

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Факультет «Механико-технологический»
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроения»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ В.И. Гузеев
_____ 2018 г.

Разработка конструкторско-технологического обеспечения
изготовления детали «Вал курсоглиссадной системы»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ ПЗ ВКР

Нормоконтролер

_____ 2018 г.

Руководитель, к.т.н., доцент
_____ В.В. Батуев
_____ 2018 г.

Автор работы,
студентка группы П – 451
_____ А.А. Глухих
_____ 2018 г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Глухих А.А. Разработка конструкторско-технологического обеспечения изготовления детали «Вал курсоглиссадной системы».: Выпускная квалификационная работа. – Челябинск: ЮУрГУ, 2018. – 64 с., 76 ил., 9 табл., библиографический список – 12 наименований, 4 листа чертеж ф. А1 и А2, 4 прил.

Основной проблемой формообразования резьбовых отверстий в листовых заготовках с толщиной менее двух миллиметров является получение резьбовой поверхности, обеспечивающей необходимую прочность резьбового соединения. Способ формообразования отверстий с отбортовками в листовых заготовках вращающимся пуансоном (термическое сверление) обладает широкими технологическими возможностями. Скорость вращения пуансона, а также его осевая подача влияют на форму, размеры и свойства материала образующегося отверстия, что в свою очередь влияет на длину свинчивания и прочность резьбового соединения.

Для изучения процесса термического сверления на станке 2Н125 была проведена серия экспериментов по созданию отверстий с отбортовками в тонколистовых заготовках. Измерение сил, действующих на заготовку в процессе сверления, проводилось на динамометре Kistler 9257В. Измерение геометрических параметров производилось на малом инструментальном микроскопе.

					ЮУрГУ.1503.05.2018.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

С использованием материалов данной работы в декабре 2016 года была опубликована в тематическом сборнике научных трудов «Прогрессивные технологии в машиностроении» статья «Методы и проблемы образования отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках» (приложение 1).

Также материалы данной работы были представлены в форме доклада на выставке научно-технического творчества студентов Южно-Уральского государственного университета 26-28 апреля 2017 года. Доклад был оценен дипломом второй степени (приложение 2).

					<i>ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		3

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	7
1.1. Формообразование отверстий в тонколистовых заготовках	7
1.2. Формообразование отверстий с отбортовками вращающимся пуансоном ...	14
1.3. Цель и задачи исследования	16
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ОТБОРТОВКАМИ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПУАНСОНОМ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ	18
2.1. Методика изготовления инструментов и получения заготовок	18
2.2. Изготовление шпильки для закрепления экспериментальной установки на станке	22
2.3. Описание экспериментальной установки	30
2.4. Формообразование отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках вращающимся пуансоном с применением подачи под заданной нагрузкой	32
2.5. Общие выводы по главе	50
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУЧЕННЫХ ОТВЕРСТИЙ.....	51
3.1. Расчет прочности резьбового соединения на срез в отверстиях, образованных с подачей под заданной нагрузкой	51
3.3. Точность размеров отверстий сформированных вращающимся пуансоном в листовых заготовках	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	63

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

ВВЕДЕНИЕ

В марте 2013 года министерством экономического развития Российской Федерации был представлен Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г.

В прогнозе, представляющем собой систему научно обоснованных представлений о направлениях и результатах социально-экономического развития Российской Федерации на прогнозируемый период, выделены ведущие сектора и отрасли экономики, приоритетные для развития Российской Федерации на ближайшие десятилетия.

В качестве ведущих секторов экономики обозначены: инновационный сектор, нефтегазовый сектор, сырьевой сектор, транспорт, оптовая и розничная торговля.

Машиностроение является важной частью каждого из приоритетных секторов развития. Поэтому любые работы по упрощению, ускорению или оптимизации производственных процессов являются актуальными.

В машиностроении широко используются детали из тонколистовых заготовок (кузовные детали, крышки, различные ёмкости, задвижки и др.), в конструкцию которых заложена возможность резьбового крепления к ним различных деталей. Создание резьбовых отверстий в таких изделиях имеет ряд сложностей. Основной проблемой является создание такой резьбовой поверхности, которая сможет обеспечить необходимую прочность резьбового соединения.

Существующие способы не являются достаточно технологичными. Для тонколистовых заготовок наиболее рационально применять метод термического сверления для формообразования отверстий под резьбу.

Пластическое сверление реализуется в результате разогрева под действием сил трения и пластификации материала заготовки под действием осевой силы и вращательного движения инструмента, с последующим образованием в заготовке

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

отверстия с отбортовками. При этом получаемые отверстия имеют более высокую точность и низкую шероховатость по сравнению с традиционными методами формирования отверстий.

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.

В данной работе исследован механизм формообразования отверстий методом пластического сверления, а также влияние режимов процесса на их геометрические размеры, твердость и прочность, обеспечивающие получение надёжного резьбового соединения в тонколистовых заготовках толщиной 2,0–0,8 мм.

					<i>ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Формообразование отверстий в тонколистовых заготовках

Основной проблемой формообразования резьбовых отверстий в листовых заготовках с толщиной менее двух миллиметров является получение резьбовой поверхности, обеспечивающей необходимую прочность резьбового соединения.

Прочность резьбового соединения на срез определяют следующие параметры:

- диаметр и шаг резьбы;
- соотношение механических характеристик материалов болта и гайки;
- длина свинчивания.

Результаты испытаний резьбовых соединений при осевых растягивающих нагрузках показали, что при недостаточной длине свинчивания гайки происходит поломка соединения, вследствие разрушения резьбы [1]. Поэтому для повышения прочности резьбы увеличивается длина свинчивания. Но увеличение высоты гайки, сверхнеобходимой, приводит к увеличению расходов на материал, потому что прочность резьбового соединения ограничивается также прочностью болта [2]. Минимальная необходимая длина резьбового отверстия зависит от диаметра резьбового соединения и шага резьбы, соотношения механических характеристик материалов болта и гайки, а также типа соединения, влияющего на характер распределения нагрузки между витками.

Для увеличения длины свинчивания в тонколистовых заготовках применяются следующие основные технологические приемы:

- гибка листов;
- приваривание втулок,
- предварительная пробивка отверстий .

Важной характеристикой нагруженных резьбовых соединений является распределение нагрузки между витками резьбы [3]. Задача о распределении нагрузки между витками резьбы впервые была решена профессором Жуковским Н.Е. в 1902 г. График распределения осевой нагрузки между десятью витками

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

резьбового соединения представлен на рисунке 1.1. По графику видно, что нагрузка распределена неравномерно. На первый со стороны действия осевой силы виток приходится около 33% от общей нагрузки, на пятый – 6,48%, а на десятый – менее 1% от общей нагрузки. Деформации в резьбе, связанные с погрешностью профиля, контактные деформации и местные пластические деформации несколько снижают нагрузку на первый виток резьбы до 20-25% от общей нагрузки [4].

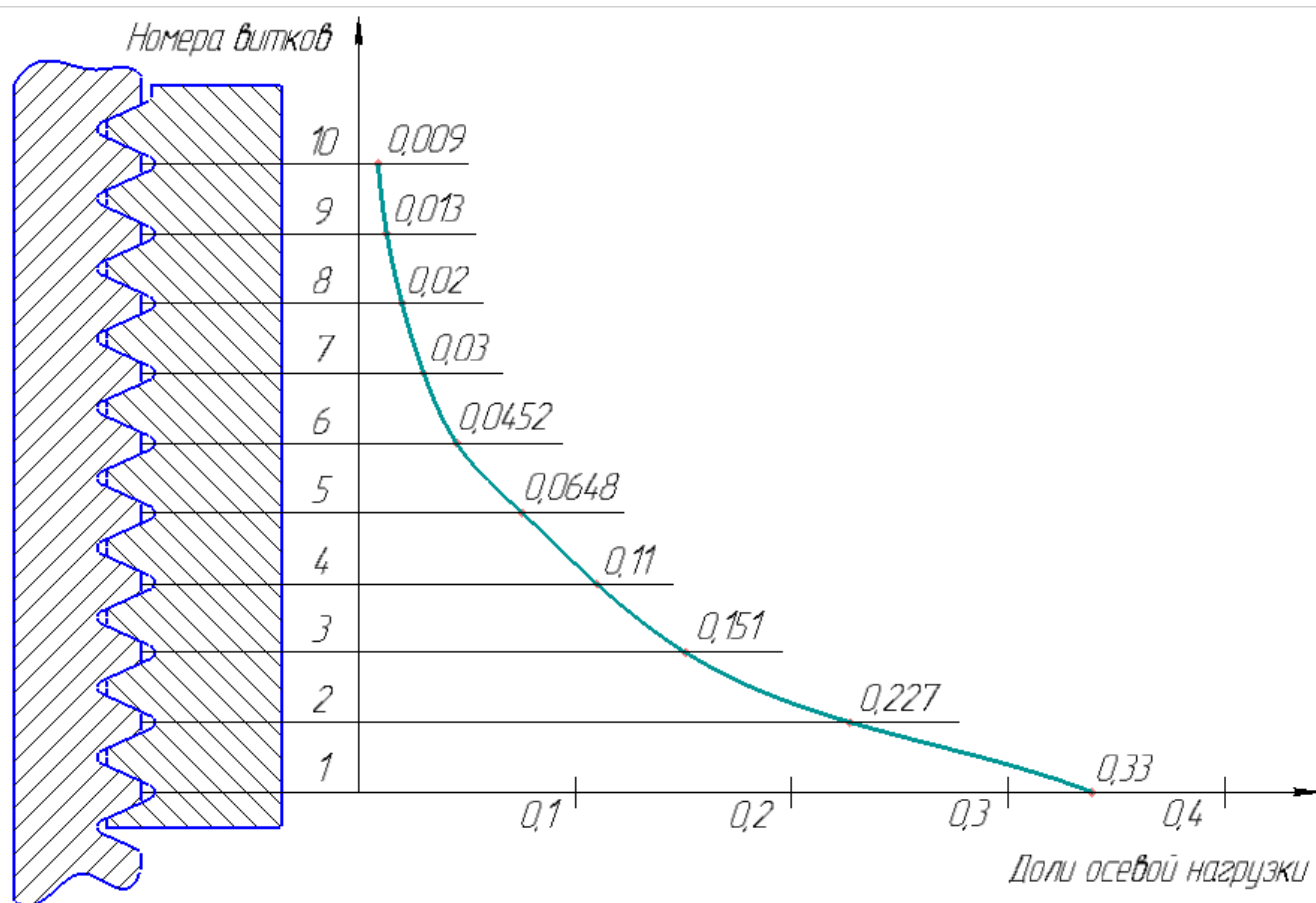


Рисунок 1.1 – График распределения осевой нагрузки между витками резьбы [1]

