П
- Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого в центральных бабках 250 мм;
- Наибольшая длина изделия, устанавливаемого в центровых бабках 500 мм;
- Высота центров над рабочей поверхностью стола – 125мм;
- Наибольшее расстояние от оси шлифовального круга до линии центров в вертикальной плоскости:
  - ниже линии центров – 60 мм
  - выше линии центров – 240 мм
- Расстояние от оси шлифовального круга до линии центров в горизонтальной плоскости:
  - наибольшее – 345 мм
  - наименьшее – 5 мм
- Расстояние от оси центров до оси стола (в горизонтальной плоскости) – 125 мм;
- Расстояние от низа основания станка до рабочей поверхности стола – 1020 мм;
- Габариты станка:

						15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			39



- длина (с учетом перемещения стола) – 1715 мм
- ширина – 1810 мм
- высота (без светильника) – 1635 мм
- Масса станка без приставного оборудования, приспособлений и принадлежностей – 1500 кг;
- Масса станка с приставным оборудованием, приспособлениями и принадлежностями, входящими в комплект станка – 1650 кг. [34]

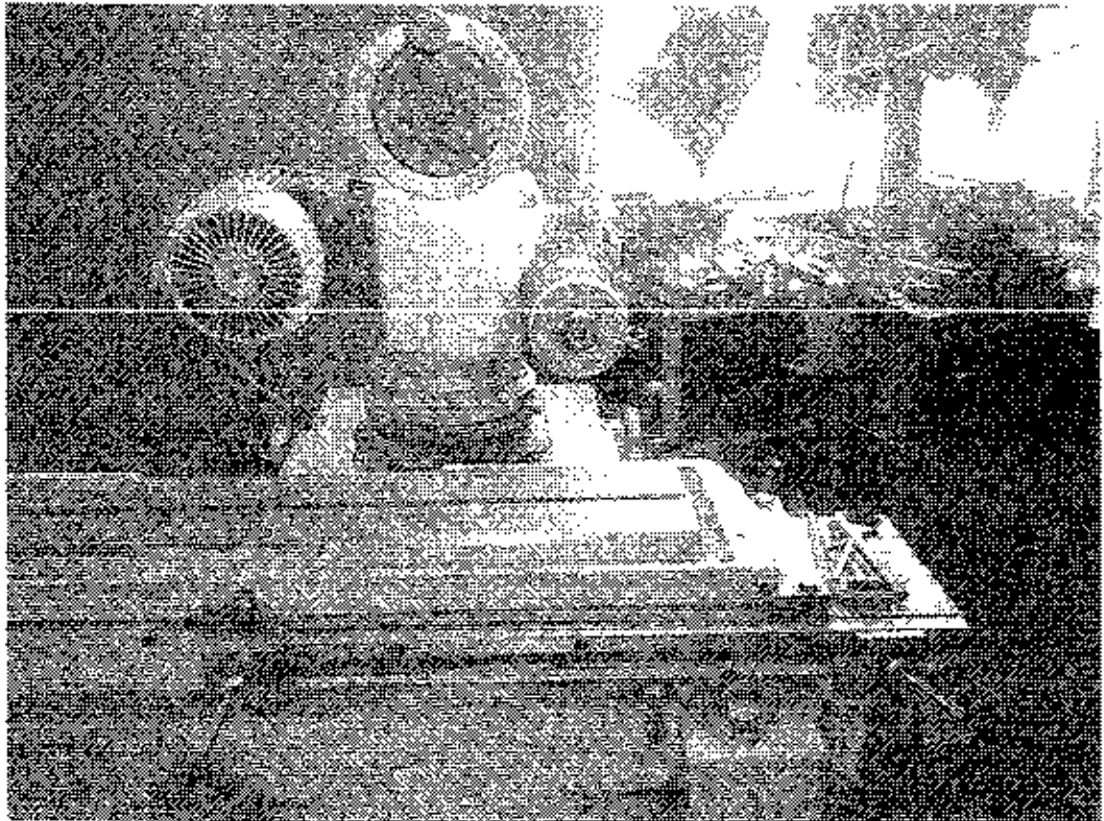


Рисунок 2.24 – Фотография универсально-заточного станка 3Д642Е

С помощью малого инструментального микроскопа были измерены геометрические параметры, представленные на рисунке 2.25, где  $h$  - толщина заготовки,  $h_1$  - длина нижней отбортовки,  $h_2$  - длина верхней отбортовки,  $b_0$  - толщина нижней отбортовки у основания,  $b_0$  - толщина верхней отбортовки у основания,  $b_1, b_2, b_3$  - толщины нижней отбортовки в трех сечениях на примерно равных расстояниях.

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Доп.	ИР	Вопрос	Подпись	Дата	40

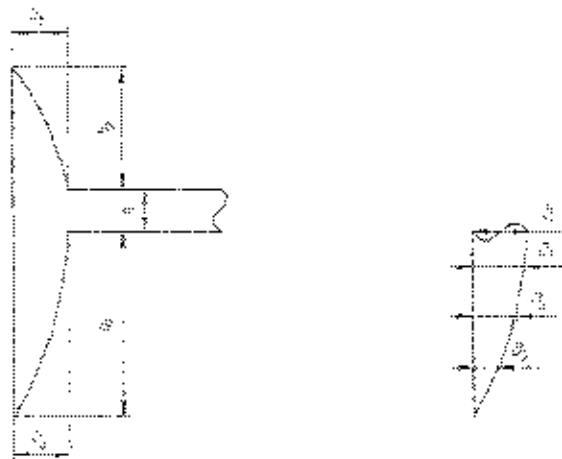


Рисунок 2.25 – Параметры, полученные в результате формообразования отверстия с отбортовками

Результаты измерений сведены в таблицу 2.2

Таблица 2.2 Геометрия отбортовок под заданной нагрузкой (50 Н)

	Толщина пластинки $h$ , мм	$h_1$ ,	$h_2$ ,	$h_1 + h_2$ ,	$b_0$ ,	$b_1$ ,	$h_2$ ,	$b_{0,1}$ ,	$b_{0,2}$ ,	$b_{0,3}$ ,
		мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
2	1н	2,56	1,39	5,95	0,97 5	1,025	1,23	0,81	0,7	0,5
	в	2,27	1,34	5,61	0,93	0,77	1,18	0,83	0,68	0,44
	2н	2,41	1,65	6,06	1,03	0,78	1,17	0,88	0,72	0,34
	в	2,45	1,23	5,68	1,38	0,62	1,4	0,94	0,91	0,37
	3н	2,3	1,37	5,67	1,07	0,84	1,12	0,82	0,7	0,37
	в	2,35	1,66	6,01	1,16	0,79	0,99	0,86	0,63	0,63
	4н	2,34	1,37	5,71	1,07	0,8	1,09	0,8	0,5	0,23
	в	2,38	1,28	5,66	0,9	0,9	0,93	0,72	0,55	0,24
	Ср. зн.	2,38	1,41	5,79	1,06	0,81	1,14	0,83	0,67	0,39
1,5	1н	2,06	1,3	4,86	0,79	0,58	0,93	0,69	0,61	0,27
	в	2,5	1,24	5,24	0,74	0,64	1	0,63	0,46	0,28
	2н	2,35	1,35	5,2	0,85	0,72	0,99	0,62	0,5	0,27
	в	2,33	1,27	5,1	1,04	0,89	1,05	0,82	0,71	0,4
	3н	2,45	1,25	5,18	0,78	0,64	0,83	0,64	0,7	0,34
	в	2,18	1,29	4,97	1,09	0,6	0,9	0,69	0,47	0,19
	н <sup>4</sup>	2,34	1,34	5,18	0,6	0,72	0,84	0,58	0,24	0,38
	в	2,33	0,92	4,75	0,75	0,6	0,86	1,1	0,74	0,25

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист

41

Изм. Лист № Вектор Подпись Дата



Ср. зн.	2,31	1,24	5,06	0,83	0,67	0,9	0,7	0,55	0,29
---------	------	------	------	------	------	-----	-----	------	------

Продолжение таблицы 2.2

1	1н	2,26	0,91	4,17	0,56	0,48	-	0,49	0,34	0,16
	в	2,24	0,83	4,07	0,63	0,27	-	0,58	0,56	0,24
	2н	2,31	0,82	4,13	0,76	0,48	-	0,59	0,45	0,22
	в	2,24	0,45	3,69	0,44	0,36	-	0,61	0,37	0,25
	3н	2,13	0,89	4,02	0,56	0,42	-	0,47	0,38	0,27
	в	2,09	0,41	3,5	0,62	0,37	-	0,55	0,43	0,2
	4н	1,89	0,84	3,73	0,58	0,52	-	0,57	0,43	0,29
	в	2,32	0,82	4,14	0,75	0,5	-	0,7	0,48	0,34
Ср. зн.	2,18	0,74	3,93	0,61	0,44	-	0,57	0,43	0,24	
0,5	1н	1	-	1,5	0,49	-	-	0,46	0,33	0,28
	в	1,55	-	2,05	0,55	-	-	0,64	0,46	0,22
	2н	1,15	-	1,65	0,5	-	-	0,51	0,36	0,22
	в	1,57	-	2,07	0,58	-	-	0,48	0,64	0,49
	3н	1,23	-	1,73	0,41	-	-	0,43	0,45	0,32
	в	1,11	-	1,61	0,5	-	-	0,54	0,4	0,4
	4н	1,61	-	2,11	0,45	-	-	0,41	0,39	0,32
	в	1,08	-	1,58	0,68	-	-	0,45	0,48	0,32
Ср. зн.	1,28	-	1,78	0,51	-	-	0,49	0,44	0,32	

Проанализировав таблицу, можно наблюдать следующие явления: с уменьшением толщины пластины высоты нижней и верхней отбортовок сокращаются, причем верхняя отбортовка на заготовке толщиной 0,5 мм не образуется. Это объясняется деформацией заготовки: толщина заготовки настолько мала, что наблюдается течение материала вниз, при этом большая его часть идет на увеличение толщины основания отбортовки, чем на высоту в заготовках малых толщин по сравнению с заготовками больших толщин. По средним значениям можно проследить закономерность изменения соотношения высоты нижней отбортовки к высоте верхней: на заготовках толщиной 2 мм 1,7:1, на заготовках толщиной 1,5 мм 1,9:1, на заготовках толщиной 1 мм 2,9:1, на заготовках толщиной 0,5 мм верхняя отбортовка не образуется. Это объясняется тем, что в тонколистовых заготовках деформируемый металл идет на формирование нижней отбортовки, а в заготовках большей толщины начинает образовываться верхняя отбортовка при внедрении конусной части инструмента в заготовку. Таким образом, в заготовке толщиной 4 мм соотношение высоты нижней отбортовки к высоте верхней 1:1.

#### 2.4 Общие выводы по главе

Проведя эксперименты над формобразованием отверстий с отбортовками под резьбу в тонколистовых заготовках с подачей под заданной нагрузкой и с принудительной подачей и изучив закономерность изменения измеряемых параметров (температура, осевая сила, время процесса, геометрия отбортовок), можно сделать следующие выводы:

1) Изменение осевой силы и температуры фиксируется приблизительно через 0,46 с после начала процесса.

2) С увеличением толщины заготовки увеличиваются время процесса, температура и фиксируемая осевая сила.

3) С уменьшением толщины заготовки увеличивается соотношение нижней и верхней отбортовок, при толщине листа 0,5 мм верхняя отбортовка не образуется.

									15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
										43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

### 3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НИЖНИХ ОТБОРТОК ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Процесс пластического деформирования отличается большой сложностью. В то же время с целью повышения эффективности производства необходимо знать влияние и взаимосвязь различных параметров операции. Представление об этом дают модели процесса, которые показывают связь механических, технологических, эксплуатационных и других параметров. Теоретические модели, вследствие общности получаемых результатов и отсутствия трудоемких экспериментальных исследований, имеют исключительную важность. Но, к сожалению, они недостаточно точны в предсказании результата. Кроме того, получение теоретической модели достаточно сложный процесс для инженерного использования. Поэтому в практике широко используется и экспериментальный (эмпирический) путь построения математических моделей [33]. Это касается и рассматриваемой проблемы, так как внедрение конического пуансона в заготовку из-за возникающих нелинейностей (в процессе операции формообразования отверстия непрерывно изменяются температура и механические характеристики металла) не имеет сегодня теоретического решения. Поэтому интересующие связи получают экспериментальным путём на основе планирования эксперимента [34]. Метод позволяет определять связи многих переменных, оценить силу этих связей и адекватность получаемых моделей.

#### 3.1 Выбор математической модели.

Предварительно проведённые опыты позволяют утверждать, что температура и осевая сила зависят от величины подачи и толщины заготовки. В качестве математической модели выбран алгебраический полином первой степени:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2, \quad (31)$$

где  $y$  – изучаемый показатель (температура, осевая сила)

$x_1$  – независимые факторы, которые влияют на значение функции отклика  $y$  ( $x_1$  – подача,  $x_2$  – толщина заготовки)

$b_i$  – коэффициенты полинома, подлежащий определению по результатам эксперимента.

#### 3.2 Выбор факторов и интервалов их варьирования.

Исследуемые явления – нижние отбортовки – представляются в виде степенных зависимостей:

$$\theta = C S^{K_1} A^{K_2}, \quad (32)$$

Такие зависимости приводятся к полиноминой форме логарифмированием:

$$\lg \theta = \lg C + K_1 \lg S + K_2 \lg A, \quad (33)$$

где  $\lg \theta$  – это  $y$ ;

$\lg C$  – это  $b_0$ ;

$K_i$  – это  $b_i$ ;

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$\lg^2$  – это  $x_1$ ;

$K_1$  – это  $b_2$ ;

$\lg A$  – это  $x_2$ .

На основании результатов испытаний для каждого фактора определяют возможные границы изменения. После этого устанавливают уровни и интервал варьирования факторов. При планировании толщина заготовки варьируется от 0,5 до 2 мм, а подача – от 0,1 до 0,4 мм/с (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Уровни факторов

Параметр фактора	$X_1$	$X_2$
Основной уровень	0,2	1,0
Верхний уровень	0,4	2,0
Нижний уровень	0,1	0,5

Для упрощения записи условий эксперимента и последующей обработки его результатов производится кодирование значений уровней факторов так, чтобы верхнему уровню соответствовало значение +1, нижнему -1, основному - 0. Кодирование осуществляется по соотношению:

$$x_i = \frac{\ln \tilde{x}_i - \ln x_{0i}}{\ln x_{1i} - \ln x_{0i}} \quad \text{или} \quad x_i = \frac{2(\ln \tilde{x}_i - \ln x_{0i})}{\ln x_{1i} - \ln x_{0i}} + 1, \quad (3.4)$$

где  $x_i$ ,  $\tilde{x}_i$  – кодированное и натуральное значение фактора;  $x_{1i}$ ,  $x_{0i}$ ,  $x_{-1i}$  – натуральные значения соответственно верхнего, основного и нижнего уровней фактора.

Учитывая, что имеется только два независимых переменных фактора, реализуем полный факторный эксперимент  $2^2=4$ . В таблице 3.2 приведена матрица планирования эксперимента с кодированными значениями переменных, где  $X_0$  – фиктивная переменная, всегда равная +1;  $X_1$  –подача,  $X_2$  – толщина заготовок.