Наиболее сложно обеспечить необходимую прочность резьбового соединения при монтаже узлов и деталей из заготовок с толщиной листа до 2,0 мм, потому что такой толщины заготовки не хватает для образования необходимого количества витков резьбы. Однако, если учесть закон распределения осевой нагрузки по виткам резьбового соединения, можно сделать

предположение, что, если увеличить длину получаемого отверстия в заготовке малой толщины и нарезать в этом отверстии 3-4 витка резьбы, на которые приходится не менее 70% осевой нагрузки, то резьбовое соединение будет обладать достаточной конструктивной прочностью. Увеличение длины отверстия под резьбу возможно различными способами [5, 6, 7, 8, 9, 10 и др.]. Все существующие способы можно разделить на две группы:

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

Увеличение длины резьбового отверстия за счет сгибания листа заготовки [2]. Гибка листа (рисунок 1.2) позволяет увеличить длину свинчивания до необходимой, но обладает рядом недостатков:

- повышенный расход материала заготовки;
- наличие линии сопряжения листов;
- малая производительность из-за операции сгибания листа.

Кроме того, этот способ имеет узкую область применения, так как не всегда возможно загнуть лист.

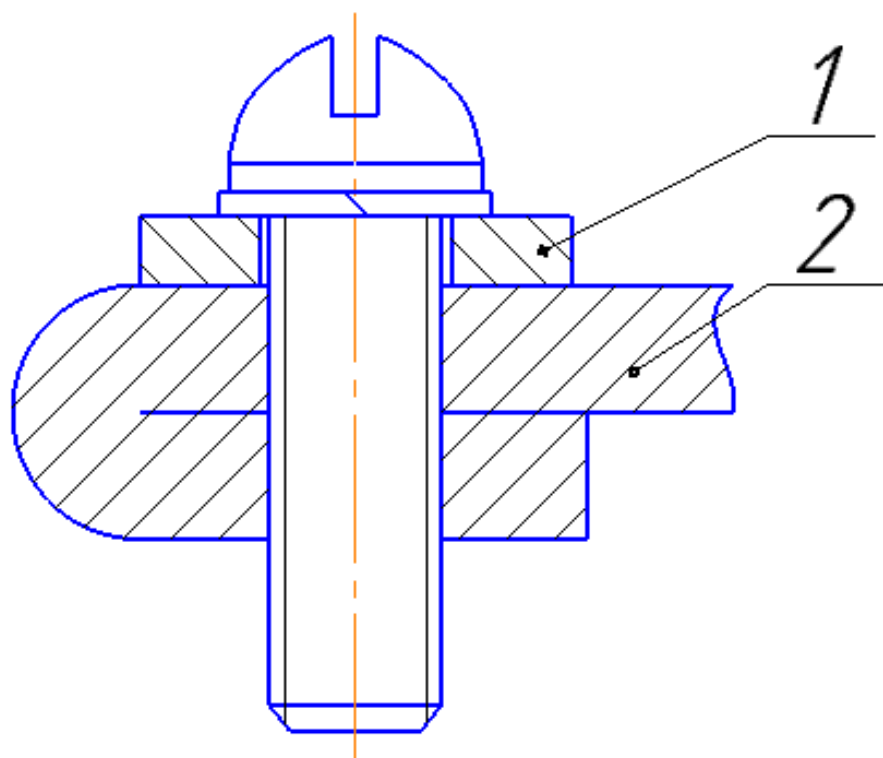


Рисунок 1.2 – Увеличение длины резьбового отверстия за счет гибки листа: 1 – накладка; 2 – заготовка.

Увеличение длины резьбового отверстия приваркой втулки. Приваривание втулки (рисунок 1.3) [2] позволяет увеличить длину свинчивания до необходимой, но этот способ связан с относительно сложной технологической подготовкой операции, так как необходимо специальное оборудование и технологическая оснастка для изготовления втулки и приваривания ее к заготовке. Поэтому данный способ обладает малой производительностью, кроме того, не всегда есть возможность приваривать втулку вследствие нехватки площади или труднодоступности обрабатываемой поверхности заготовки.

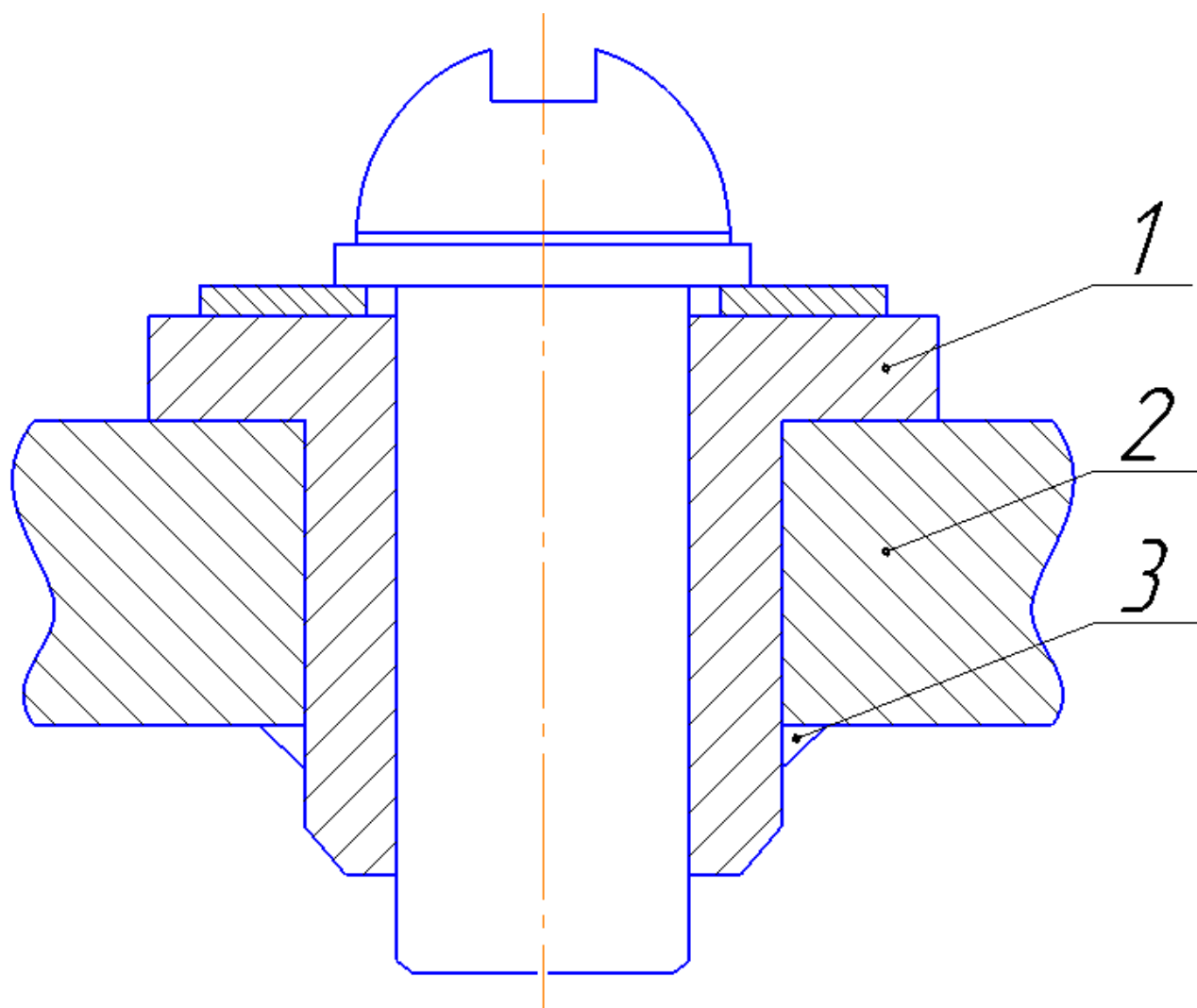


Рисунок 1.3 – Увеличение длины резьбового отверстия привариванием втулки [2]:
1 – втулка; 2 – заготовка; 3 – сварной шов

Увеличение длины резьбового отверстия за счёт получения отверстия с отбортовкой (рисунок 1.4). Увеличение длины свинчивания возможно за счёт

получения отверстия с отбортовкой, при этом материал из зоны отверстия расходуется на образование буртика.

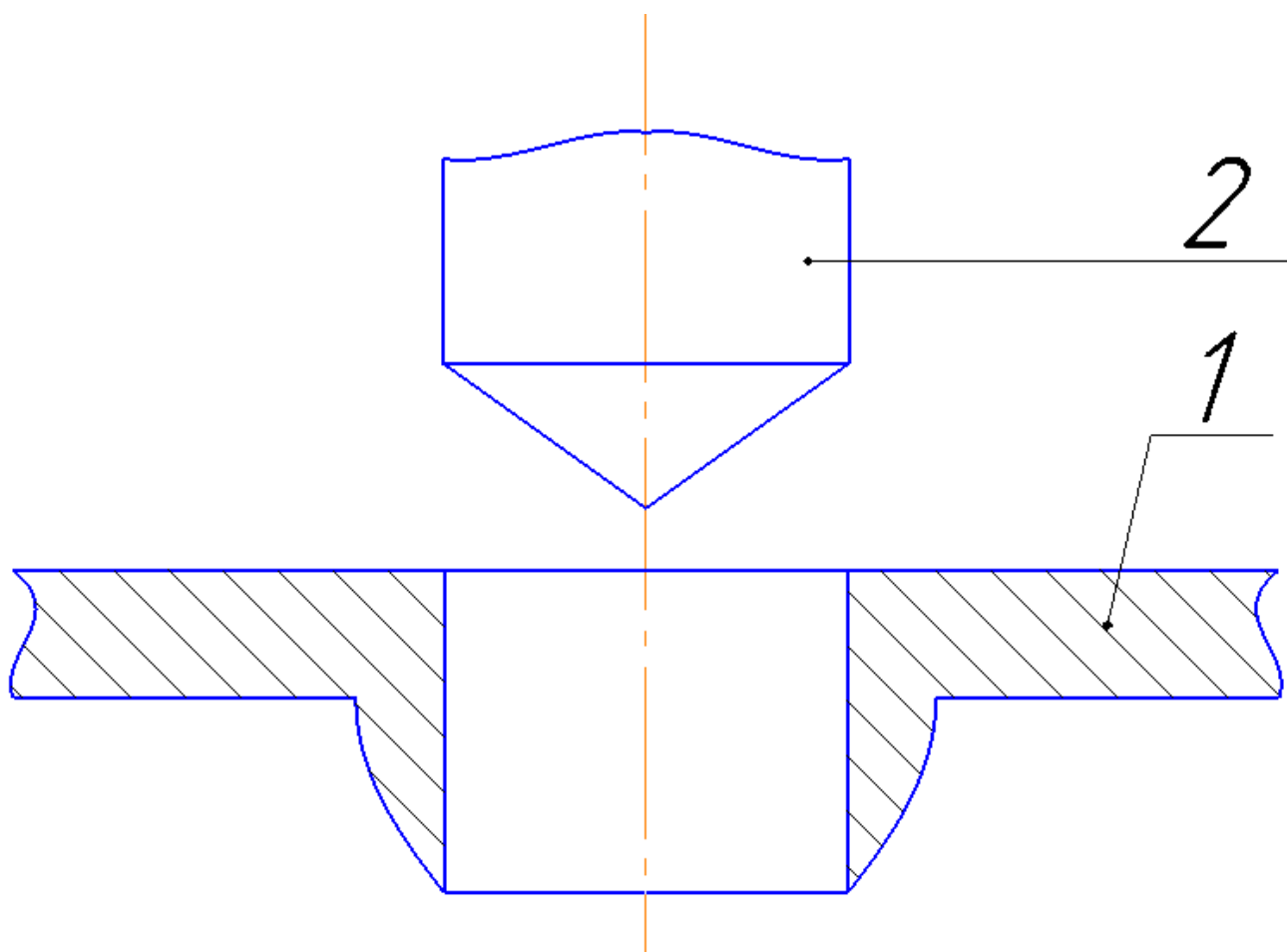


Рисунок 1.4 – Увеличение длины резьбового отверстия за счёт образования отбортовки[2]: 1 – заготовка; 2 – пуансон

Получение отбортовки с предварительной пробивкой отверстия [9] (рисунок 1.5). Такой метод получения резьбовых поверхностей в отверстиях заготовок, изготовленных из листового металла наиболее распространен. Отбортовка образуется в следствии двухосного растяжения отверстия поступательным перемещением пуансона. Борт образуется за счёт утонения деформированного участка заготовки. Данный способ имеет ограниченную область применения, так как не обеспечивает требуемых прочностных качеств резьбового отверстия. Таким способом невозможно получить необходимую длину отверстия, из-за недостатка материала в зоне обработки, поскольку он удаляется при вырубке предварительного отверстия.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

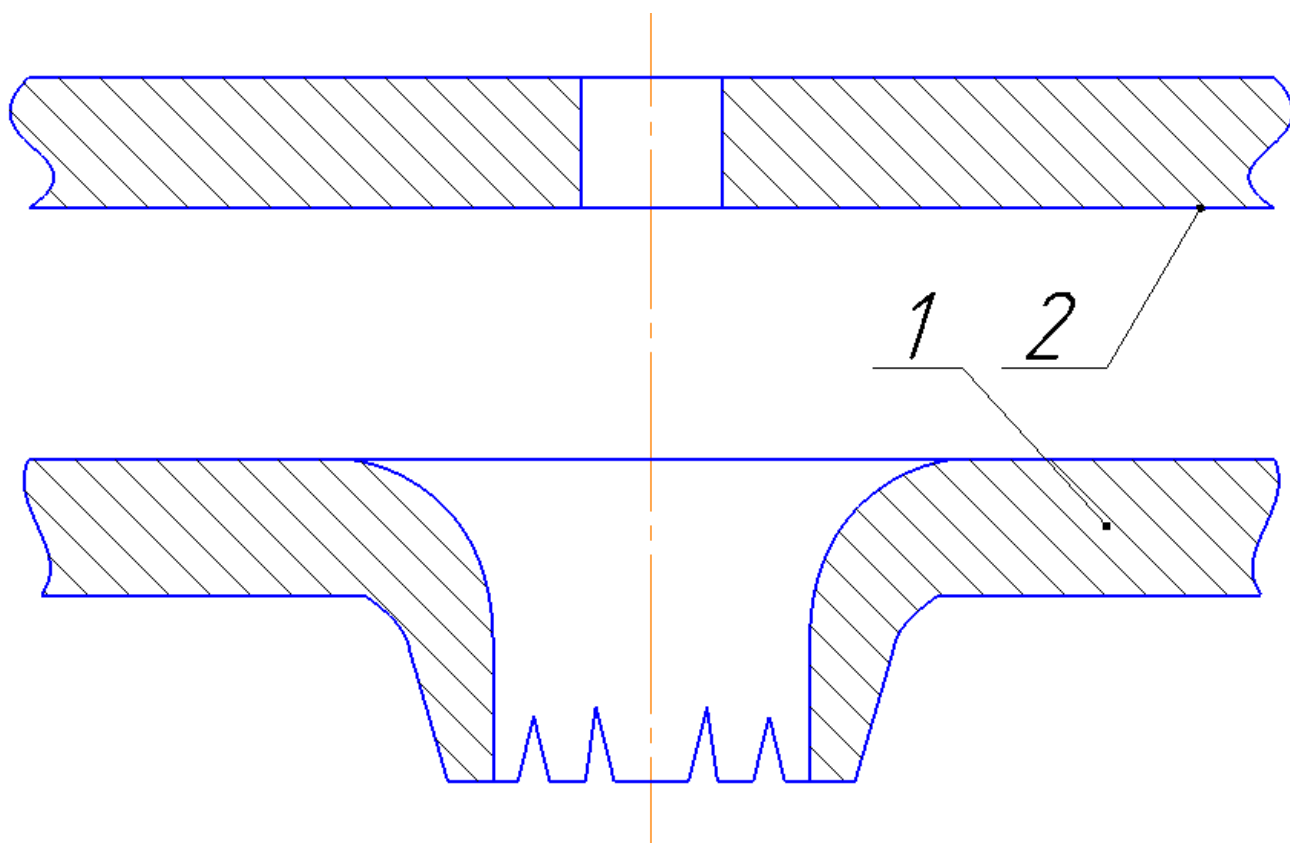


Рисунок 1.5 – Получение отверстия с отбортовкой с использованием предварительной пробивки [9]: 1 – заготовка с предварительно пробитым отверстием; 2 – заготовка с отверстием с отбортовкой

Холодная объёмная штамповка в закрытых штампах (рисунок 1.6). При таком методе повышения длины резьбового отверстия отсутствует операция предварительного образования отверстия, следовательно, весь материал из зоны обработки идет на формирование отбортовки [6]. Однако для такого метода необходима предварительная технологическая подготовка (изготовление штампа), а также необходима установка прессы. Также таким способом невозможно создать отверстие в труднодоступных поверхностях заготовок.

Отбортовка без предварительной пробивки отверстия с обрезной матрицей (рисунок 1.7). Данный способ предложил В.А. Тимощенко [10] как альтернатива процессу получения отбортовки с предварительной пробивкой отверстия с целью повышения производительности и качества. При таком методе заготовка устанавливается на специальную формообразующую матрицу. Пуансон с конической вершиной поступательным движением формирует отверстие. Излишки металла отделяются при помощи отрезной матрицы. Данный способ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

характеризуется высокими показателями качества отбортованных отверстий. Недостатки способа: необходима предварительная подготовка производства, прессовое оборудование и штамповочная оснастка.