Таблица 3.2

Матрица планирования  $2^2$

№ опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1 \cdot X_2$
1	+	+	-	-
2	+	-	-	+
3	+	+	+	+
4	+	-	+	-

По результатам исследований берутся значения нижних отборок в зависимости от соответствующих данному опыту в матрице планирования значений факторов. Например, при  $\theta=1.46$ ,  $\lg \theta=0.164$ . Подобным образом рассчитываются остальные значения функции отклика. Результаты приведены в таблице 3.3:

Таблица 3.3

Реализация плана

№ опыта	Планирование (высота нижней отбортовки, мм)	Выходной параметр $Y_1$
1	1.46	0.164
2	1.54	0.187
3	2.12	0.326
4	2.34	0.369

3.3 Определение коэффициентов уравнения регрессии, их значимости и адекватности моделей

Коэффициенты уравнения регрессии по результатам опытов определяются на основе метода наименьших квадратов по зависимости

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_j y_j}{n} \quad (350)$$

Например, для уравнения температуры

$$b_0 = \frac{0,164 * 1 + 0,187 * 1 + 0,326 * 1 + 0,369 * 1}{4} = 0,2615 ;$$

$$b_1 = \frac{0,164 * 1 - 0,187 * 1 + 0,326 * 1 - 0,369 * 1}{4} = -0,0165 ;$$

$$b_2 = \frac{-0,164 * 1 - 0,187 * 1 + 0,326 * 1 + 0,369 * 1}{4} = 0,086 ;$$

$$b_{12} = \frac{-0,164 * 1 + 0,187 * 1 + 0,326 * 1 - 0,369 * 1}{4} = -0,005 ;$$

Результаты определения коэффициентов уравнения регрессии приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Коэффициенты уравнения регрессии

Функция отклика	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{12}$
$Y_1$	0,2615	-0,0165	0,086	-0,005

Величина коэффициентов уравнений регрессии является случайной величиной, поэтому проверяется их статистическая значимость, то есть существенность влияния факторов и их взаимодействий в пределах проведения эксперимента. Для этого первоначально определяется дисперсия оценок коэффициентов по следующей формуле:

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{n} \quad (360)$$

где  $S_y^2$  - дисперсия воспроизводимости результатов эксперимента;  $n$  - число опытов в матрице планирования.

Дисперсия воспроизводимости результатов экспериментов определяется по результатам трёх опытов в центре плана (табл. 3.5)

Таблица 3.5

Эксперименты в центре плана		
№ опыта	Планирование, высота нижних отбортовок, мм	Выходные параметры, $Y_1$
1	1,63	0,212
2	1,9	0,278
3	1,98	0,296

$$Y_{cp} = \frac{0,212 + 0,278 + 0,296}{3} = 0,235$$

$$S_{y_1}^2 = \frac{\sum(Y_k - Y_{1cp})^2}{n-1} = \frac{(0,2615 - 0,235)^2 + (0,188 - 0,235)^2 + (0,086 - 0,235)^2}{3-1} = 0,01379$$

Значимость коэффициентов оценивается определением доверительного интервала коэффициента по формуле:

$$\Delta b_i = t_{\alpha} \cdot S_{b_i} \quad (37)$$

где  $t_{\alpha}$  – коэффициент Стьюдента;

$S_{b_i}$  – среднеквадратичная ошибка в определении коэффициента.

$$S_{b_1}^2 = \frac{0,01379}{4} = 0,00344$$

$$S_{b_1} = \sqrt{0,00344} = 0,0587$$

Обычно в технических задачах используют уровень доверительной вероятности (значимости)  $\alpha = 5\%$ . В условиях проведённого эксперимента  $t_{0,05} = 4,3$  [26]. Таким образом, доверительный интервал коэффициентов  $\Delta b_i$  для нижней отбортовки определяется  $\Delta b_1 = 4,3 \cdot 0,0587 = 0,25$ .

Абсолютная величина коэффициента регрессии должна быть в  $t_{\alpha}$  раз больше, чем ошибка его определения:  $|b_i| \geq \Delta b_i$ .

Таким образом, для  $Y_1$  значим лишь коэффициент  $b_0$ .

Полученные модели проверяются на адекватность, т.е. на соответствие экспериментальным результатам и на возможность использования на практике. Гипотеза об адекватности чаще всего проверяется с помощью F – критерия (критерий Фишера). Расчётные значения F критерия определяются:

$$F_F = \frac{S_{\text{м}}^2}{S_{\text{y}}^2} \quad (38)$$

где  $S_{\text{м}}^2$  – дисперсия адекватности;

$$S_{\text{зд}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{эксп}} - Y_{\text{расч}})^2}{f_2} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta y_i^2}{f_2} \quad (3.9)$$

где  $Y_{\text{расч}}$  и  $Y_{\text{эксп}}$  – соответственно рассчитанные по модели и экспериментальные значения входного параметра;  $f_2$  – число степеней свободы модели;  $f_2 = n - k'$ ,  $k'$  – число коэффициентов, оставшихся в модели после исключения статистически незначимых коэффициентов.

Таблица 3.6-

	$Y_{\text{эксп}}$	$Y_{\text{расч}}$	$Y_{\text{эксп}} - Y_{\text{расч}}$	$(Y_{\text{эксп}} - Y_{\text{расч}})^2$
1	0,164	0,387	-0,223	0,049
2	0,187	0,325	-0,138	0,019
3	0,326	0,562	-0,236	0,055
4	0,369	0,465	-0,096	0,009

$$S_{\text{зд}}^2 = \frac{\sum (Y_{\text{эксп}} - Y_{\text{расч}})^2}{7 - (4 + 2)} = 0,066$$

Во всех уравнениях были статистически незначимые коэффициенты. Поэтому необходимо оценить их адекватность. Определяется расчетное значение нижней отбортовки по условиям 1-ого опыта:

$$Y_{1 \text{ расч}} = 0,2615.$$

Расчетное значение критерия Фишера:

$$F_{\text{р}} = \frac{S_{\text{зд}}^2}{S_{\text{н}}^2} = \frac{0,066}{0,0137} = 4,87$$

$$F_{\text{т}} = 19,25$$

Таблица 3.7 - Оценка адекватности моделей

№ Опыта	h, мм	
	Расч.	Эксп.
1	0,2615	0,164
2	0,2615	0,187
3	0,2615	0,326
4	0,2615	0,369
$\sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2$		0,214
$F_2$		3
$S_{\text{зд}}^2$		0,066
$F_{\text{р}}$		4,87
$F_{\text{т}}$		19,25

$$F_{\text{р}} \leq F_{\text{т}}$$

Если расчетные значения F- критерия меньше табличных значений, то полученные модели адекватно описывают эксперименты.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

15090062.2014.1887.420

Лист  
48



#### 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ОТБОРТОВКАМИ ТЕРМИЧЕСКИМ СВЕРЛЕНИЕМ

В данной главе рассчитана прочность резьбового соединения на срез, также проверена экспериментально, определена точность размеров отверстий для применения данного способа на практике и приведены примеры внедрения его в производство.

##### 4.1 Расчет прочности резьбового соединения на срез в отверстиях, образованных с подачей под заданной нагрузкой

Основными параметрами, определяющими эффективность изготовления резьбовых соединений в тонколистовых заготовках термическим сверлением, являются геометрические размеры отбортовок отверстий, длина свинчивания и прочность резьбового соединения на срез [29, 30]. В данном разделе рассматриваются взаимосвязи геометрических параметров отверстий с отбортовками и прочностью резьбовых соединений на срез.

Полученные данные о форме (см. главу 2) и геометрических размерах отверстий с отбортовками (таблицы 3.1, 3.2) позволяют определить длину свинчивания  $L_{св}$ . При определении длины свинчивания в отверстия, образованные термическим сверлением, необходимо учитывать, что она эффективна не по всей высоте нижней отбортовки, а на  $h_{эф}=0,75h_1$ , из-за рваных краев, образованных вследствие деформации заготовки при прохождении цилиндрической части инструмента через эту область (рисунок 3.1).

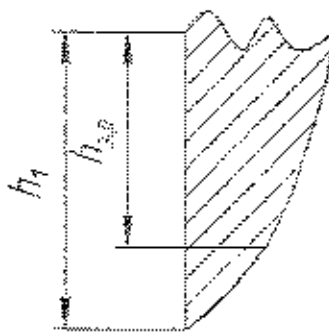


Рисунок 4.1 – Эффективная длина свинчивания

Разрушение резьбовых соединений (при статических и переменных нагрузках) происходит, как правило, из-за среза витков резьбы, а так же из-за разрушения болтов и шпилек по сечению. При недостаточной длине свинчивания происходит разрушение витков резьбы в результате среза. Витки срезаются обычно по наружному диаметру резьбы болта или внутреннему диаметру гайки (рисунок 3.2). Сила, вызывающая срез витков резьбы гайки определяется по формуле: [30]

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист 49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F_{cp} = \pi d \cdot L_{св} \cdot K_r \cdot K_n \cdot \tau_{в,с} \quad (4.1)$$

где  $d$  – внутренний диаметр резьбы гайки, мм;

$K_r$  – коэффициент полноты резьбы, характеризующий длину контакта (перекрытие) витков резьбы болта и гайки. Для метрической резьбы  $K_r = 0,8$  [17];

$K_n$  – коэффициент учитывающий неравномерность деформирования витков по высоте гайки при наличии пластической деформации,  $K_n = 0,75$  [17];

$\tau_{в,с}$  – предел прочности на срез, МПа. Сталь 08кп  $\tau_{в,с} = 200$  МПа [31].

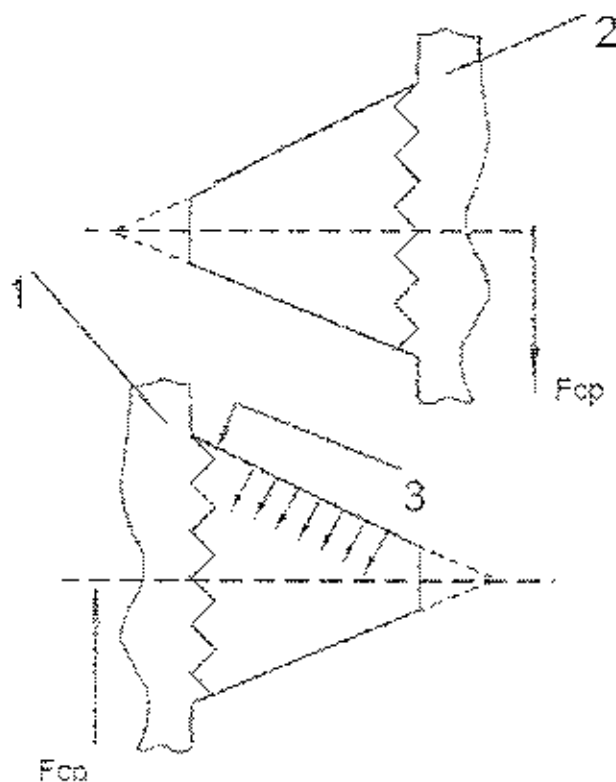


Рисунок 4.2 – Схема разрушения витка резьбы в результате среза:  
1 – болт; 2 – гайка; 3 – линия разрушения резьбы

Результаты расчетов прочности сведены в таблицу 3.1.

Таблица 4.1 Результаты расчета прочности резьбового соединения в отверстиях, образованных под заданной нагрузкой 50Н.

Толщина пластины, мм	$L_{св}$ , мм	$F_{cp}$ , Н
2	3,574	5655,71
1,5	2,61	4121,1
1	1,63	2592,88

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

0,5	0,48	763,4
2	2	3165,12

По результатам расчета, приведенным в таблице 4.1, построен график зависимости силы, вызывающей срез витков от толщины заготовки. (Рисунок 4.3)

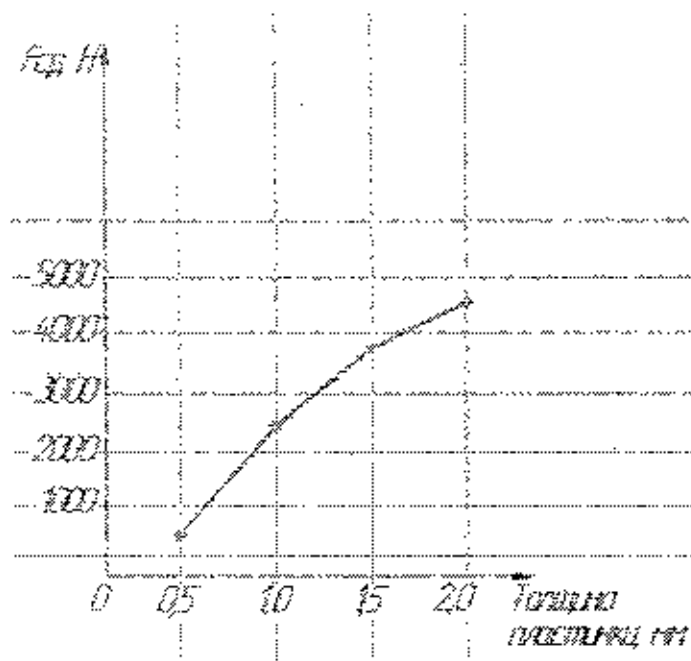


Рисунок 4.3 – График зависимости  $F_{cp}$ , Н от  $S$ , мм/об

Из таблицы и графика видно, что с увеличением толщины заготовки, увеличивается длина свинчивания, а также увеличивается сила, вызывающая срез витков резьбы гайки. Так как зависимость практически линейная, можно определить силу в зависимости от разных толщин заготовки.

#### 4.2 Проверка прочности резьбового соединения на срез

Для проверки прочности полученной резьбы (подробное описание во 2 главе) на срез применялась универсальная разрывная машина Tinius Olsen H100KU (рисунок 3.4). Эти машины предназначены для проведения испытаний на растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг и расслоение образцов из металлов, пластмасс, резины, текстиля, древесины, пленки, бумаги и различных композиционных материалов. Число в названии модели указывает предельную нагрузку в кН в режиме растяжения и сжатия.

Уникальная конструкция рамы, системы силообразования и управления траверсой не имеют аналогов в мире. Высокая жесткость машин U-серии позволяет работать на предельных нагрузках без износа системы. Эргономичное расположение рабочей зоны повышает производительность и облегчает работу

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Имя	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

оператора при установке и снятии образцов. Испытательные машины U-серии стандартно оснащены выносным пультом управления с ЖК-дисплеем. Пульт позволяет перемещать траверсу, отображать нагрузку, положение, скорость перемещения траверсы и деформацию образца. Для определения таких параметров как модуль упругости, предел текучести машины U-серии необходимо дополнительно укомплектовывать высокоточными датчиками деформации.

В номенклатуре Tinius Olsen более 1500 захватов и приспособлений, по заказу изготавливается специальная оснастка. Захваты для испытаний на растяжение имеют дополнительные крепления внешней оснастки, позволяющие перейти к испытаниям на сжатие, изгиб или к испытаниям профильных образцов с головками и резьбой. Переход от одного типа испытания к другому, не требует снятия основных захватов.

Основные характеристики:

- выносной пульт управления, отображение значений нагрузки, деформации и перемещения;
- класс точности  $\pm 0,5$  % в диапазоне от 0,2 до 100 % номинала используемого силоизмерительного датчика;
- диапазон скоростей: 0,01 мм/мин до 500 мм/мин;
- машины оснащены встроенной системой автоматической диагностики;
- наличие концевых выключателей и встроенной электронной системой защиты от перегрузки;
- русифицированное многофункциональное программное обеспечение;
- универсальные испытательные машины U-серии допущены к применению в Российской Федерации и зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений. Машины поставляются с методикой поверки утвержденной государственным комитетом РФ по стандартизации и метрологии;

Технические характеристики:

- предельно развиваемая нагрузка 100 (10 000) кН(кгс);
- диапазон рабочих скоростей 0,01-500 мм/мин;
- максимальная нагрузка при максимальной скорости испытания 100 кН;
- максимальная скорость испытания 500 мм/мин;
- скорость возврата траверсы 750 мм/мин;
- максимальный ход траверсы 1200 мм;
- расстояние между колоннами 650 мм;
- разрешающая способность системы измерения перемещения траверсы /деформации образца 0,001 мм;
- погрешность системы измерения перемещения траверсы 0,01 мм;
- погрешность скорости хода траверсы  $\pm 0,05$  %;
- габариты В x Ш x Г 2440 X 1133 X 685 мм;
- масса 750 кг;
- напряжение питания 230 V 1 фаза.[33

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

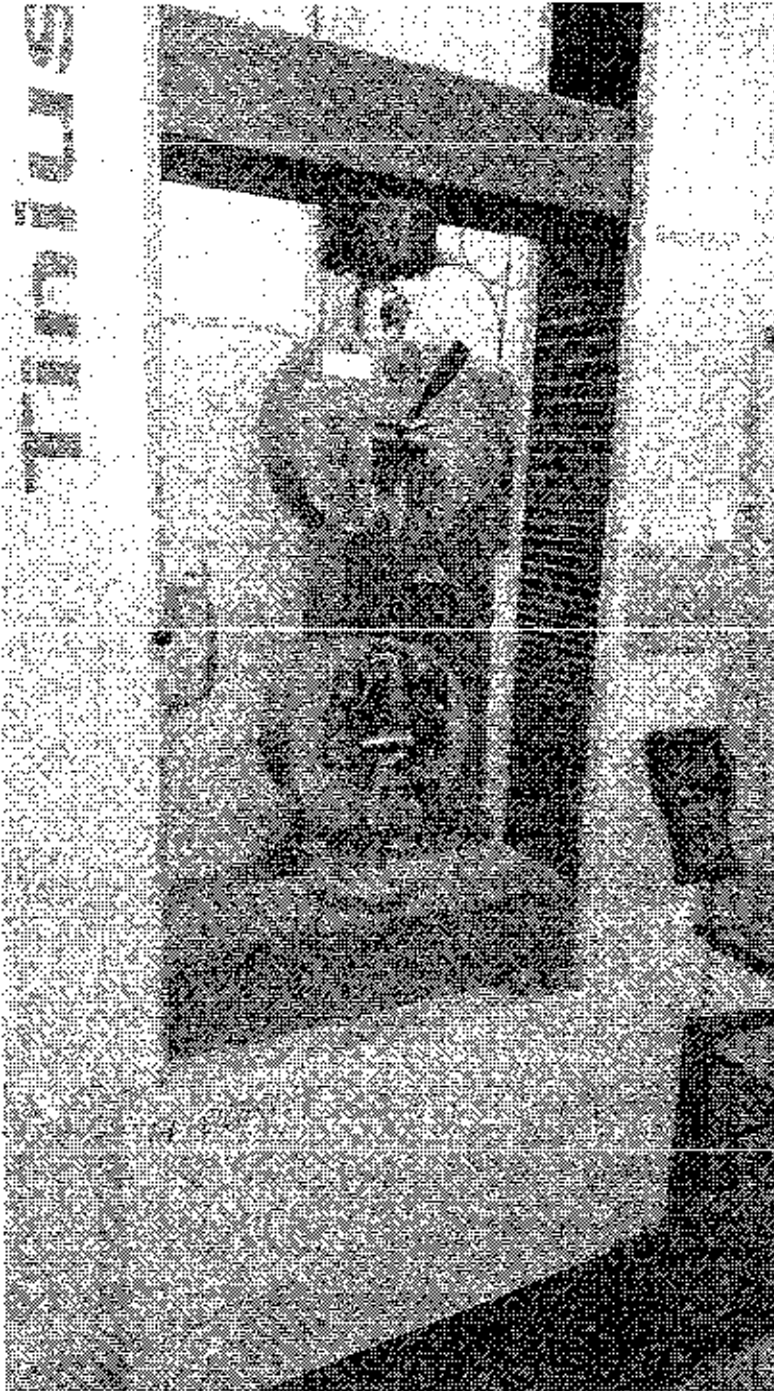
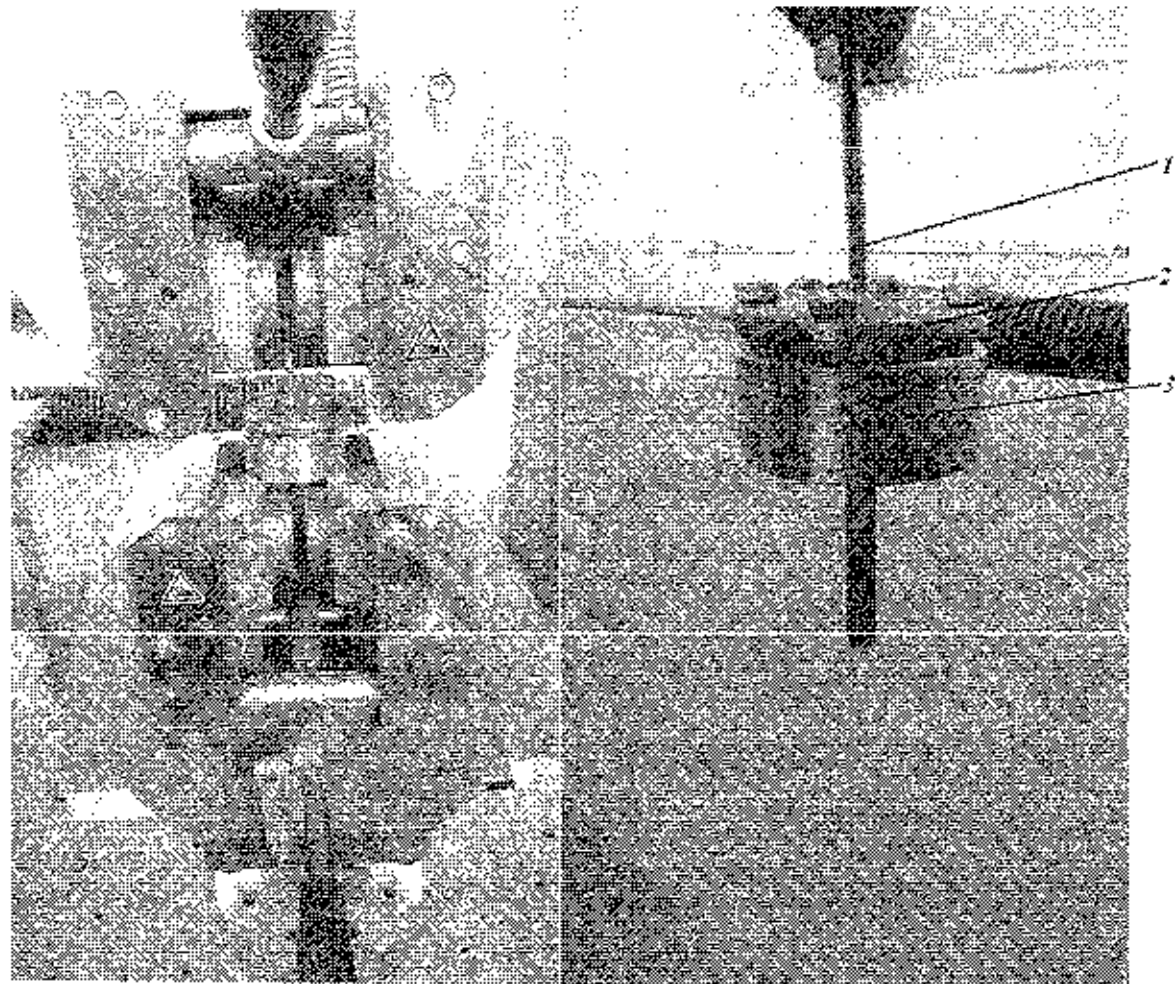


Рисунок 4.4 – Универсальная разрывная машина Tinius Olsen H100KU [33]

Для закрепления заготовки со вкрученным в нарезанную в отверстие резьбу болтом в машине использовалось приспособление, изображенное на рисунке 3.5.

											Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	53
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	------	----------	---------	------	-------------------------------	----



а)

б)

Рисунок 3.5 – Приспособление для закрепления заготовки в машине:  
 а) собранная в машине конструкция, б) составные части конструкции:  
 1 – вкрученный болт, 2 – верхняя часть приспособления, прижимающая  
 заготовку, 3 – нижняя часть приспособления

На прочность были проверены резьбы в заготовках толщиной 2мм, отверстия под которые получены различными способами: обычным сверлением, термическим сверлением с подачей под заданной нагрузкой (50 Н) с отбортовками и со срезанными отбортовками, термическим сверлением с принудительной подачей.  $S=0,1$  мм/об,  $S=0,2$  мм/об и  $S=0,4$  мм/об. Отверстия, полученные сверлением и термическим сверлением со срезанными отбортовками, были сделаны для того, чтобы при одинаковом количестве витков резьбы померить реальную силу среза. Каждый эксперимент проводился 5 раз. Во всех отверстиях резьба нарезалась метчиком вручную: сначала черновым, потом чистовым (рисунок 3.6)

Иж.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
54



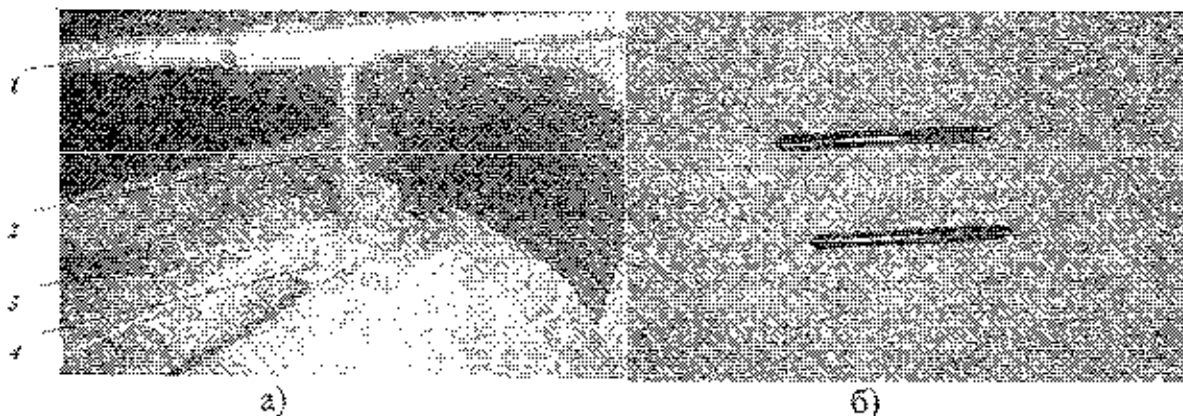


Рисунок 4.6 – Получение резьбы метчиком:

а) нарезание резьбы: 1 – вороток, 2 – метчик, 3 – тисы, 4 – заготовка;

б) комплект из чернового и чистового метчиков

В результате испытаний прочности резьбовых соединений на срез были получены графики, из которых были выбраны по одному на каждый способ формообразования отверстия. Они изображены на рисунках 3.7 – 3.9.

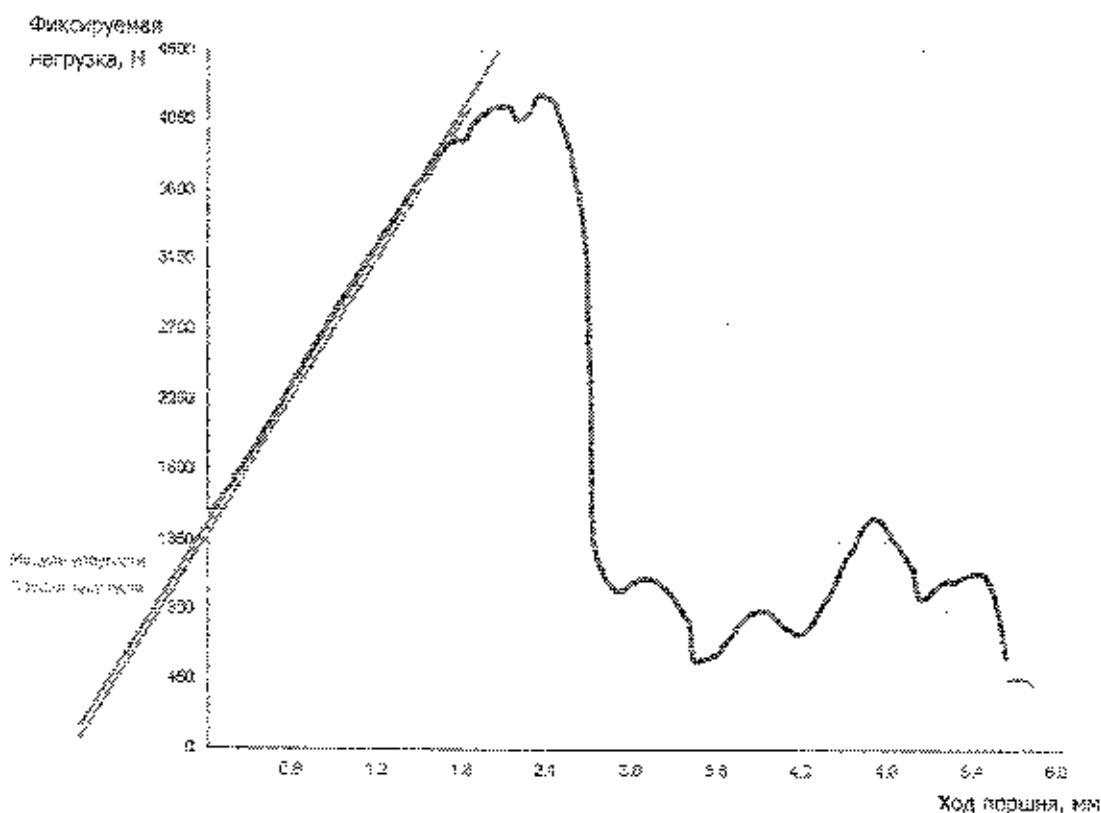


Рисунок 4.7 – График испытания прочности резьбового соединения на срез при образовании отверстия обычным сверлением

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
55



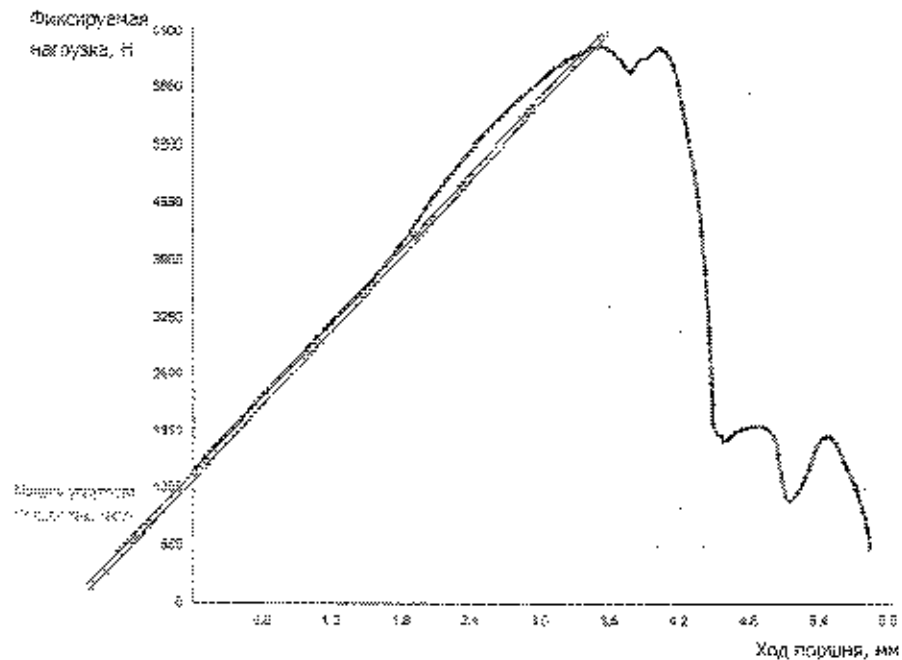


Рисунок 4.8 – График испытания прочности резьбового соединения на срез при формообразовании отверстия с подачей под заданной нагрузкой (50 Н) со срезанными отбортовками