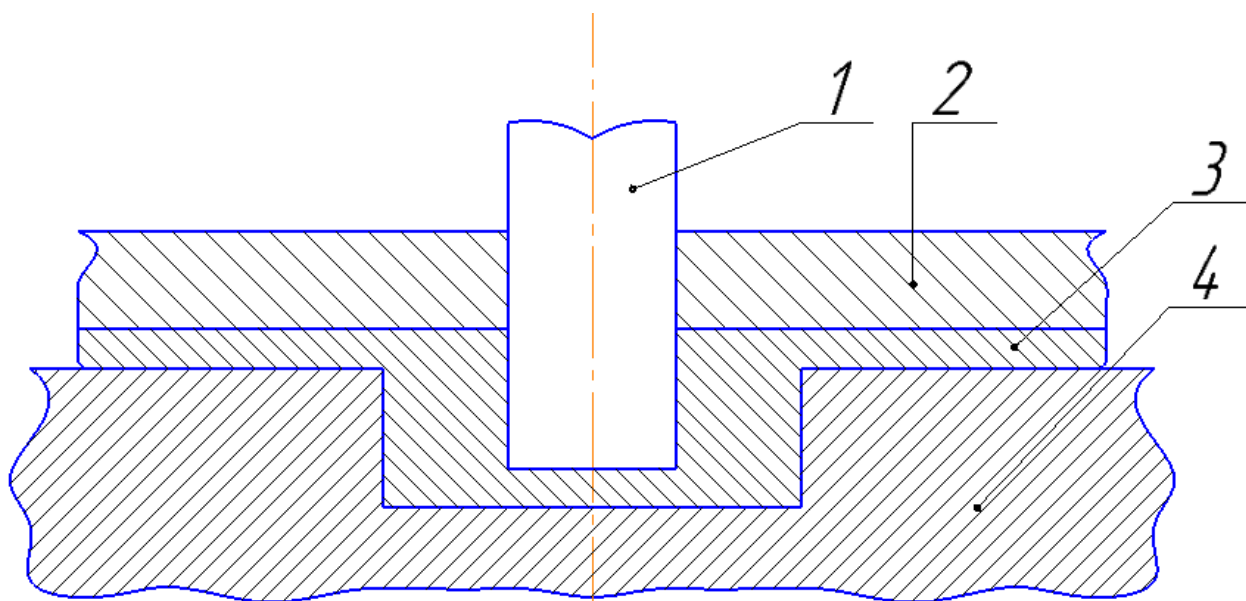


Рисунок 1.6 – Холодная объемная штамповка в закрытом штампе [6]: 1 – пуансон; 2 – верхний штамп; 3 – тонколистовая заготовка; 4 – нижний штамп

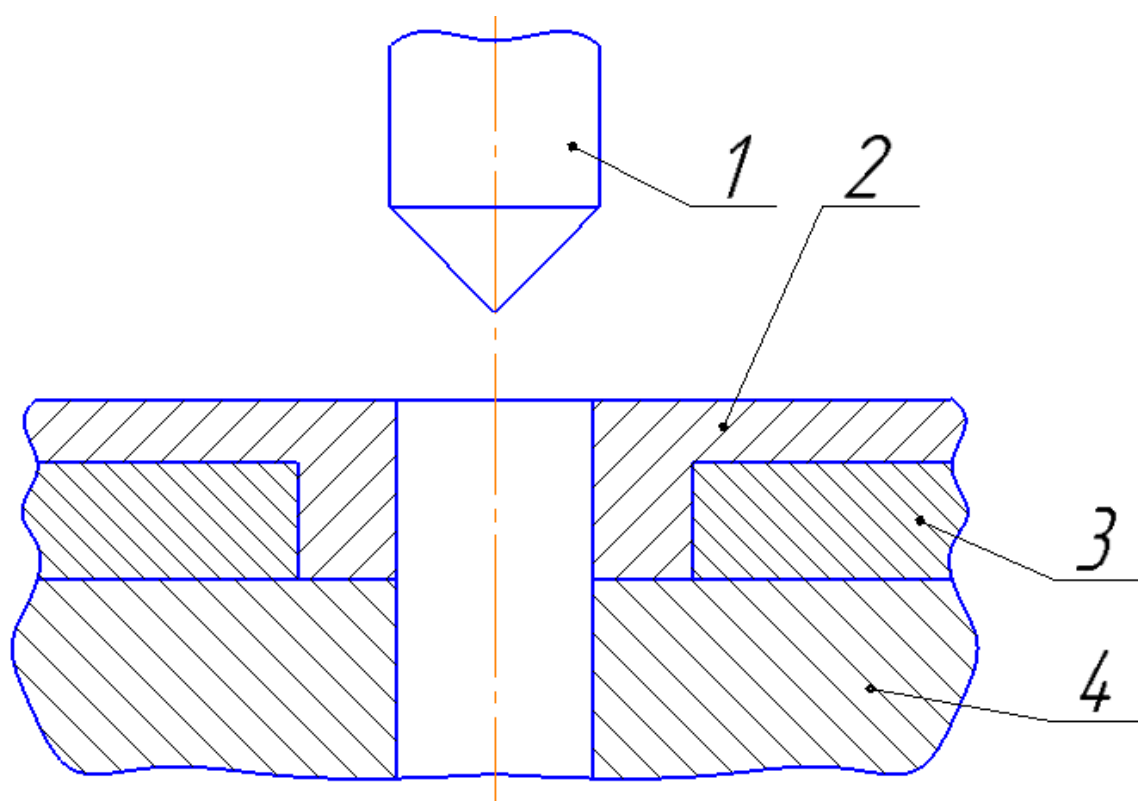


Рисунок 1.7 – Получение отверстия с отбортовкой[10]: 1 – пуансон; 2 – тонколистовая заготовка; 3 – формообразующая матрица; 4 – обрезающая матрица

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Все вышеперечисленные способы увеличения длины свинчивания недостаточно технологичны, требуют применения сложного оборудования и технологической оснастки, что влечет за собой дополнительные затраты времени и средств. Также ни один из представленных способов не пригоден для формирования отверстия в замкнутом объеме и в труднодоступных местах. Решением данной проблемы может стать способ увеличения длины свинчивания в отверстиях под резьбу в тонколистовых заготовках за счёт пластического деформирования листовой заготовки вращающимся пуансоном.

1.2. Формообразование отверстий с отбортовками вращающимся пуансоном

Данный метод получения отверстия с отбортовками в тонколистовой заготовке заключается в воздействии с осевой подачей (D_s) вращающегося с определенной скоростью пуансона (D_r) на заготовку. В результате трения вращающегося инструмента о заготовку металл заготовки разогревается до пластического состояния (температура нагрева составляет порядка 800 градусов по шкале Цельсия). Под осевым действием пуансона металл выдавливается в радиальном направлении и вверх (рисунок 1.8), образуя верхнюю отбортовку, при дальнейшем движении пуансона металл выдавливается в радиальном направлении и вниз, образуя нижнюю отбортовку (рисунок 1.9). После выхода пуансона из заготовки получается цилиндрическое отверстие с верхней и нижней отбортовкой (рисунок 1.10). Длина отверстия позволяет нарезать резьбу с необходимым количеством витков для обеспечения прочностных требований. В следствии особенностей процесса обработки, данный метод назван «термическим сверлением»

Термическое сверление имеет следующие преимущества:

- высокая производительность;
- безотходность производства (коэффициент использования материала равен 1);
- не требуется специального оборудования;

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

- возможность получения отверстий в труднодоступных местах;
- обеспечивает точность отверстия до 8го качества [11].

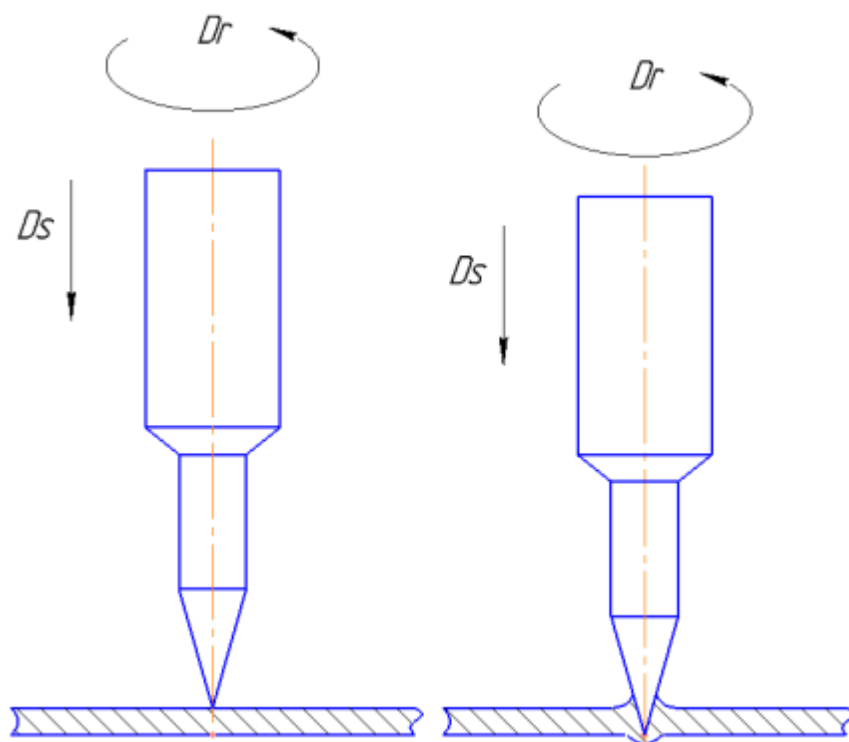


Рисунок 1.8 – образование верхней отбортовки

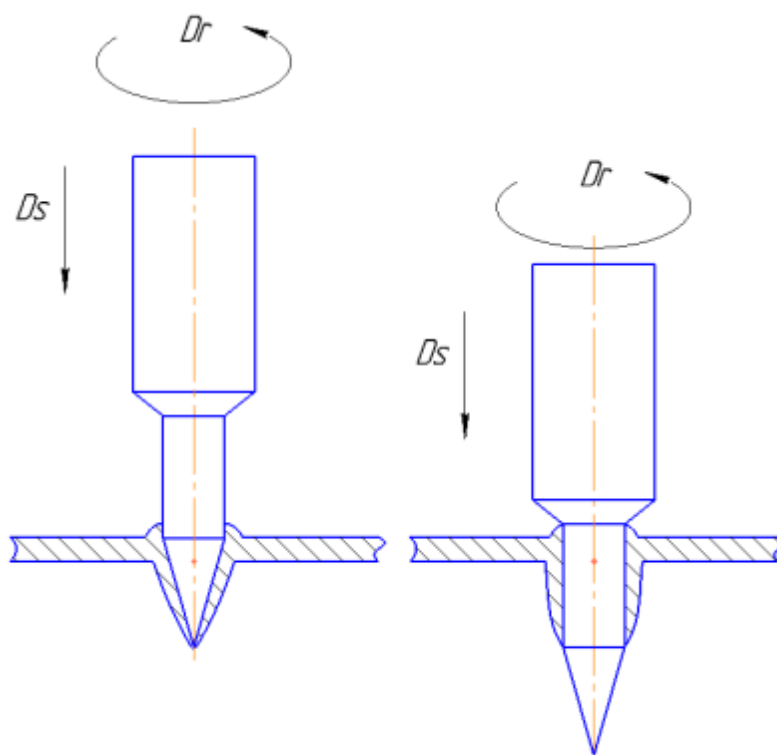


Рисунок 1.9 – Образование нижней отбортовки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

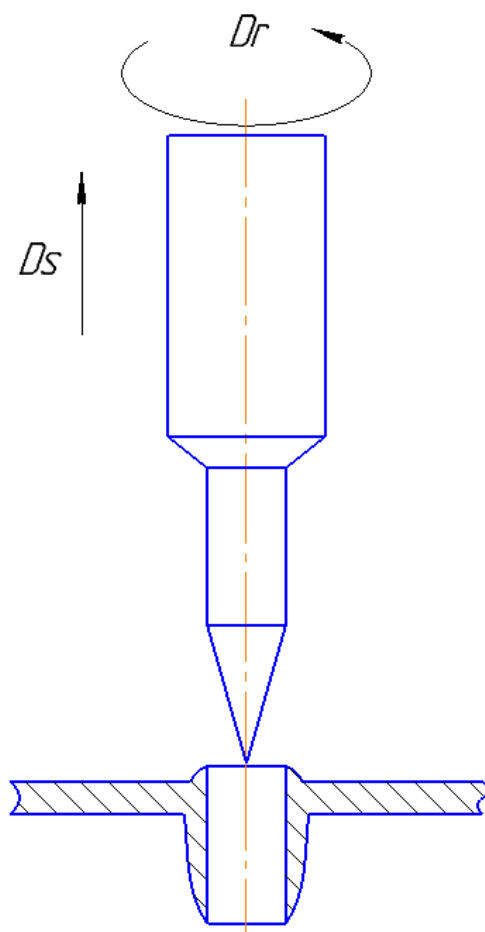


Рисунок 1.10 – Образование отверстия

1.3 Цель и задачи исследования

Способ формообразования отверстий с отбортовками в листовых заготовках вращающимся пуансоном обладает широкими технологическими возможностями. Скорость вращения пуансона, а также его осевая подача влияют на форму, размеры и материал образующегося отверстия, что в свою очередь влияет на длину свинчивания и прочность резьбового соединения. Зависимости геометрических и прочностных параметров отверстий под метрическую резьбу М5 ГОСТ 24705-2004, полученных вращающимся пуансоном с осевой подачей в заготовках с толщиной 2,0 мм и менее на сегодняшний день в отечественной и зарубежной литературе отсутствуют. Исходя из этого, целью данной работы является исследовать процесс формообразования отверстия под резьбу М5 ГОСТ 24705-2004 в стальных заготовках с толщиной 2,0 мм и менее вращающимся пуансоном при различных режимах вращения и осевой подачи инструмента.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- экспериментально определить геометрические параметры отверстий, образованных при различных частотах вращения и осевых подачах пуансона;
- экспериментально определить прочностные характеристики резьбовых поверхностей, нарезанных в отверстиях, образованных при различных частотах вращения и осевых подачах пуансона;
- на основе экспериментальных данных получить зависимость геометрических и прочностных характеристик получаемых отверстий от режимов обработки;
- определить оптимальные режимы обработки отверстий методом термического сверления.

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ С ОТБОРТОВКАМИ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПУАНСОНОМ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ

В данной главе приводится описание формообразующего инструмента, экспериментальной установки и проведения экспериментов, полученные результаты и выводы по ним.

2.1. Методика изготовления инструментов и получения заготовок

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



Рисунок 2.1– Твердосплавные стержни

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



Рисунок 2.2 – Инструмент

На вершине инструмента изготавливался предохранительный конус с углом 60° 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 эльборовыми 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.

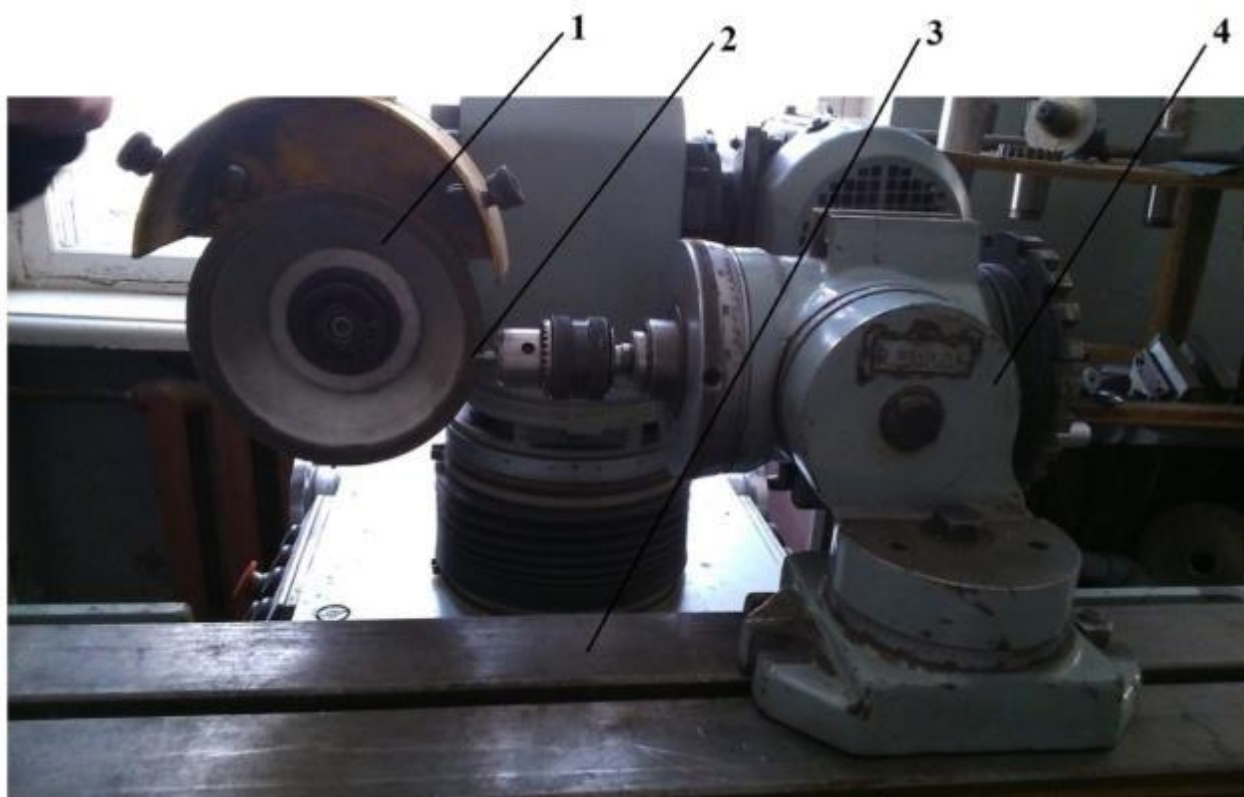


Рисунок 2.3. – Станок ЗЕ642А: 1 - шлифовальный круг; 2 - заготовка; 3 –стол для перемещения; 4 - приспособление для заточки инструмента;

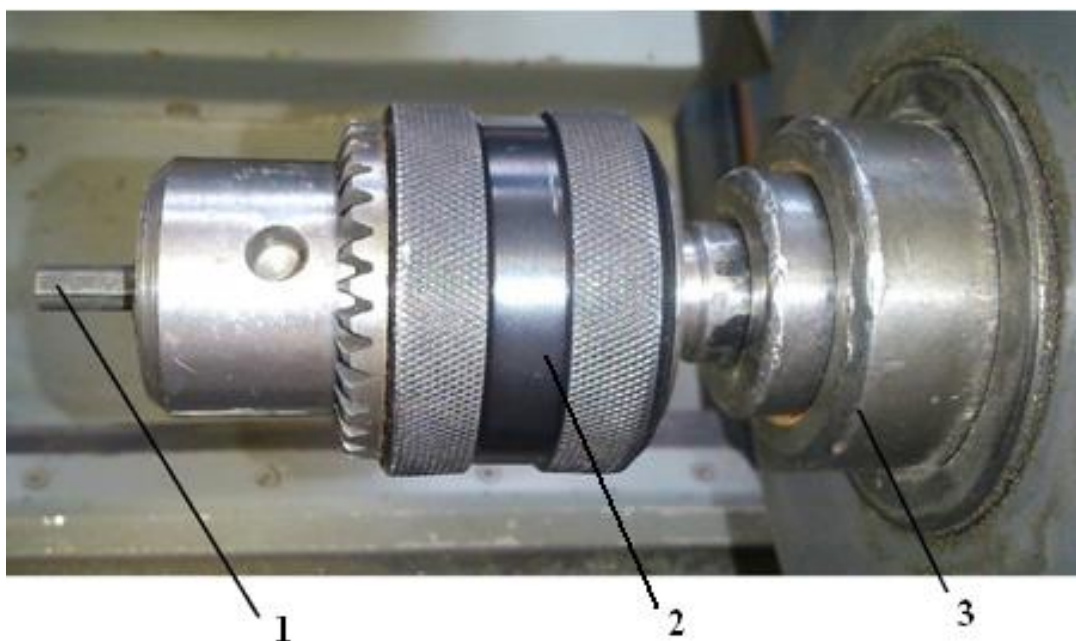


Рисунок. 2.4 –Закрепление заготовки - 1 - заготовка; 2 – патрон, 3- оснастка;

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, допускаемую окружную скорость и размер круга.