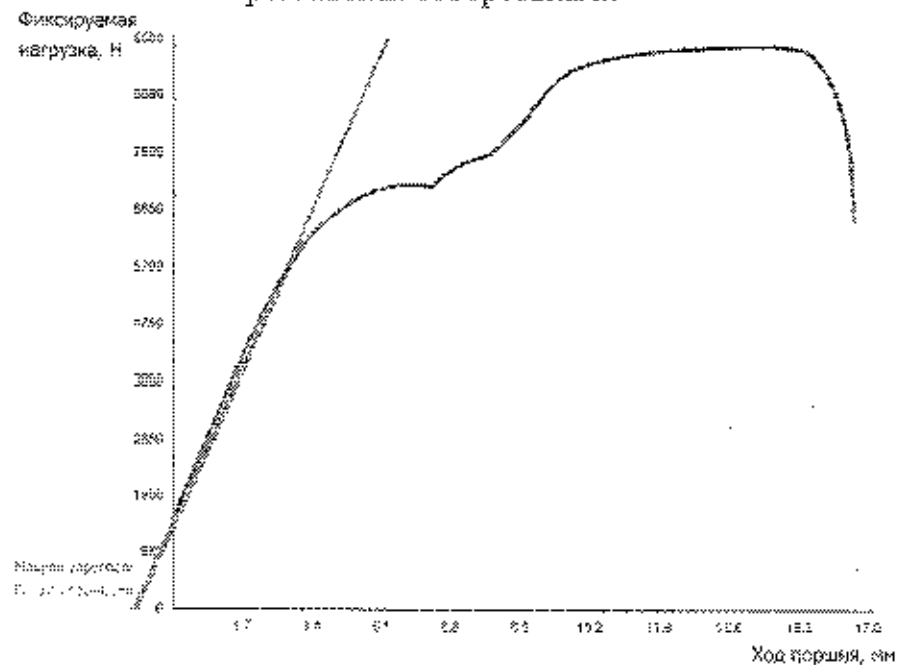


Рисунок 4.9 – График испытания прочности резьбового соединения на срез при формообразовании отверстия с подачей под заданной нагрузкой (50 Н) с отбортовками

Проанализировав выше приведенные графики, можно отметить, что процесс разрушения резьбового соединения делится на пять стадий: на первой стадии преодолеваются все зазоры в конструкции, растет нагрузка на резьбовое соединение, на второй происходит пластическая деформация головки болта, на

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист 56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

третьей – заклинивание резьбы в отверстии после среза первого витка, на четвертой – смятие резьбы и заклинивание отбортовками резьбового соединения, на пятой – прохождение следующих витков резьбы болта по смятой резьбе в отверстии заготовки (рисунок 4.10)

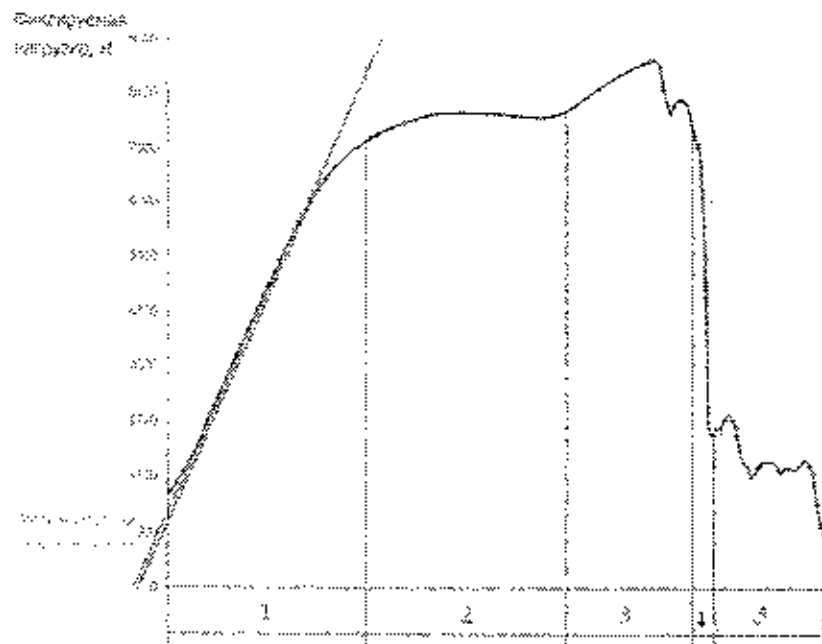
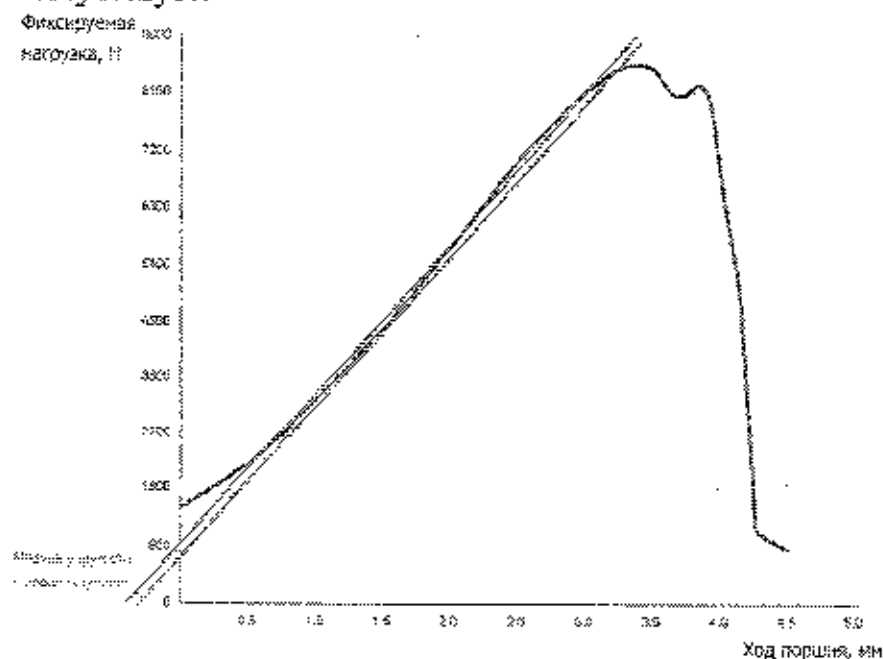


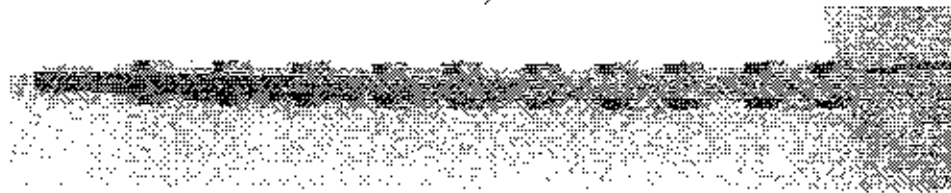
Рисунок 4.10 – Стадии хода поршня

Следует отметить, что вторую стадию можно исключить при использовании вместо болтов шпилек. Один из опытов проводился со срезанной головкой болта, в результате чего получился график, изображенный на рисунке 4.11, где вторая стадия отсутствует.





а)



б)

Рисунок 4.19 – Измеряемые отверстия:  
а) верхние отбортовки; б) вид сбоку

Геометрические параметры отверстий по верхним и нижним отбортовкам определялись с помощью малого инструментального микроскопа. Результаты измерений сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Геометрия внутренних диаметров верхних отбортовок

№ эксперимент а	Диаметры верхних отбортовок отверстий		
	Диаметр по оси X, мм	Диаметр по оси Y, мм	Среднее значение $\bar{x}$ , мм
1	4,41	4,35	4,38
2	4,55	4,57	4,56
3	4,62	4,62	4,62
4	4,21	4,19	4,20
5	4,33	4,32	4,32
6	4,50	4,46	4,48
7	4,43	4,52	4,47
8	4,40	4,42	4,41
9	4,36	4,34	4,35
10	4,44	4,48	4,46
Среднее	4,425	4,427	4,425

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
63

значение			
----------	--	--	--

Необходимо определить поле рассеивания получаемого диаметра и сравнить его с ГОСТом. Определим среднее значение показателя выборочной совокупности диаметров отверстий [36] по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.3)$$

где  $n$  – количество экспериментов;

$x_i$  – средний диаметр отверстия в каждом эксперименте по двум координатным осям, мм.

Среднее значение диаметров верхних отбортовок составило 4,425 мм. Среднее значение недостаточно полно характеризует выборку. Для оценки степени разброса (отклонения) показателей диаметров верхней и нижней отбортовок от его среднего значения, наряду с максимальными и минимальными значениями, используется понятие дисперсии и среднеквадратического отклонения, которое рассчитывается по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (4.4)$$

Из формулы (3.2) получается:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.5)$$

Результаты расчётов показали, что значеная  $\sigma$  равняется 0,108 для геометрии верхних отбортовок. Величина доверительного интервала и доверительной вероятности зависит от числа измерений. Поэтому при малом числе опытов используется распределение Стьюдента. Опыт показывает, что доверительная вероятность 0,95 вполне достаточна для большинства практических задач при металлообработке, поэтому принимаем  $t_{\alpha} = 2,3$ . Доверительный интервал рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta = t_{\alpha} \sigma. \quad (4.6)$$

Доверительный интервал разброса диаметров отверстий составил 0,248 мм для диаметров верхней отбортовки отверстий. Таким образом можно сказать, что диаметр верхней отбортовки отверстия будет составлять  $4,425 \pm 0,12$  мм.

Сравнивая диаметры отверстия по верхним и нижним отбортовкам(ссылаюсь на тебя), можно сделать вывод, что диаметры отверстий по нижним отбортовкам меньше. Это связано с усадкой металла в процессе его охлаждения воздухом после операции. Отклонение в размерах составляет приблизительно 4%, что означает достаточную сходимость. Отверстие соответствует допуску внутреннего диаметра резьбы 7 степени точности и позволяет нарезать резьбу в нём метчиком как в стационарных, так и в монтажных условиях. [23]

Рисунок 4.11 – График испытания на прочность резьбового соединения с болтом со срезанной головкой

Для сравнения результатов рассчитанной силы среза и полученной при испытаниях прочности резьбового соединения на срез была составлена таблица 4.2.

Таблица 4.2 – Сравнение результатов рассчитанной и фактической сил среза

Характер образования отверстия	Расчетная сила среза $F_{ср}$ , Н	Фактическая сила среза $F_{ср}$ , Н
Сверление	3165,12	4210
Подача под заданной нагрузкой (50 Н) со срезанными отбортовками	3165,12	6320
Подача под заданной нагрузкой (50 Н) с отбортовками	5655,71	9270

Фактическая прочность резьбы на срез значительно выше расчетной независимо от характера образования отверстия. Предположим, что это происходит из-за повышения твердости материала в зоне образования отверстия.

Для того, чтобы проверить это предположение, были проведены следующие эксперименты:

1. Заготовки толщиной 2мм были разрезаны пополам (рисунок 3.12).

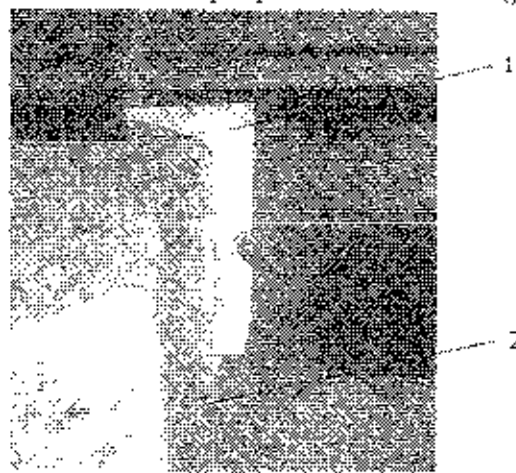


Рисунок 4.12 – Разрезанная заготовка:

1 - заготовка, 2 - тисы

2. Полученные образцы были залиты эпоксидной смолой, установлены в приспособлении для формирования базовой плоскости, чтобы в дальнейшем шлифовать поверхность залитых заготовок для изучения твердости металла (рисунок 3.13).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
58

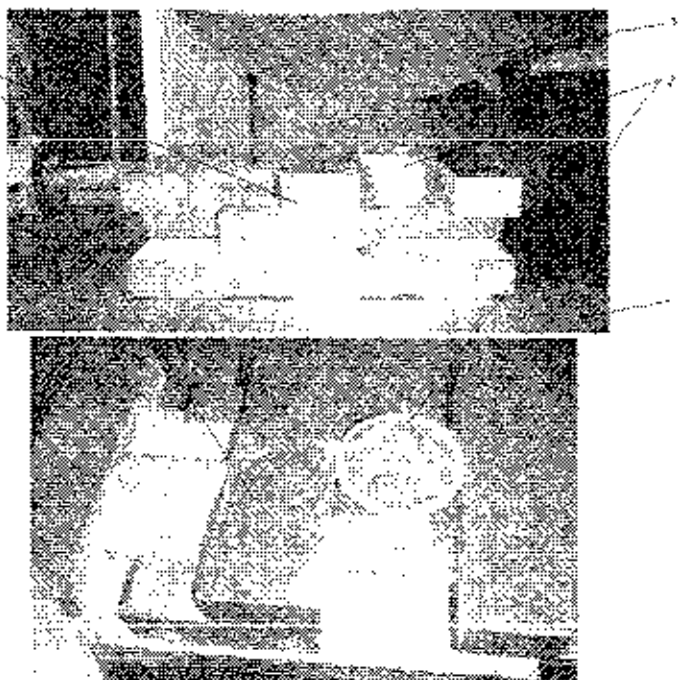


Рисунок 4.13 – Формирование базовой плоскости

1 -шлифовальный круг; 2- заготовки, залитые смолой;

3 - приспособление; 4- магнитный стол шлифовального станка

3. После подготовки базовой плоскости, залитые заготовки шлифовались на модульной шлифовально-полировальной системе Struers TegraSystem наждачной бумагой 5 различных величин абразивности (рисунок 3.14). В приспособление можно установить от 1 до 3 заготовок и обрабатывать одновременно (рисунок 3.15)

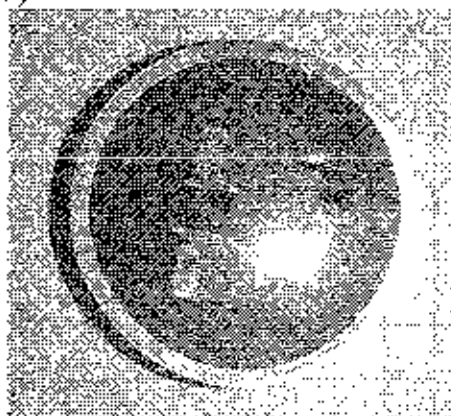


Рисунок 4.14 – Заготовки, залитые эпоксидной смолой

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

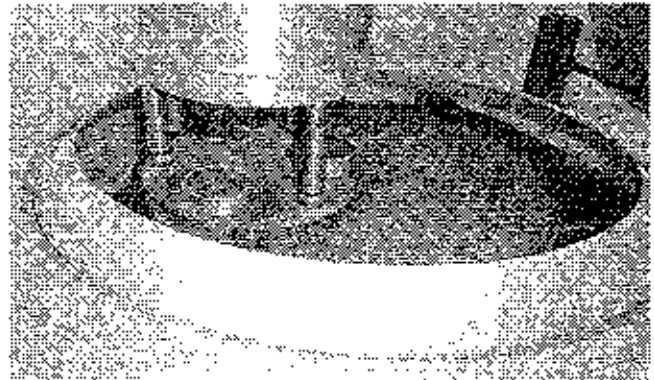
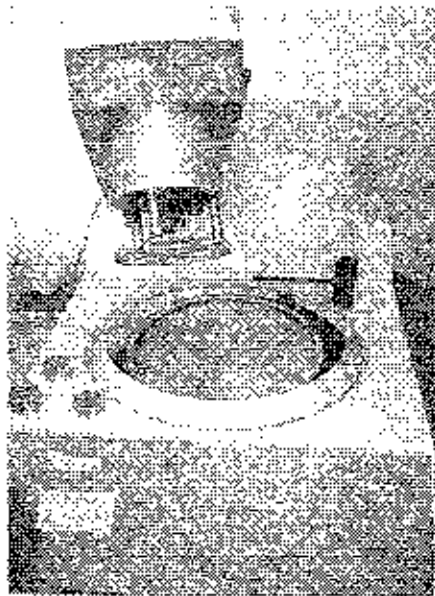
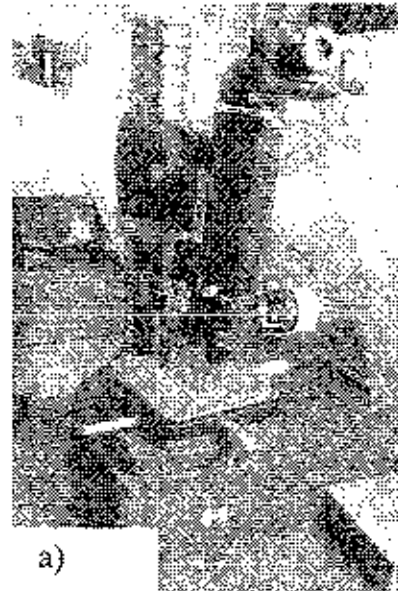
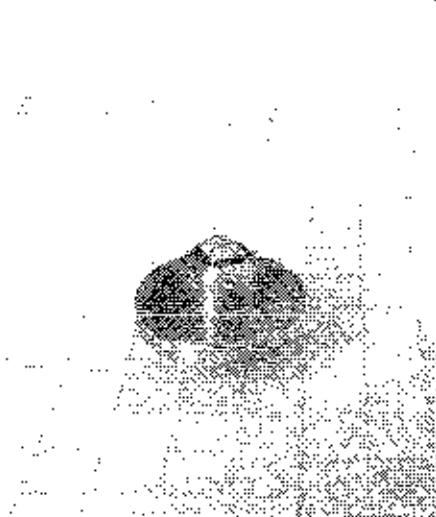


Рисунок 4.15 – Модульно - шлифовальная система Struers TegraSystem

4. С помощью микротвердомера ПМТ - 3 была измерена твердость в нескольких точках образца в зоне образования отверстия (рисунки 3.16, 3.17). Для заготовок из стали 08кп достаточное усилие для оставления отпечатка – 100 г, поэтому использовался именно такой вес. Каждый отпечаток ставился на расстоянии 0,1 мм друг от друга.



а)

б)

Рисунок 4.16 – Устройство для измерения микротвердости: а) алмаз для оставления отпечатка на металле; б) Микротвердомер ПМТ - 3

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
60



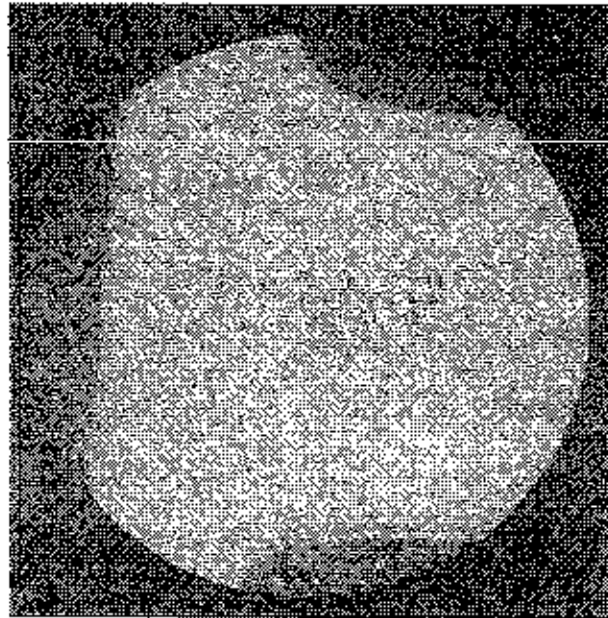


Рисунок 4.17 – Фотография отпечатков из микротвердомера

Твердость материала  $H$  в зоне образования отверстия определяется в зависимости от диагонали отпечатка  $C$  с учетом дополнительного веса  $P$  по формуле: [35]

$$H = \frac{1,851 \cdot P}{C} \quad (4.2)$$

Результаты измерений сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты измерений микротвердости материала

№ отпечатка	$C$ , мкм	$H$ , кг/мм <sup>2</sup>
1	33,64	160
2	34,8	151
3	33,64	160
4	33,64	160
5	33,64	160
6	33,64	143
7	34,8	151
8	35,96	143
9	35,96	143
10	38,28	128
11	39,44	122
12	39,44	110
13	40,6	116
14	40,6	116

По результатам измерений был построен график, изображенный на рисунке 4.18.

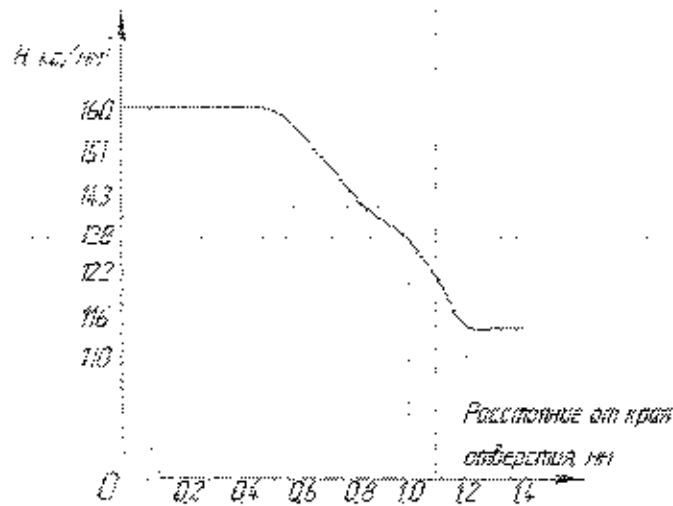


Рисунок 4.18 – График зависимости твердости  $H$ , кг/мм<sup>2</sup> от расстояния от края отверстия, мм

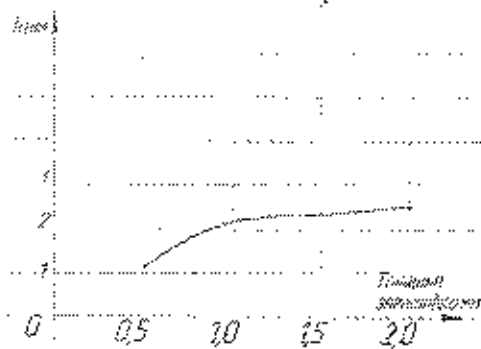
Из таблицы и графика видно, что по мере удаления отпечатков от зоны образования отверстия диагональ, а следовательно и площадь отпечатков, увеличивается, твердость металла снижается.

#### 4.3 Точность размеров отверстий сформированных термическим сверлением в листовых заготовках

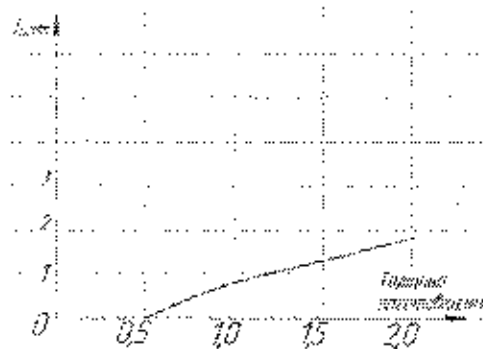
Для определения возможности применения данного метода на практике был проведен эксперимент, заключавшийся в том, что в листовой заготовке толщиной 2 мм были образованы 10 отверстий (рисунок 3.19). В качестве инструмента использовался пуансон  $d=4,2$  мм с углом заточки  $20^\circ$  и предохранительным конусом  $60^\circ$ , в качестве оборудования использовался вертикально-сверлильный станок 2Н125 (более подробно рассматривался в Главе 2.)

4.4 Рекомендации по применению формообразования отверстий с отбортовками под резьбу термическим сверлением в тонколистовых заготовках с применением подачи под заданной нагрузкой

1. Время начала процесс принять равным 0,5с.
2. По графику а) на рисунке 3.20, построенном по результатам таблицы 2.3, можно определить параметр  $h_1$ , мм для заготовок различных толщин, помимо рассмотренных в дипломном проекте.
3. По графику б) на рисунке 3.20, построенном по результатам таблицы 2.3, можно определить параметр  $h_2$ , мм для заготовок различных толщин, помимо рассмотренных в дипломном проекте.
4. По графику в) на рисунке 3.20, построенном по результатам таблицы 2.3, можно определить параметр  $h_1 + h_2 + b$ , мм для заготовок различных толщин, помимо рассмотренных в дипломном проекте.
5. По графику г) на рисунке 3.20, построенном по результатам таблицы 2.3, можно определить параметр  $b_0$ , мм для заготовок различных толщин, помимо рассмотренных в дипломном проекте.
6. По графику д) на рисунке 3.20, построенном по результатам таблицы 2.3, можно определить параметр  $b_s$ , мм для заготовок различных толщин, помимо рассмотренных в дипломном проекте.



а)



б)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
65

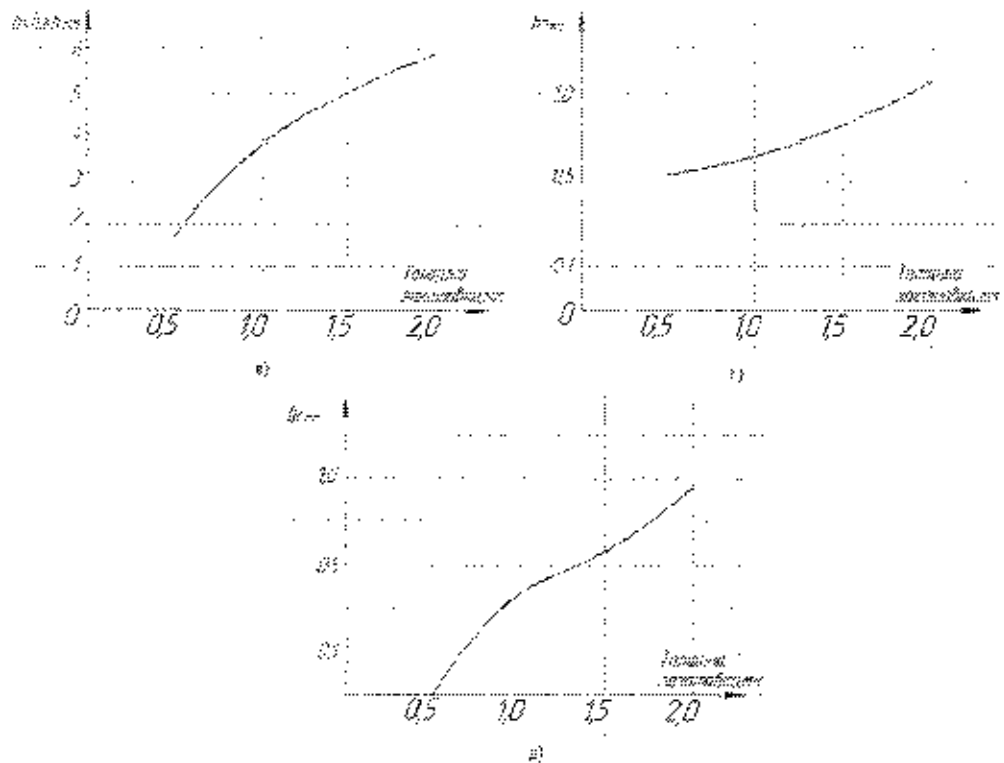


Рисунок 4.20 – Графики зависимости различных геометрических параметров отборонок от толщины заготовки

7. Для получения отверстия под резьбу М5 выбирается инструмент диаметром 4,2 мм.

Выводы по исследованию:

1. Определены стадии процесса
2. Изменение фиксируемой осевой силы и температуры процесса с подачей под заданной нагрузкой начинается после 0,4 с от начала процесса.
3. Выявлена зависимость геометрии отборонок от подачи и толщины заготовки.
4. Выявлена зависимость прочности резьбового соединения на срез от подачи.
5. Доказано упрочнение материала в зоне образования отверстия.
6. Получаемое отверстие соответствует допуску внутреннего диаметра 7 степени точности.
7. Даны рекомендации по использованию метода в производстве.

#### 4.5 Экономическое обоснование ВКР

Цель экономической части дипломного проекта - при помощи всесторонней оценки, анализа и расчетов доказать экономическую целесообразность и техническую возможность разработки и реализации конкретной темы проекта.

Экономическая оценка альтернативных вариантов принципиальных решений по автоматизации производственных процессов проводится путем сравнения экономических результатов проектирования и использования новой системы с базовым вариантом. В качестве критерия сравнения вариантов выбирается показатель приведенных затрат, отражающий текущие затраты и капитальные вложения. При рассмотрении двух вариантов тот вариант является наилучшим, которому соответствует минимум приведенных затрат.

Решение о целесообразности создания и внедрения новой техники принимается на основе расчета годового экономического эффекта, который представляет собой суммарную экономию всех производственных ресурсов, которую получает предприятие в результате использования новых средств автоматизации. При оценке эффективности предлагаемых проектных решений по автоматизации технологических процессов нужно четко представлять, что принесет внедрение каждой локальной системы, соизмеримы ли затраты на ее внедрение и эксплуатацию с экономическим эффектом, который может быть получен при ее использовании.

Основным показателем экономической эффективности является рентабельность. Для ее расчета необходимо знать себестоимость ВКР, включающую в себя затраты на материал, инструмент, канцтовары, электроэнергию и амортизацию (таблицы 4.5-4.11). Время написания ВКР за отведенные 2 года составляет приблизительно 80 недель.

Затраты на материал:

Заготовки – сталь 08кп, 56 шт различной толщины.

Таблица 4.5 – Затраты на заготовки

Толщина, мм	Размер, мм	Кол- во, шт	Стоимость всего, руб
0,5	50x40	14	8388
1	50x40	14	9360
1,5	50x40	14	8064
2	50x40	14	8023
ИТОГО:			33835 руб

Затраты на инструмент:

Таблица 4.6 – Затраты на инструмент

Наименование	Количество, шт	Цена за шт, руб	Стоимость всего, руб
Шестигранник ВК6	1	150	150

Ножовка	2	221	442
Болт анкерный	15	30	450
Сверло Ø1 мм	4	51	204
Метчик	1	140	140
Накладная бумага	5	70	350
Эпоксидная смола	15 мл	3,75	3,75
ИТОГО:		1739,75 руб	

Канцтовары - затраты на канцтовары, включающие в себя печатную бумагу для распечатки частей ВКР с целью консультирования и черновики, исписанные вручную, представлены в таблице 4.8:

Таблица 4.7 – Затраты на канцтовары

Материал	Цена, руб	Кол-во, шт	Стоимость всего, руб
Бумага	0,5	700	350
Ручки, карандаши	20	4	80
ИТОГО:		430 руб	

Затраты на электроэнергию всех используемых при написании ВКР электроприборов представлены в таблице

Таблица 4.8 – Затраты на электроэнергию

	Станки и оборудование	Мощность, кВт	Продолжительность пользования, ч	Тариф кВт/ч, руб	Затраты за 2 года, руб
1	Вертикально – сверлильный станок 2Н125	4	80	2,74	13,76
2	Универсально-заточной станок 3Д642Е	2,2	2		,056
3	Малый инструментальный микроскоп	0,03	14		,805
4	Многоканальный усилитель заряда	2,2	25		06,5
5	Многокомпонентный динамометр	2,2	25		06,5

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

6	Мультиметр S-Line	1	80	136,4
	Станок заточной 3E642A	4,5	4	0,688
	Разрывная машина Tinius Olsen H100KU	2	1	,836
	Модульная шлифовально- полировальная система Struers TegraSystem	5,5	0,5	,535
	Лампа накаливания	0,0 3	1220	4,45
	ПК	0,6	1120	288
ИТОГО:				2370,53 руб

5) При написании ВКР получены консультации руководителя ВКР, инженеров кафедры «Технология машиностроения», инженера лабораторного корпуса. Рассчитанные затраты из зарплаты консультантам представлены в таблице 4.10:

Таблица 4.9 – Затраты на зарплату консультантам

Должность консультанта	З/п за месяц, руб	З/п за час, руб	Кол-во уделяемых часов, ч	Затраты на з/п за 2 года, руб
Руководитель ВКР	17000	101	120	12120
Инженер кафедры	8000	50	24	1200
Инженер кафедры	8000	50	0,5	25
Инженер лабораторного корпуса	15000	94	2	188
ИТОГО:				13533 руб
Отчисление во внебюджетные фонды по зарплате:				4005,9 руб
Общие затраты по зарплате:				17538,9

6) В таблице 4.11 представлена амортизация помещений для проведения экспериментов (учебные аудитории с наличием станков, лабораторный корпус), жилое помещение, используемое для работы, производственный инвентарь (парты, стулья), оборудование для опытов и измерительные приборы (все, перечисленное в главах 2, 4).