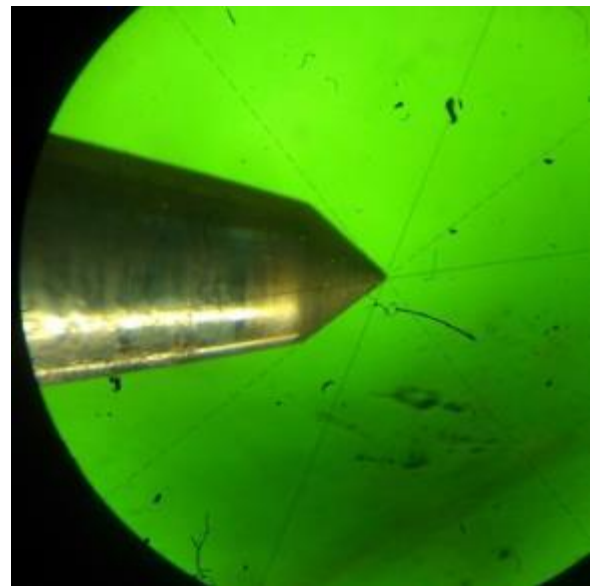


Рисунок 2.5 –Шлифовальный круг

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.2 Изготовление шпильки для закрепления экспериментальной установки на станке

Для проведения экспериментов было изготовлено фиксирующее приспособление (рисунок 2.7) для предотвращения прогиба тонких заготовок во время сверления.

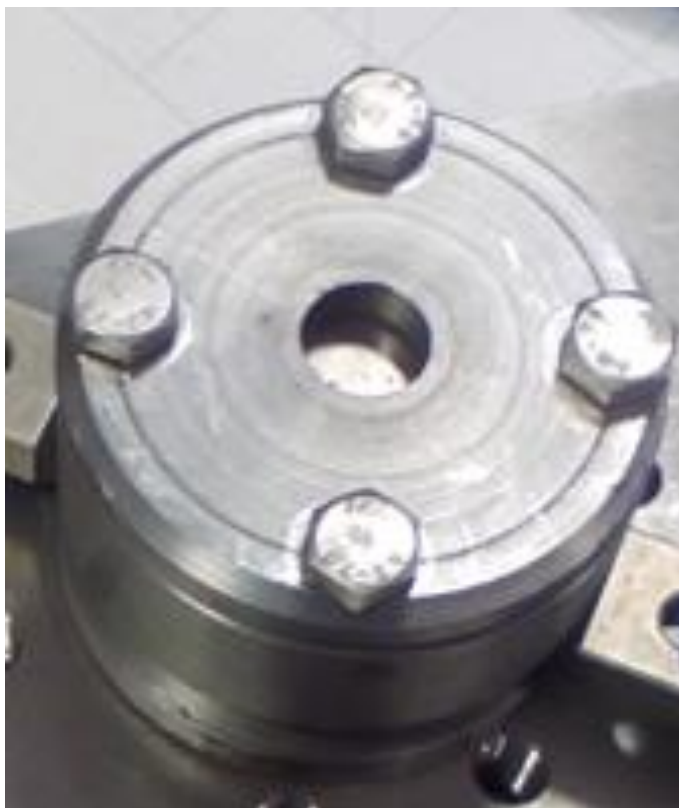


Рисунок 2.7 – специальное приспособление, предотвращающее прогиб заготовки во время формообразования отверстия

При попытке закрепить фиксирующее приспособление возникла следующая проблема: ширина паза в креплении не совпадала с диаметром резьбового отверстия в динамометре. Было принято решение из болта М8 (рисунок 2.8) изготовить шпильку М6-М8 для того, чтобы одним концом она вошла в динамометр, а другим – в паз крепления.



Рисунок 2.8 – Болт М8

Для изготовления был использован токарно-винторезный станок 1К62 (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 Токарно-винторезный станок 1К62

Для надежного закрепления в шпинделе станка на болт была надета гайка (рисунок 2.10-2.11).



Рисунок 2.10 – Болт с гайкой



Рисунок 2.11 – Болт с гайкой закреплены в шпинделе станка 1К62

При частоте $n = 630$ об/мин и подаче $s = 0,07$ мм/об проходным упорным резцом с материалом режущей части Т15К6 за 3 прохода болт был обточен по

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ

Лист

24

длине $L = 35\text{мм}$ до диаметра $d = 5,8\text{мм}$. На слесарной операции напильником была образована фаска (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Болт, обработанный по длине L до диаметра $d = 5,8\text{мм}$ с фаской
На резьбонарезной операции плашкой нарезана резьба $M6 \times 1$ (рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Нарезание резьбы ручной плашкой

На отрезной операции головка болта была зажата в тисках (рисунки 2.14-2.15) для последующей отрезки головки болта ручной ножовкой по металлу. Получилось готовое изделие (рисунки 2.16).



Рисунок 2.14 – Заготовка в слесарных тисках



Рисунок 2.15 – Заготовка в слесарных тисках



Рисунок 2.16 – изготовленная шпилька М6-М8

Аналогичным образом была изготовлена вторая шпилька М6-М8.

Далее с помощью изготовленных шпилек фиксирующее приспособление было закреплено на динамометре для дальнейших исследований термического сверления (рисунки 2.17-2.22).



Рисунок 2.17 – Шпилька в пазу крепления



Рисунок 2.18 – Шпильки ввинчены в резьбовые отверстия динамометра

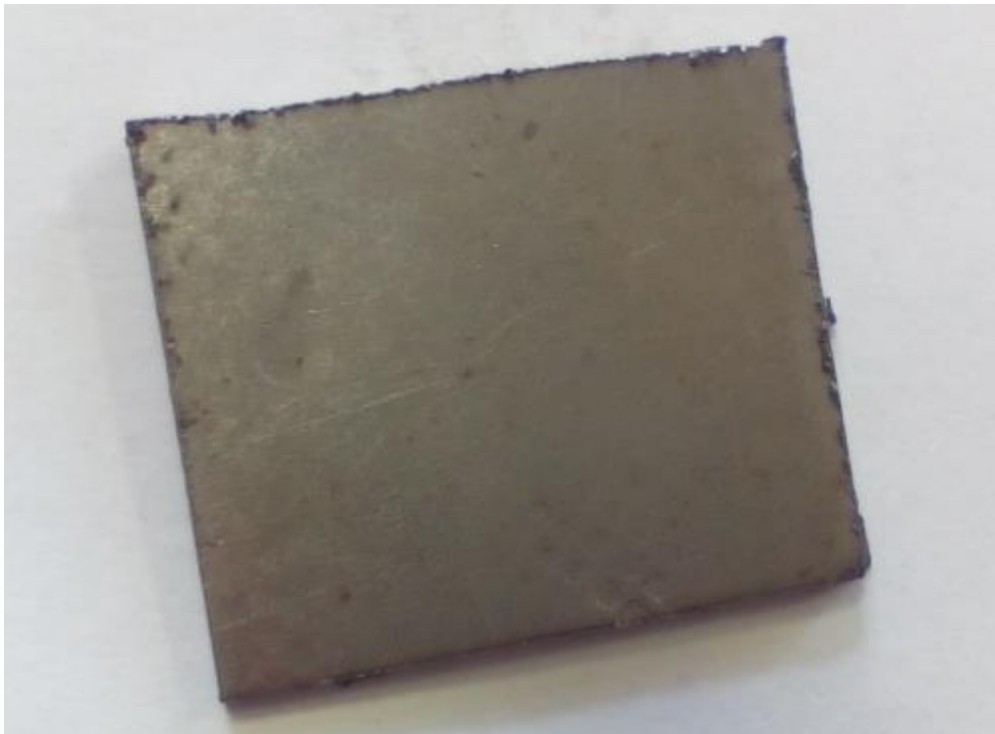


Рисунок 2.19 – Заготовка для исследований



Рисунок 2.20 – Заготовка и фиксирующее устройство до закрепления на динамометре



Рисунок 2.21– Фиксирующее устройство, закрепленное с помощью изготовленных шпилек на динамометре

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 2.22 – Собранная установка для исследования термического сверления

2.3 Описание экспериментальной установки

Установка для проведения экспериментов представлена на рисунке 2.7.



Рисунок 2.23 –Схема и фотография экспериментальной установки:

1 – вертикально-сверильный станок 2Н125; 2 – патрон; 3 – формообразующий пуансон; 4 – заготовка; 5 – динамометр; 6 - усилитель заряда.

Опыты были проведены на вертикально-сверильном станке 2Н125. Станки данной модели предназначены для следующих операций:

- сверление;
- рассверливание;
- зенкерование;
- развертывание;
- нарезание резьбы.

Область применения таких станков – единичное и мелкосерийное производство.

Технические характеристики станка 2Н125 представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики станка 2Н125

Наименование параметра	Значение
Основные параметры станка	
Наибольший диаметр сверления в стали 45ГОСТ 1050-74, мм	25
Расстояние от оси вертикального шпинделя до направляющих стойки (вылет), мм	250
Рабочий стол	
Максимальная нагрузка на стол (по центру), кг	
Размеры рабочей поверхности стола, мм	400 x 450
Шпиндель	
Частота вращения шпинделя, об/мин	45...2000
Количество скоростей шпинделя	12
Наибольший допустимый крутящий момент, Нм	250
Конус шпинделя (ГОСТ 25557-82)	Морзе 3
Механика станка	
Число ступеней рабочих подач	9
Пределы вертикальных рабочих подач на один оборот шпинделя, мм	0,1...1,6
Управление циклами работы	Ручное
Наибольшая допустимая сила подачи, кН	9
Динамическое торможение шпинделя	Есть
Привод	
Электродвигатель привода главного движения, кВт	2,2
Габарит станка	
Габариты станка, мм	2350 x 785 x 915
Масса станка, кг	880

В приложении 3 представлена планировка участка исследования термического сверления.