Таблица 4.10 – Амортизация используемых помещений, оборудования и инвентаря



Наименование	Стоимость, руб	Время использования, дней	Амортизация, руб
Жилое помещение, используемое для работы	1000000	24	40000
Персональный компьютер	25000	24	10000
Помещения для проведения экспериментов	900000	1	1500
Оборудование для опытов:			
Вертикально сверлильный станок 2Н125	294000	12	2099
Универсально-заточной станок 3Д642Е	160000	0,083	7,90
Станок заточной 3Е642А	1272000	0,25	186,9
Разрывная машина Tinius Olsen H100KU	2500000	0,0416	61,9
Модульная шлифовально-полировальная система Struers TegraSystem	257000	0,0208	3,28
Измерительные приборы:			
Малый инструментальный	145000	0,416	35
Многоканальный усилитель заряда	140000	12	999
Многокомпонентный динамометр	200000	12	1428
Мультиметр S-Line	1200	0,12	10
Производственный инвентарь	6000	24	2400
ИТОГО:		115051,96	

Общие затраты на написание НИР сведены в таблицу 4.12, где в итоге посчитана себестоимость НИР.

Общие затраты на написание НИР сведены в таблицу 4.12, где в итоге посчитана себестоимость НИР.

Таблица 4.11 – Общие затраты

Статья затрат	Сумма, руб
1) Затраты на материал	33835,00
2) Затраты на инструмент	1739,75
3) Затраты на канцтовары	430,00
4) Затраты на электроэнергию	2370,53
5) Затраты на зарплату	17538,9
6) Амортизация	115051,96
<b>ИТОГО (себестоимость НИР):</b>	<b>170966,14</b>

Рентабельность ВКР рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{\text{ВКР}} = \frac{\Pi_{\text{ч}}}{C_{\text{ВКР}}} \cdot 100\%, \quad (4.7)$$

где  $P_{\text{ВКР}}$  – это рентабельность ВКР;

$\Pi_{\text{ч}}$  – чистая прибыль от продажи ВКР, руб;

$C_{\text{ВКР}}$  – себестоимость ВКР.

Чистая прибыль  $\Pi_{\text{ч}}$  рассчитывается по формуле:

$$\Pi_{\text{ч}} = \Pi_{\text{ВКР}} \cdot 1 \text{ шт} - C_{\text{ВКР}}, \quad (4.8)$$

где  $\Pi_{\text{ВКР}}$  – это цена ВКР, рассчитываемая следующим образом:

$$\Pi_{\text{ВКР}} = C_{\text{ВКР}} + \Pi_{\text{пл}}, \quad (4.9)$$

где  $\Pi_{\text{пл}}$  – планируемая прибыль от продажи исследований, которая принимается за 25 % от себестоимости ВКР.

Таким образом, цена ВКР  $\Pi_{\text{ВКР}}$  равна:

$$\Pi_{\text{ВКР}} = 170966,14 \cdot 1,25 = 213707,675 \text{ рублей.}$$

Тогда Чистая прибыль  $\Pi_{\text{ч}}$  равна:

$$\Pi_{\text{ч}} = 213707,675 \cdot 1 - 170966,14 = 42741,535 \text{ рублей.}$$

Итак, рентабельность ВКР:

$$P_{\text{ВКР}} = \frac{42741,535}{170966,14} \cdot 100\% = 24,9\%$$

В результате можно заключить вывод, что рентабельность ВКР приемлема, т.к. выше 10%.

4.5 Рекомендации по применению формообразования отверстий с отбортовками под резьбу термическим сверлением в тонколистовых заготовках с применением принудительной подачи

- По таблицам 2.2 и 2.3 определяются геометрические параметры отбортовок в зависимости от толщины заготовки и подачи.
- По графикам, изображенным на рисунке 4.4, определяется прочность получаемого резьбового соединения.
- Для получения отверстия под резьбу М5 выбирается инструмент диаметром 4,2 мм.

						15090062.2014.1887.420	лист
Изм.	Вып.	№ докум.	Подпись	Дата			72

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В данной работе были выполнены все поставленные задачи: определены стадии процесса, геометрия отбортовок, полученных под заданной нагрузкой в заготовках различной толщины, сравнены расчетная и экспериментальная прочность резьбового соединения на срез, определена микротвёрдость материала заготовки в зоне образования отбортовок, определена возможность применения метода на практике и рассчитано поле рассеивания полученных диаметров отверстий. Произведен обзор источников литературы по заданной теме, приведена методика изготовления заготовок и инструмента, описание экспериментальной установки и проведения экспериментов, описаны результаты экспериментов и сделаны соответствующие выводы, приведены рекомендации по использованию рассматриваемого метода в производстве.

По проведенным исследованиям были заключены основные выводы:

- 1) Изменение фиксируемой осевой силы и температуры процесса с подачей под заданной нагрузкой начинается после 0,4 с от начала процесса.
- 2) Выявлена зависимость геометрии отбортовок от подачи и толщины заготовки.
- 3) Смоделирована экспериментально осевая сила и температура в зоне резания, *геометрия нижних отбортовок.*
- 4) Выявлена зависимость прочности резьбового соединения на срез от подачи.
- 5) Доказано упрочнение материала в зоне образования отверстия.
- 6) Получаемое отверстие соответствует допуску внутреннего диаметра 7 степени точности.
- 7) Рентабельность данного исследования составляет 25%.
- 8) Даны рекомендации по использованию метода в производстве.

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 24705-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры.
2. Иосилевич, Г.Б. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Прагер, А.И. А.с. 392530 МКИ В 23В51102. Инструменты для выполнения отверстий в литых деталях.
4. Степанский, Л.Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1979. – 213 с.
5. Centredrill [Электронный ресурс] / Centerdrill GmbH, 2002 – <http://www.centerdrill.de/>
6. [http://kipo.spb.ru/formovka\\_otverstiy\\_treni](http://kipo.spb.ru/formovka_otverstiy_treni)
7. Шаламов, П.В. Формообразование отверстий под резьбу вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках: дис. ... канд. техн. наук / П.В. Шаламов. – Ч., 2012. – С. 153.
8. Пат. 592530 СССР М.Кл.2 В23 В 51/02 Инструмент для выполнения отверстий в листовых изделиях / Прагер, А.И., Дубровин Л.Н., Шенев И.С. № 2126234/25-08; заявл. 31.04.75; опубл. 15.02.78; Бюл. №6 – <http://patentdb.su/2-592530-instrument-dlya-polucheniya-otverstij-v-listovykh-izdeliyakh.html>
9. FormDrill [Электронный ресурс] / Unimex-FormDrill, 2006 – <http://formdrill.com/english/formdrill.htm>.
- 10 14 ГОСТ Р 52781-2007 Круги шлифовальные и заточные
- 11 Настройка и настройка вертикально-сверлильного станка модели 2Н125 на обработку детали: методические указания / сост. И.П. Никитина. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 52 с.
- 12 <http://www.s-line.ru/catalog/Multimetry/260/>
- 12 Dr. Josef Raabe Verlags – GmbH / The fascinating world of sheet metal
- 13 <http://www.ihsgrbh.ru/stanki/trumpf-kombinirovannye-mashiny>
- 14 Рыкалин Н.Н. Расчет тепловых процессов при сварке / Н.Н. Рыкалин. – М.: Mashgiz, 1951, – 206 с.
- 15 Алифанов, А.В. Технологические процессы пластического деформирования / А.В. Алифанов, Л.В. Захаревич // АН БССР. Физ. Техн. н-т. – Минск: Наука и техника, 1989. – 207 с.
- 16 Ункстов, Е.П. Инженерные методы расчета условий при обработке металлов давлением / Е.П. Ункстов. – М.: Mashgiz, 1955. – 280 с., Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
- 17 Гофман, О. Введение в теорию пластичности / О.Гофман; пер. с англ. – М.: Гос. из-во научн. литературы, 1957. – 279 с.
- 18 Tool wear in friction drilling / Scott F. Miller, Peter J. Blau, Albert J. Shih/ International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 1636–1645

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Лист  
74

19 Machining characteristic study of friction drilling on AISI 304 stainless steel/ Han-Ming Cho, Shin-Min Lee, Lieh-Dai Yang/ journal of materials processing technology 207 (2008) 180–186

20 Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN- and TiAlN-coated tungsten carbide tools / Shin Min Lee, Han Ming Chow, Fuang Yuan Huang, Bing Hwa Yan / International Journal of Machine Tools & Manufacture 49 (2009) 81–88

21 W. Kalss, A. Reiter, V. Derffinger, C. Gey, J.L. Endrino, Modern coatings in high performance cutting applications, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 24 (5) (2006) 399–404

22 Friction drilling of cast metals/ Scott F. Miller, Jia Tao, Albert J. Shih/ International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 1526–1535

23 Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения / И.В.Крагельской, И.Э. Виноградова; под ред. И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1980, – 324 с.

24 Шаламов В.Г. Математическое моделирование при резании металлов: учебное пособие / В.Г. Шаламов. Челябинск: – Изд-во ЧГТУ, 1995. – 122 с.]

25 Гузеев, В.И. Определение геометрических размеров отбортовки, полученной методом термического сверления в тонколистовом металле / В.И. Гузеев, П.В. Шаламов, Э.Е. Шульц // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2006. – С. 175–178.

26 Томсен, Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши. – М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.

27 <http://www.kistler.com/>

28 Пат. 116388 Российская Федерация МПК: В23В Установка для формообразования отверстий с отбортовками в тонколистовых заготовках / Шаламов П.В., Гузеев В.И. № 2011150567; опубли. 12.12.11 – <http://bankpatentov.ru/node/207414>

29. Золотов, О.В. Совершенствование технологии обработки тонкостенных деталей методом пластического сверления / О.В. Золотов [Электронный ресурс]. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – М.: РГБ, 2007. – 162 с.

30. Buchsen imblech: Flieblochbohren auf NC-Maschinen/ Tikal Franz, Guthoil Peter, Scherm Woltgung// Fertigung/ - 1993 – 21, №6. – P. 48-50.

31. Verbindungs – buchsen durch neuartige Fließbohrtechnik. “Metallhand werh + Techn.”, 1980, 82, №3.

32. Хренов, К.К. Сварка, резка и пайка металлов / К.К. Хренов. – М.: Машиностроение, 1970. – 405 с.

33 Шаламов В.Г. Математическое моделирование при резании металлов: учебное пособие / В.Г. Шаламов. Челябинск: – Изд-во ЧГТУ, 1995. – 122 с.

34 Гузеев, В.И. Определение геометрических размеров отбортовки, полученной методом термического сверления в тонколистовом металле / В.И. Гузеев, П.В. Шаламов, Э.Е. Шульц // Прогрессивные технологии в

					15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР	Лист 75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

машиностроении: сб. науч. тр. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2006. – С. 175–178.

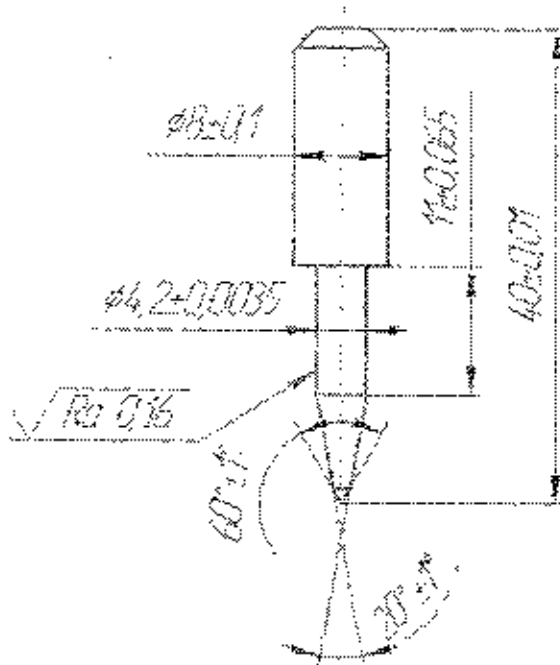
					15090062.2016.1887.420 ЛЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	ИЗ ВКР	Собиратель	Дата		76



ПРИЛОЖЕНИЕ А

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

$\sqrt{Ra 6,3}$  (✓)



1. 52.54HRC

2. Незначительные предельные отклонения размеров H14, h14 IT14/2

Повышение прочности резьбы в тонкостенных заготовках методом сверления с применением подмы под заданной нагрузкой

15090062.2016.1887.420 ПЗ ВКР

Исполнитель	№ докум.	Дата	Лист
Проверено	Утверждено	16.06	
Контр.	Исполнено	16.06	
Сверлено			

ПУАНСОН

ВК 6

Лист	Итого	Контракт
		11
Лист	Итого	
		Кафедра
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОЛЛЕКТИВ		

Копировать

Сторона А

СОДЕРЖАНИЕ

**Расчет и конструирование**

ГОЛОВАТЕНКО В.Д., ГОЛОВАТЕНКО А.В. Экспериментальное определение скорости прохождения кумулятивной струи через разрушаемую преграду .....	5
ВАУЛИН С.Д., ФЕДОРОВ В.Б., ФЕДОРОВ А.В. Методы расчета и экспериментального определения характеристик бесконтактных сверхвысокоскоростных роторных систем .....	11
РОЖДЕСТВЕНСКИЙ Ю.В., ГАВРИЛОВ К.В., ЧЕРНЕЙКО С.В. Пути повышения несущей способности гидродинамических трибосопряжений текстурированием поверхностей трения .....	16
МАЛЕНКО П.И. Исследование методом молекулярной динамики диффузионных процессов в поверхностных слоях нитрированных теплоустойчивых сталей в процессе трения скольжения с ресурсным смазыванием .....	22
STRZELECKI S., KAFUSTA H. Maximum oil film temperature of 8-lobe journal bearings .....	30
ТАРАНЕНКО И.А., СТЕВА О.К., ЗАДОРЖНАЯ Е.А., ХОЗЕНКОК И.А. Анализ динамики ротора турбокомпрессора на подшипниках скольжения с плавающим углом .....	38
ДУДКЕН М.М. Трехфазное нагрузочно-питательное устройство с интегрирующей системой управления для испытания и исследования электротехнического оборудования .....	49

**Технология**

ШАЛАМОВ П.В., САВЕЛБЕВ Д.А., МИРОНОВА Н.Д., КАЗАНЦЕВА Ю.В. Формообразование отверстий под резьбу вращающимся инструментом в тонколистовых заготовках с прикладной подачей .....	62
ШАЛАМОВ В.Г., СМЕТАНИН С.Д., ГОЛОСНИКОВ А.И. Экспериментальное определение коэффициента усадки стружки при ротационном фрезеровании .....	68

**Контроль и испытания**

SHCHUROV I.A. Axis determination for calculation of virtual pitch diameter of a thread given by point cloud from CMM .....	76
--	----

# Технология

УДК 621.981.621.9

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ ПОД РЕЗЬБУ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПУАНСОНОМ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ

П.В. Шаламов, Д.А. Сагальев, Н.Д. Миронова, Ю.В. Казанцева

Для обеспечения достаточной прочности резьбового соединения необходимо образование не менее трех витков резьбы. В заготовках толщиной менее 2 мм длина свинчивания обеспечивается за счет гибки листа, запрессовочного крепежа, холодной штамповки и других методов, которые требуют затрат времени, дополнительных операций, технологической оснастки, оборудования, рабочей силы. В статье рассмотрен способ получения отверстий под резьбу вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках. Метод безотходен и не требует применения специального оборудования, в длина свинчивания обеспечивает образованием отбортовок вокруг отверстия. По характеру образования отверстия установлены пять стадий протекания процесса. Указанные стадии образования отверстия наблюдаются при различных схемах формообразования: при постоянной нагрузке и принудительной подаче. Рассмотрено влияние толщины заготовки и принудительной подачи на геометрию полученных отбортовок: высоту и толщину основания верхней и нижней отбортовки. Из экспериментальных данных видно, что с уменьшением толщины заготовки уменьшается высота и толщина оснований нижней и верхней отбортовок. При этом на заготовках толщиной 0,5 мм верхняя отбортовка не образуется. С увеличением подачи уменьшаются высота и увеличиваются толщина верхней и нижней отбортовок. Это наблюдается на заготовках всех рассматриваемых толщин (0,5...2,0 мм). Приведена расчетная и фактическая прочность полученного резьбового соединения на срез. Показано, что фактическая прочность полученного резьбового соединения выше расчетной за счет повышения микротвердости в зоне образования резьбы. Приведены результаты измерений микротвердости. Для определения возможности применения данного метода в производстве было определено поле рассеивания получаемого диаметра отверстия для сравнения с допуском по ГОСТ 16093-2004. Показано, что полученное отверстие соответствует допуску внутреннего диаметра резьбы 7 степени точности, что позволяет использовать метод в производстве.

*Ключевые слова:* тонколистовая заготовка, пуансон, прочность, микротвердость, заданная нагрузка, принудительная подача.

В машиностроении широко применяются изделия из тонколистовых заготовок толщиной менее 2,0 мм (кожухи, кузова, крышки, ёмкости, заливщики, поддоны, коллекторы, теплообменники и др.), которые предусматривают резьбовое крепление к ним различных комплектующих деталей. Для обеспечения достаточной прочности резьбового соединения необходимо образование не менее трех витков резьбы [2]. Длина свинчивания обеспечивается за счет гибки листа, запрессовочного крепежа, холодной штамповки и другими методами, которые требуют затрат времени, дополнительных операций, технологической оснастки, оборудования, рабочей силы [1].

Решением данной проблемы может стать способ увеличения длины свинчивания за счёт пластического деформирования тонколистовой заготовки вращающимся пуансоном. Метод безотходен, не требует применения специального оборудования [3, 4, 9, 10].

По характеру образования отверстия установлены пять стадий протекания процесса (рис. 1). На первой стадии наблюдается внедрение предохранительного конуса инструмента в заготовку и начало образования верхней отбортовки отверстия. На второй стадии – внедрение конусной час-

ти инструмента и начало образования нижней отбортовки. На третьей стадии – разрыв нижней кромки заготовки. На четвертой стадии – начало внедрения цилиндрической части инструмента в заготовку. На пятой стадии – выход цилиндрической части инструмента из заготовки и окончательное формирование отверстия в заготовке.

Указанные стадии образования отверстия наблюдаются при различных схемах формообразования: при постоянной нагрузке и принудительной подаче. Схема с постоянной нагрузкой рассмотрена в работе [4].

Рассмотрены особенности принудительной подачи. Для этого проведен ряд экспериментов с заготовками различных толщин (0,5; 1; 1,5; 2 мм). Подача принималась 0,1 мм/об, 0,2 мм/об и 0,4 мм/об. Измеряемые параметры отборок приведены на рис. 2, а результаты измерений сведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что с уменьшением толщины заготовки уменьшаются высоты ( $h_1, h_2$ ) и толщины ( $b_0, b_n$ ) оснований нижней и верхней отборок. При этом увеличиваются соотношения  $h_1/h_2$  и  $b_0/b_n$ , а на заготовках толщиной 0,5 мм верхняя отбортовка не образуется. При увеличении подачи уменьшаются высоты и увеличиваются толщины верхней и нижней отборок. Это наблюдается на заготовках всех рассматриваемых толщин.

Зная геометрические параметры отборок, можно провести расчет прочности резьбового соединения на срез по известной формуле [5]:

$$F_{ср} = \pi d L_{ср} K_1 K_n \tau_{ср}, \quad (1)$$

где  $d$  – внутренний диаметр резьбы гайки, мм;  $L_{ср}$  – длина сжатывания, мм;  $K_1$  – коэффициент поправки на длину резьбы, характеризующий длину контакта (перекрывание) витков резьбы болта и гайки. Для метрической резьбы  $K_1 = 0,8$  [5];  $K_n$  – коэффициент, учитывающий неравномерность деформирования витков по высоте гайки при наличии пластической деформации,  $K_n = 0,75$  [5];  $\tau_{ср}$  – предел прочности на срез, МПа. Сталь 08кп  $\tau_{ср} = 200$  МПа [6].

Для сравнения фактической и расчетной прочности резьбы на срез проводились эксперименты по разрушению полученных резьбовых соединений. Результаты приведены в табл. 2.

Рис. 2. Измеряемые параметры:  $h$  – толщина заготовки, мм;  $h_1$  – высота нижней отбортовки, мм;  $h_2$  – высота верхней отбортовки, мм;  $b_0$  – толщина основания нижней отбортовки, мм;  $b_n$  – толщина основания верхней отбортовки, мм;  $b_1, b_2$  – толщины нижней отбортовки в трех сечениях, мм

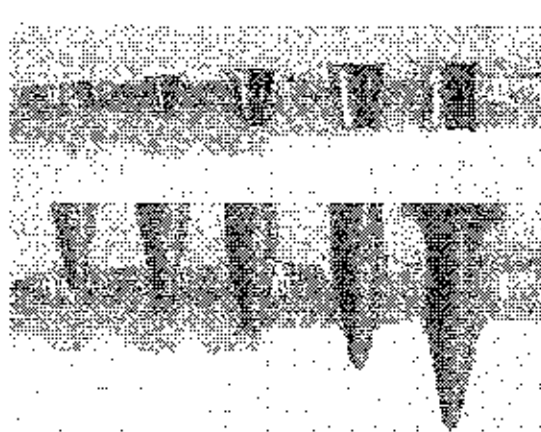
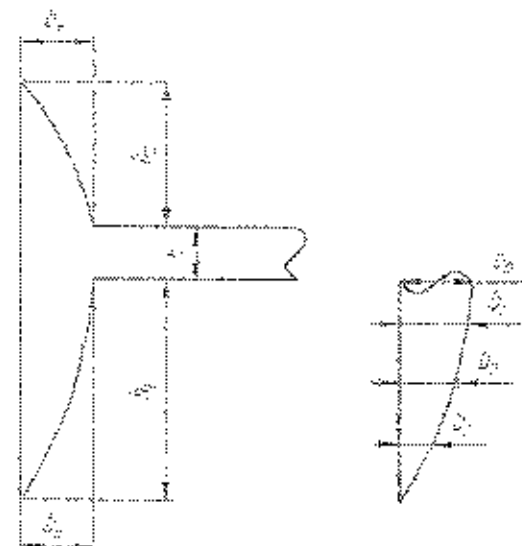


Рис. 1. Стадии протекания процесса



Видно, что в отверстиях, образованных с принудительной подачей, значения расчетной прочности резьбы на срез отличаются не более чем на 2 % от фактической прочности. Фактическая прочность резьбы на срез значительно выше расчетной независимо от характера образования отверстия. Было сделано предположение, что это происходит из-за упрочнения материала в зоне образования отверстия. Для подтверждения этого предположения сравнивали

## Технология

значения прочности резьбы в отверстиях, образованных сверлением и вращающимся пуансоном. Для обеспечения одинаковой длины свинчивания отбортовки отверстия, образованного вращающимся пуансоном срезались. Фактическая сила среза резьбового соединения в отверстиях, образованных вращающимся пуансоном, выше в 1,5 раза, чем в образованных сверлением. Повышение прочности связано с увеличением твердости материала. Для проверки этого предположения провели измерения микротвердости (14 измерений на расстоянии 0,1 мм друг от друга, рис. 3, а).

Средние значения параметров геометрии отбортовок

Таблица 1

Толщина пластины, мм	Подача, мм/об	$r_1$ , мм	$d_2$ , мм	$L_{от} = d_1 + d_2 + L_1$ , мм	$d_{от}$ , мм	$b_{от}$ , мм	$d_{от2}$ , мм	$d_{от3}$ , мм	$d_{от4}$ , мм
2	0,1	2,34	1,06	5,4	0,91	0,78	0,76	0,66	0,42
	0,2	2,35	1,01	5,35	0,98	0,73	0,79	0,65	0,39
	0,4	2,12	0,88	4,99	1,13	0,8	1	0,86	0,48
1,5	0,1	2	0,79	4,1	0,71	0,48	0,64	0,56	0,28
	0,2	1,84	0,75	4,11	0,95	0,51	0,93	0,69	0,37
	0,4	1,94	0,49	3,89	0,88	0,55	0,86	0,58	0,47
1	0,1	2,09	0,6	3,69	0,74	0,43	0,69	0,51	0,37
	0,2	1,79	0,45	3,24	0,9	0,48	0,75	0,52	0,33
	0,4	1,76	—	2,88	1,01	—	0,73	0,64	0,44
0,5	0,1	1,54	—	2,94	0,72	—	0,47	0,37	0,36
	0,2	1,47	—	1,97	0,53	—	0,44	0,47	0,33
	0,4	1,46	—	2,18	0,59	—	0,5	0,39	0,3

Результаты расчетной и фактической прочности резьбового соединения на срез

Таблица 2

Характер образования отверстия	Расчетная сила среза $F_{ср}$ , Н	Фактическая сила среза $F_{ср}$ , Н
Сверление	3165,1	4210
При нагрузке 50 Н со срезными отбортовками	3165,1	6320
Принудительная подача $S = 0,1$ мм/об, с отбортовками	5563,7	8650
Принудительная подача $S = 0,2$ мм/об, с отбортовками	5495,4	8620
Принудительная подача $S = 0,4$ мм/об, с отбортовками	3035,5	8630

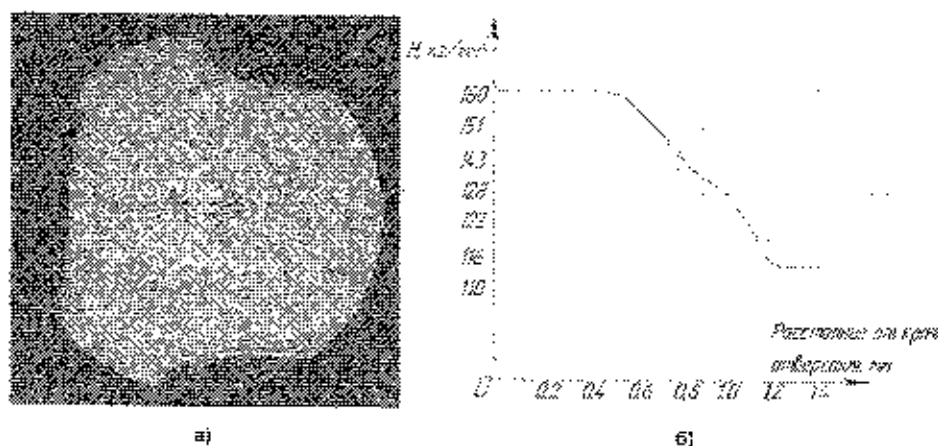


Рис. 3. Исследование микротвердости: а — фотография отпечатков из микротвердомера; б — изменение твердости  $H$ , кг/мм<sup>2</sup>, по сечению образца

Твердость материала  $H$  в зоне образования отверстия определяется в зависимости от диагонали отпечатка  $C$  с учетом прикладываемой нагрузки (в данном случае  $P = 1H$ ) по формуле [7]:

$$H = \frac{1,851 \cdot P}{C} \quad (2)$$

Результаты измерений представлены на графике (рис. 3, 6).

Из графика видно, что в зоне образования отверстия микротвердость материала выше, что и объясняет повышение прочности резьбового соединения.

Для определения возможности применения данного метода в производстве было определено поле рассеивания получаемого диаметра отверстия для сравнения с допуском по ГОСТ 16093-2004 [7]. На заготовке толщиной 2 мм были образованы 10 отверстий и измерены внутренние диаметры верхних и нижних отбортовок по двум взаимно перпендикулярным осям. Для определения поля рассеивания получаемого диаметра рассчитывалось среднее значение показателя выборочной совокупности диаметров отверстий [9] по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3)$$

где  $n$  – количество экспериментов;  $x_i$  – средний диаметр отверстия в каждом эксперименте по двум координатным осям, мм.

Среднее значение недостаточно полно характеризует выборку. Для оценки степени разброса (отклонения) показателей диаметров верхней и нижней отбортовок от его среднего значения использовали понятие среднеквадратического отклонения, которое рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4)$$

Величина доверительного интервала и доверительной вероятности зависят от числа измерений. При малом числе опытов используется распределение Стьюдента. При доверительной вероятности 0,95 коэффициент Стьюдента  $t_\alpha = 2,3$ . Тогда доверительный интервал рассчитывается по формуле:

$$\Delta = t_\alpha \sigma. \quad (5)$$

Доверительный интервал разброса диаметров отверстий составил 0,248 мм для верхней отбортовки и 0,282 мм для нижней отбортовки отверстий. Таким образом, можно сказать, что диаметр верхней отбортовки отверстия будет составлять  $4,425 \pm 0,12$  мм, а нижней –  $4,268 \pm 0,14$  мм.

Из полученных результатов видно, что диаметр нижней отбортовки меньше. Это связано с усадкой металла в процессе его остывания. Отклонение в размерах составляет не более 4 %, что означает достаточную сходимость. Полученное отверстие соответствует допуску внутреннего диаметра резьбы 7 степени точности, что позволяет использовать метод в производстве.

#### Литература

1. ГОСТ 16093-2004 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором. – М.: Стандартинформ, 2005. – 39 с.
2. Иванов, М.Н. Детали машин: учеб. для вузов / М.Н. Иванов; под ред. В.А. Финогенова. – М.: Высш. шк., 2000. – 382 с.
3. Шаламов, П.В. Формообразование отверстий вращающимся пуансоном в листовой заготовке / П.В. Шаламов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2011. – Вып. 18. – № 31 (248). – С. 81–84.
4. Шаламов, П.В. Формообразование отверстий под резьбу вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках: дис. ... канд. техн. наук / П.В. Шаламов. – Челябинск, 2012. – С. 153.
5. Verbindungsbuchsen durch nemürige Fließblechtechnik // Metallhandwerk + Techn. – 1980. – № 3.
6. Хренов, К.К. Сварка, резка и пайка металлов / К.К. Хренов. – М.: Машиностроение, 1994. – 405 с.
7. Моценко, В.И. Измерение микротвердости с неопределенностью / В.И. Моценко, Н.А. Далазарова, О.Н. Тимченко // Вестник Харьков. нац. авиационно-космич. ун-та. Приборостроение. – 2008. – Вып. 42. – № 9 (45). – С. 35–37.

## Технология

8. Гусев, В.И. Определение геометрических размеров отбортовки, полученной методом термического сверления в тонколистовом металле / В.И. Гусев, П.В. Шаламов, Э.Е. Шульц // *Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр.* – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – С. 175–178.

9. *FormDrill*, 2014. – <http://formdrill.com/english/formdrill.htm>.

10. *Centerdrill*, 2014. – <http://www.centerdrill.de/>.

11. *Nanyang Technological University, School of Mechanical and Aerospace Engineering, On the influence of workpiece material on friction in microforming and lubricant effectiveness // Journal of Materials Processing Technology.* – 2014. – April. – P. 998–1007.

**Шаламов Павел Викторович.** Доцент кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [traktor1977@mail.ru](mailto:traktor1977@mail.ru).

**Савельев Данил Алексеевич.** Инженер кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [savelovda@susu.ac.ru](mailto:savelovda@susu.ac.ru).

**Миронова Наталья Дмитриевна.** Студент кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [natalia-4774@mail.ru](mailto:natalia-4774@mail.ru).

**Казанцева Юлия Валерьевна.** Студент кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [juliakznsv@mail.ru](mailto:juliakznsv@mail.ru).

*Поступила в редакцию 29 мая 2014 г.*

*Bulletin of the South Ural State University  
Series "Mechanical Engineering Industry"  
2014, vol. 14, no. 3, pp. 62–67*

## FORMING OF TAP HOLES BY ROTATING PUNCH MADE BY FORCE-FED IN THIN SHEET WORKPIECES

*P.V. Shalakov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, traktor1977@mail.ru,*

*D.A. Saveliev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, savelovda@susu.ac.ru,*

*N.D. Mironova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, natalia-4774@mail.ru,*

*J.V. Kazantseva, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, juliakznsv@mail.ru*

For reaching the sufficient strength of threaded connection it is necessary to make 3 or more turns of thread. In bars with thickness less than 2 mm the length of screwing is reaching by bending of sheet, pressing connection, cold stamping and other ways, which demand the time requirements, additional operations, technical equipment, workforce. The article shows the way of making holes for thread by rotating punch in sheet blanks. There are five steps of process being held. The following steps of forming the holes are used in following ways: with constant load and forced feed. Considered the influence of bar thickness and forced feed on geometry of resulting extractings: height and thickness of upper and lower bases of extracting. From experiment data it's clear that reducing of bar thickness, the height and thickness of upper and lower extractings bases. Herewith on bars with 5 mm thickness upper extracting is not being formed. Feed increasing causes the reduction of height and increasing the thickness of upper and lower extractings. It can be seen on bars with all kinds of thickness (0,5...2,0 mm). Calculated and actual strength of gained threaded connection on slice is submitted. Also there is submitted that actual strength of gained threaded connection is higher than calculated, because of increasing micro hardness in threading zone. The result of micro hardness measuring are assumed. To identify the opportunity of using this method in industry the field of disposition of gained diameter was spotted in comparison with limit by GOST 16093-2004. Also the gained hole corresponds the



7th limit of accuracy of inner diameter of thread, what allows to use this method in industry.