2.4 Формообразование отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках вращающимся пуансоном с применением подачи под заданной нагрузкой

Для изучения влияния подачи на геометрию отбортовок получаемых отверстий в тонколистовых заготовках вращающимся пуансоном был проведен ряд экспериментов для разных толщин заготовок из стали 08кп ГОСТ 1050-88 (0,8мм, 1мм, 1,2мм, 1,5мм, 2мм). В ходе экспериментов подача повышалась до того значения, при котором происходил разрыв отбортовки. Во всех опытах использовался инструмент, выбранный в пункте 2.1 с диаметром цилиндрической части 4,2мм. Для обеспечения воздействия максимальных сил трения на заготовку с целью укоренного нагрева металла в зоне обработки и, как следствие, максимально быстрого достижения пластичного состояния формообразование отверстий будет происходить на максимально возможной частоте для станка 2Н135 – $2000^{\text{мин}^{-1}}$. В приложении 4 представлен технологический процесс обработки отверстия термическим сверлением.

Процесс формообразования отверстий в тонколистовых заготовках термическим сверлением можно разделить на 5 стадий (рисунки 2.23 – 2.27)

На первой стадии в результате трения металл заготовки нагревается до пластического состояния.

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

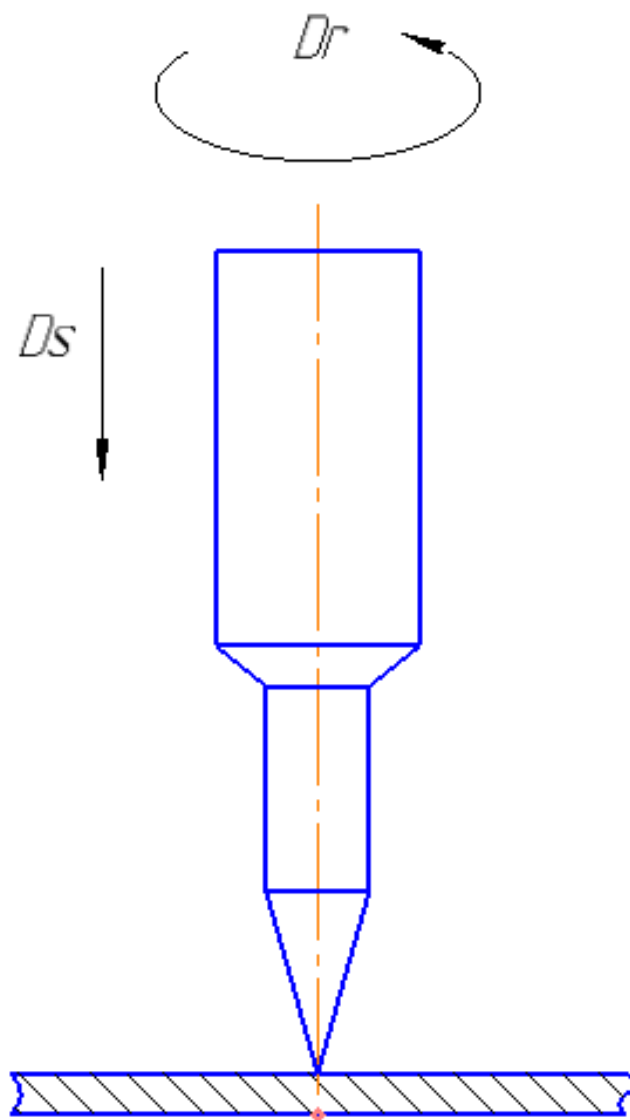


Рисунок 2.23 – Первая стадия формообразования отверстия

На второй стадии под осевым действием пуансона металл выдавливается в радиальном направлении и вверх, образуя верхнюю отбортовку.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ

Лист

33

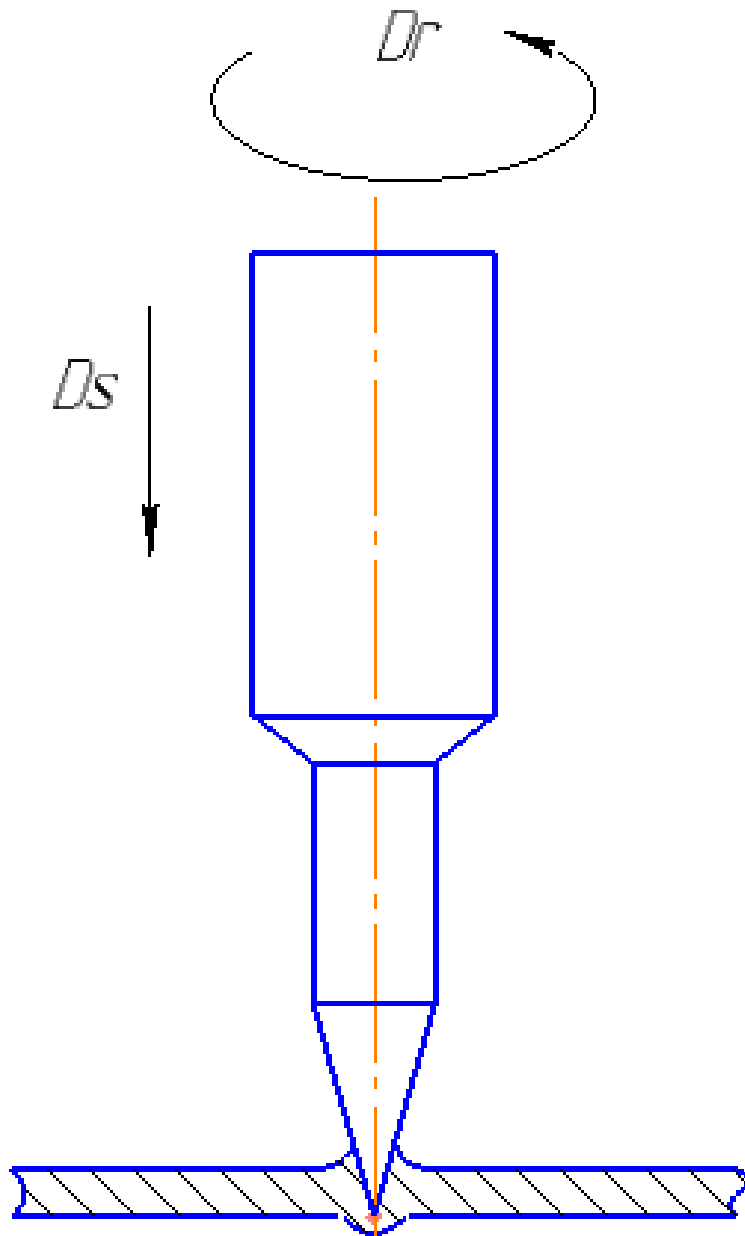


Рисунок 2.24 – Вторая стадия формообразования отверстия

На третьей стадии при дальнейшем движении пуансона происходит течение металла в сторону нижней кромки заготовки, при этом образуется нижняя отбортовка.