*Keywords:* thin sheet workpiece, punch, connection, micro hardness, transmission set, force-fed.

#### References

1. GOST 16093-2004 *Osnovnye normy vzaimozamenyayemosti. Rez'ba metricheskaya. Dopuski. Posadki s zazorom* [State Standard 16093-2004. Basic rules of interchangeability. Metric thread. Tolerances. Landing with a Backlash]. Moscow, Standartinform, 2005. 39 p.
2. Ivanov M.N. *Detali mashin. Uchebnik dlya vuzov* [Machine Parts: Textbook for High Schools]. Moscow Vysshaya shkola Publ., 2000. 382 p.
3. Shtal'manov P.V. [Manufacturing of the Hole Made by Rotating Tool in Sheet Blank]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2011, iss. 18, no. 31 (248), pp. 81-84. (in Russ.)
4. Shalamov P.V. *Formobrazovanie otverstiy pod rez'bu vrashchayushchinsya puansonom v tonkolistovyykh zagotovkakh. Dis. kand. tekhn. nauk* [Manufacturing of The Hole Made by Rotating Tool in Thin Sheet Blank. Cand. Sci. Diss.]. Chelyabinsk, 2012. 153 p.
5. Verbindungs Buchsen Durch Neuartige Fließblechtechnik. *Metallhandwerk + Techn.*, 1980, no. № 3 (82).
6. Hrenov K.K. *Svarka, rezka i puyka metallov* [Welding, Cutting and Soldering Metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1994. 405 p.
7. Moshchenok V.I., Lazareva N.A., Timchenko O.N. [Microhardness Testing with Nanoaccuracy]. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 2008, iss. 42, no. 9(45), pp. 35-37. (in Russ.)
8. Guzeev V.I., Shalamov P.V., Shult'e E.E. [Calculation Geometry of Heading Made by Technical Welding in thin Sheet Metal]. *Progressivnye tehnologii v mashinostroyeni: sb. nauch. tr.* [Progressiv Technology in Engineering: Collected Papers]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2006. pp. 175-178. (in Russ.)
9. FormDrill. Available at: <http://formdrill.com/english/formdrill.htm> (accessed 23.06.2014).
10. Centerdrill. Available at: <http://www.centerdrill.de/> (accessed 16.06.2014).
11. Nanyang Technological University. School of Mechanical and Aerospace Engineering, on the Influence of Workpiece Material on Friction in Microforming and Lubricant Effectiveness. *Journal of Materials Processing Technology*, April, 2014, pp. 998-1007.

Received 29 May 2014

1. Шаламов, В.Г. Выбор конструктивных параметров цилиндрических фрез / В.Г. Шаламов // Изв. вузов. Машиностроение. - 1987. - № 4. - С. 152-156.
2. Шаламов, В.Г. Увеличение амплитудой вынужденных колебаний при цилиндрическом фрезеровании / В.Г. Шаламов, Д.Ю. Топольев // Технологии и методы обеспечения машиностроительных производств: сб. науч. тр. 4-й международной научно-технической конференции / под ред. В.И. Гузенко и А.А. Давыдова. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. - С. 492-499.
3. Справочник технологии машиностроения. В 2 т. / под ред. А.Л. Косинкина, Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1988. - Т. 2. - 496 с.

УДК 621.9

## ТОЧНОСТЬ ОТВЕРСТИЙ ПОД РЕЗЬБУ, ОБРАЗОВАННЫХ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПУАНСОНОМ

*Н.В. Шаламов, Ю.В. Калашникова*  
Южно-Уральский государственный  
университет

Измерена точность отверстий под резьбу, образованных вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках, и доказано соответствие точности отверстий допуску внутреннего диаметра резьбы 7 степени точности.

Ключевые слова: формообразование отверстий, точность отверстий, пуансон.

Впервые идею об использовании тепла, выделяющегося в результате трения металлов для формообразования отверстий с отбортовками, сформулировал в 30-х годах XX века голландский инженер Жан Клод Де Вальер. Несмотря на то, что ему удалось разработать инструмент для формообразования отверстий с отбортовками, осуществить свою идею на практике и внедрить данную технологию в производство не удалось.

Этим методом могут быть образованы отверстия в заготовках с толщиной до 1,2 мм. Длина отбортовок, полученных отверстиями, равна предельной исходной толщине металла при диаметрах от 1,8 до 2,2 мм [1].

Сущность метода заключается в следующем: вращающийся инструмент воздействует на листовую заготовку. В результате трения в зоне контакта выделяется тепло, которое ее нагревает. Деформация металлов происходит сверху и снизу от заготовки, которая при этом деформируется. Относительное и могут быть полезны также для получения многократных в [1].

Для оценки точности оценки был проведен эксперимент, состоявший из 100 испытаний. В качестве исходных данных были использованы данные о количестве дефектов в партии из 100 изделий. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.



Рисунок 1. Зависимость отклонения от среднего значения от размера выборки.

Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что отклонение от среднего значения уменьшается по мере увеличения размера выборки. Это подтверждает теоретические выводы о том, что оценка среднего значения становится более точной по мере увеличения размера выборки.

Средняя

Таблица 1. Результаты эксперимента по оценке среднего значения.

№ опыта	Выборка (n)	Среднее значение	Отклонение от среднего значения
1	10	10.0	0.0
2	10	10.0	0.0
3	10	10.0	0.0
4	10	10.0	0.0
5	10	10.0	0.0
6	10	10.0	0.0
7	10	10.0	0.0
8	10	10.0	0.0
9	10	10.0	0.0
10	10	10.0	0.0
Среднее		10.0	0.0

Среднее значение отклонения от среднего значения равно нулю, что свидетельствует о том, что оценка среднего значения является несмещенной.

Результаты эксперимента подтверждают теоретические выводы о том, что оценка среднего значения становится более точной по мере увеличения размера выборки.

$$\sum_{i=1}^n x_i$$

где  $n$  — количество наблюдений,  $x_i$  — значение признака,  $\bar{x}$  — среднее значение признака.

$$\sum_{i=1}^n x_i^2$$

где  $n$  — количество наблюдений,  $x_i$  — значение признака,  $\bar{x}$  — среднее значение признака.

$$\sum_{i=1}^n x_i^3$$

где  $n$  — количество наблюдений,  $x_i$  — значение признака,  $\bar{x}$  — среднее значение признака.

где  $n$  — количество наблюдений,  $x_i$  — значение признака,  $\bar{x}$  — среднее значение признака.



## Библиографический список

1. Centedrill [Электронный ресурс] / Centedrill GmbH, 2009. <http://www.centedrill.de/>
2. Гусев, В.И. Определение геометрических размеров отбортовки, полученной методом термического сверления в тонколистовом металле / В.И. Гусев, П.В. Шаламов, Э.Е. Шульц // Прогрессивные технологии в машиностроении, сб. науч. тр. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2006. – С. 175–178.
3. ГОСТ 16093-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором.

УДК 621.9

### ВЗАИМОЗАМЕНИМОСТЬ АНОДНЫХ И КАТОДНЫХ ПЯТЕН ОТКРЫТОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

*А.Ю. Третьяков, Г.И. Сафонов  
Южно-Уральский государственный  
университет*

В статье рассматривается взаимозаменяемость катодных и анодных пятен открытой сварочной дуги, форма столба открытой сварочной дуги и влияние этих параметров на параметры сварочного шва. Ключевые слова: обжим и пароконденсатная пленка и катодная пятка, столб дуги.

На рис. 1 приведены фотографии отпечатков катодных и анодных пятен открытой сварочной дуги при независимом их формировании.

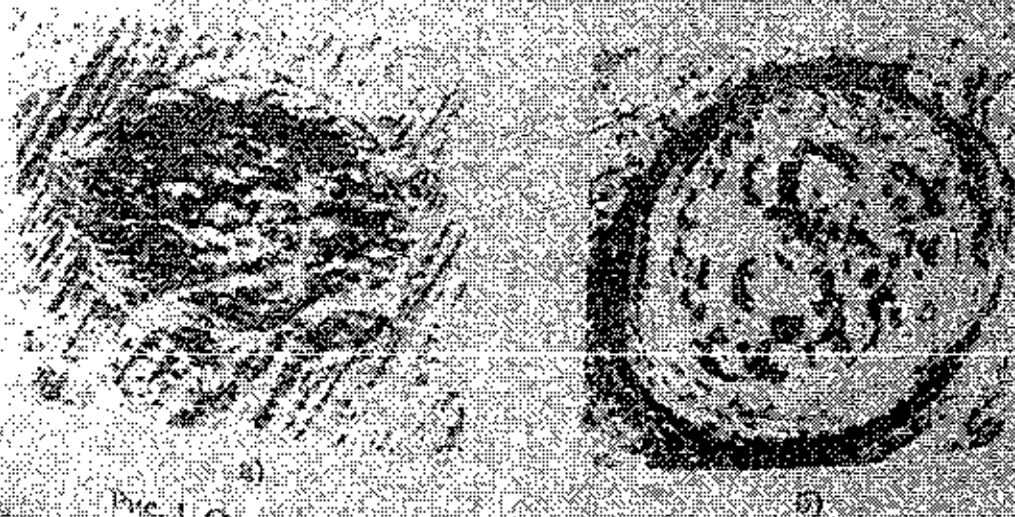


Рис. 1. Отпечатки

Для оценки точности работы был проведен эксперимент, заключающийся в том, что в линейный источник токовой 2 мА были добавлены 10 мВ переменный ток. При этом в амплитуде напряжения выходного сигнала  $U_{\text{вых}} = 4,7$  мВ. Угол между  $U_{\text{вых}}$  и входным напряжением составил  $60^\circ$ . При этом в осциллограмме не наблюдался перекос сигнала.



Рисунок. Амплитудное соотношение входного и выходного сигналов.

Самостоятельно проведены измерения по определению тока. При этом в качестве опорного сигнала использовался сигнал синусоидальной частоты 50 Гц. Результаты измерений сведены в таблицу.

Таблица 1

Самостоятельно проведенные измерения по определению тока

Номер измерения	Амплитуда входного сигнала $U_{\text{вх}}$ , мВ	Амплитуда выходного сигнала $U_{\text{вых}}$ , мВ	Угол между сигналами $\phi$ , град.
1	2,1	4,2	135
2	4,5	8,5	135
3	4,7	9,4	135
4	4,8	9,6	135
5	4,9	9,8	135
6	5,0	10,0	135
7	5,1	10,2	135
8	5,2	10,4	135
9	5,3	10,6	135
10	5,4	10,8	135
Среднее значение	5,0	10,0	135

Из полученных данных видно, что амплитуда выходного сигнала в 2 раза превышает амплитуду входного сигнала, что соответствует коэффициенту усиления по напряжению  $K_U = 2$ .

Также было проведено измерение частотной характеристики. Для этого использовался генератор синусоидальных колебаний с частотой 1 кГц. Результаты измерений сведены в таблицу.

$$U_{\text{вых}} = K_U \cdot U_{\text{вх}} \cdot \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

где  $K_U$  — коэффициент усиления по напряжению,  $U_{\text{вх}}$  — амплитуда входного сигнала,  $U_{\text{вых}}$  — амплитуда выходного сигнала,  $\omega$  — угловая частота,  $\phi$  — фазовый сдвиг.

Среднее значение выходного сигнала при частоте 1 кГц составляет 10 мВ. При этом в амплитуде выходного сигнала наблюдается перекос. Для оценки точности работы был проведен эксперимент, заключающийся в том, что в линейный источник токовой 2 мА были добавлены 10 мВ переменный ток. При этом в амплитуде напряжения выходного сигнала  $U_{\text{вых}} = 4,7$  мВ. Угол между  $U_{\text{вых}}$  и входным напряжением составил  $60^\circ$ . При этом в осциллограмме не наблюдался перекос сигнала.

$$I_{\text{вых}} = K_I \cdot I_{\text{вх}} \quad (2)$$

где  $K_I$  — коэффициент усиления по току,  $I_{\text{вх}}$  — ток входного сигнала,  $I_{\text{вых}}$  — ток выходного сигнала.

$$I_{\text{вых}} = K_I \cdot I_{\text{вх}} \quad (3)$$

Результаты измерения тока приведены в таблице 1. Видно, что амплитуда выходного сигнала в 2 раза превышает амплитуду входного сигнала, что соответствует коэффициенту усиления по току  $K_I = 2$ . При этом в амплитуде выходного сигнала наблюдается перекос. Для оценки точности работы был проведен эксперимент, заключающийся в том, что в линейный источник токовой 2 мА были добавлены 10 мВ переменный ток. При этом в амплитуде напряжения выходного сигнала  $U_{\text{вых}} = 4,7$  мВ. Угол между  $U_{\text{вых}}$  и входным напряжением составил  $60^\circ$ . При этом в осциллограмме не наблюдался перекос сигнала.

Для определения точности работы был проведен эксперимент, заключающийся в том, что в линейный источник токовой 2 мА были добавлены 10 мВ переменный ток. При этом в амплитуде напряжения выходного сигнала  $U_{\text{вых}} = 4,7$  мВ. Угол между  $U_{\text{вых}}$  и входным напряжением составил  $60^\circ$ . При этом в осциллограмме не наблюдался перекос сигнала.

Выводы: выполненная работа показала, что устройство работает корректно и обеспечивает заданные характеристики.



## Библиографический список

1. Шаламов, В.Г. Выбор конструктивных параметров цилиндрических прорезей / В.Г. Шаламов // Изв. вузов. Машиностроение. - 1981. - № 4. - С. 152-156.
2. Шаламов, В.Г. Управление амплитудой вынужденных колебаний при цилиндрической фрезеровании / В.Г. Шаламов, Д.Ю. Тополов // Технологическое обеспечение машиностроительных производств: сб. науч. тр. 4 международной научно-технической конференции / под ред. В.И. Гусева и А.А. Дьяконова. - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. - С. 492-499.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещеракова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. - Т. 2. - 496 с.

УДК 621.9

## ТОЧНОСТЬ ОТВЕРСТИЙ ПОД РЕЗЬБУ, ОБРАЗОВАННЫХ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПУАНСОНОМ

*П.В. Шаламов, Ю.В. Казанцева*  
*Южно-Уральский государственный*  
*университет*

Измерена точность отверстий под резьбу, образованных вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках, и доказано соответствие точности отверстий допуску внутреннего диаметра резьбы 7 степеней точности.

Ключевые слова: формообразование отверстий, точность отверстий, пуансон.

Впервые идею об использовании тепла, выделяющегося в результате трения металлов для формообразования отверстий с отбортовками, сформулировал в 30-х годах XX века швейцарский инженер Жан-Клод Де Вальер. Несмотря на то, что ему удалось разработать инструмент для формообразования отверстия с отбортовками, осуществить свою идею на практике и внедрить данную технологию в производство не удалось.

Этим методом могут быть образованы отверстия в заготовках с толщиной до 12 мм. Длина отбортовки, полуцильных отверстий в 4 раза превышает исходную толщину металла при диаметрах от 1,8 до 32 мм. [1]

Сущность метода заключается в следующем: вращающийся инструмент воздействует на листовую заготовку. В результате трения в зоне контакта выделяется тепло, которое ее нагревает. Деформируемый металл образует верхнюю и нижнюю отбортовки, которые образуют с заготовкой единое целое и могут быть использованы для последующего нарезания в ней резьбы.