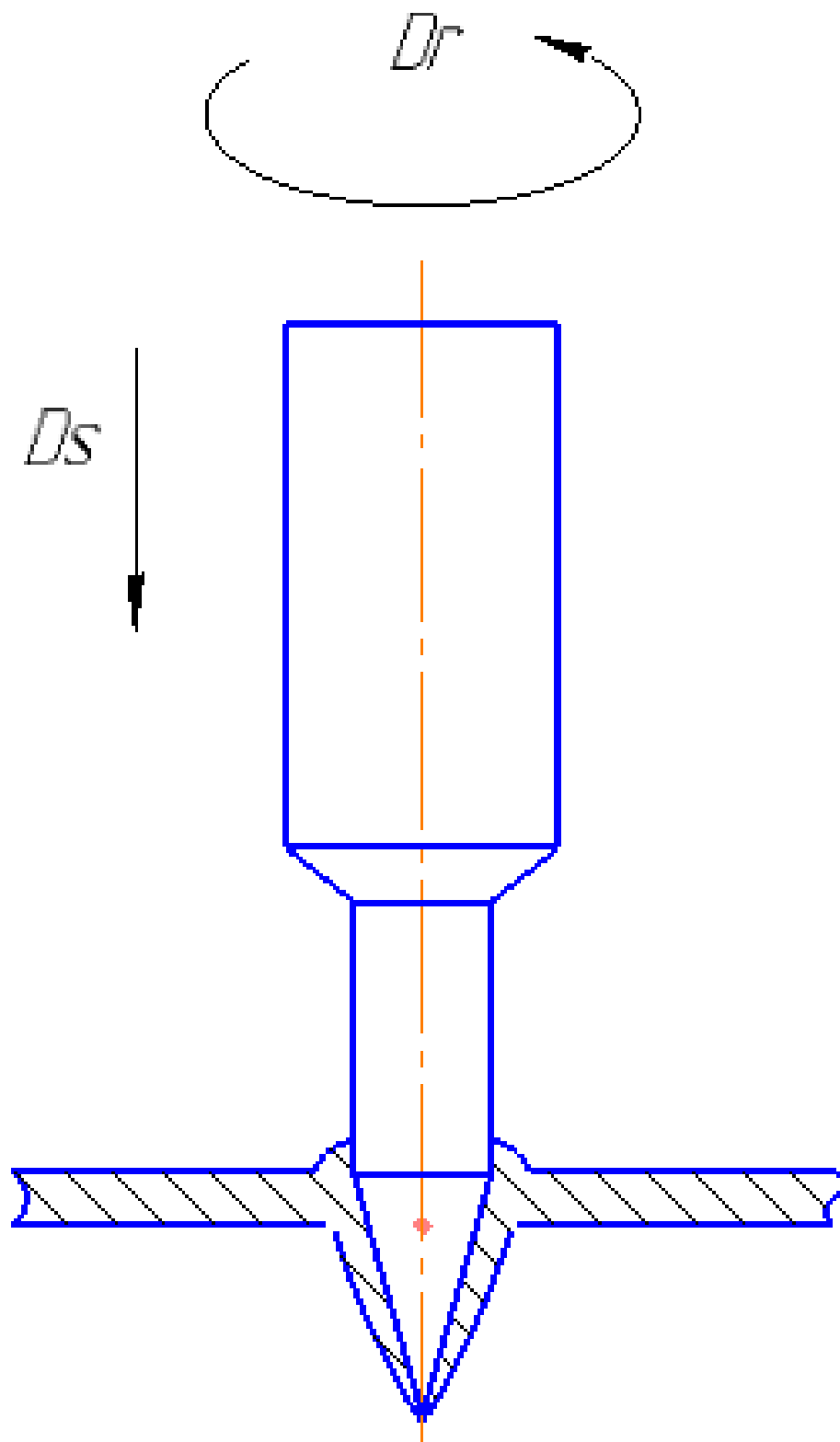


Рисунок 2.25 – Третья стадия формообразования отверстия

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ

Лист

35

На четвертой стадии происходит разрыв материала заготовки и окончательное образование нижней отбортовки.

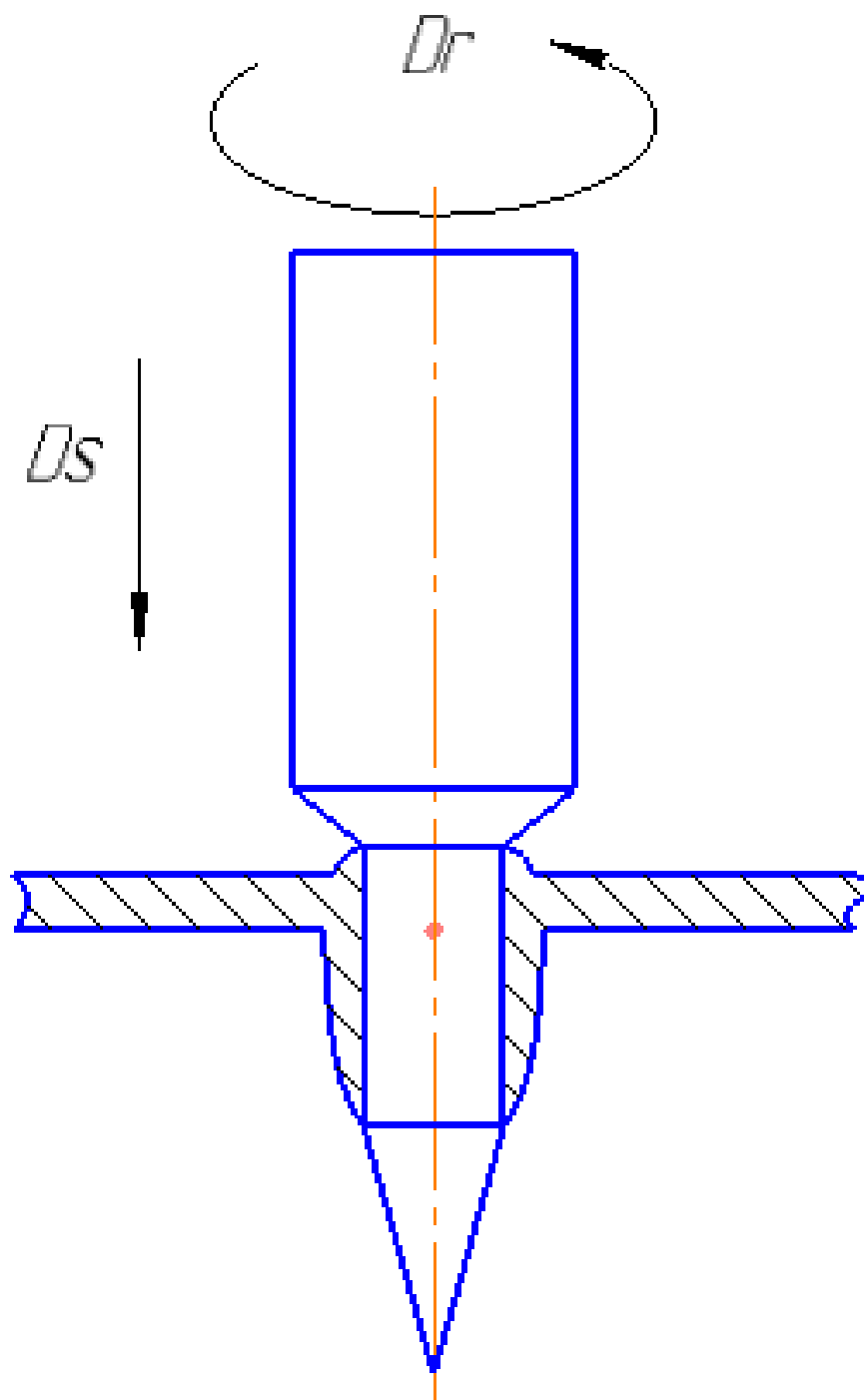


Рисунок 2.26 – Четвертая стадия формообразования отверстия

На пятой стадии после выхода пуансона из заготовк, образуется цилиндрическое отверстие с верхней и нижней отбортовкой, длина которого позволяет получить резьбу с необходимым количеством витков для обеспечения

нужных прочностных характеристик. Обработанные заготовки представлены на рисунке 2.28.

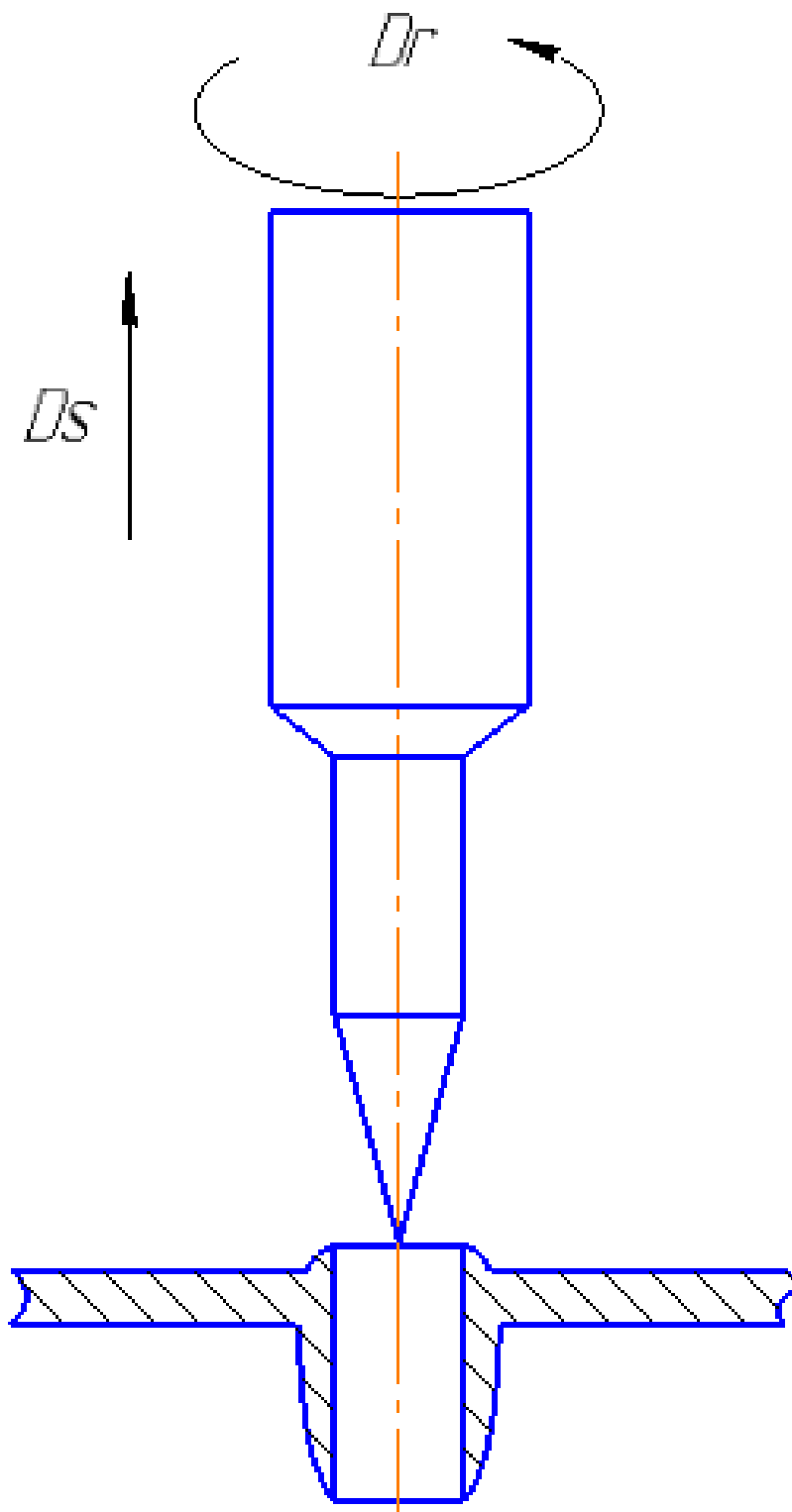


Рисунок 2.27 – Пятая стадия формообразования отверстия

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ

Лист

37

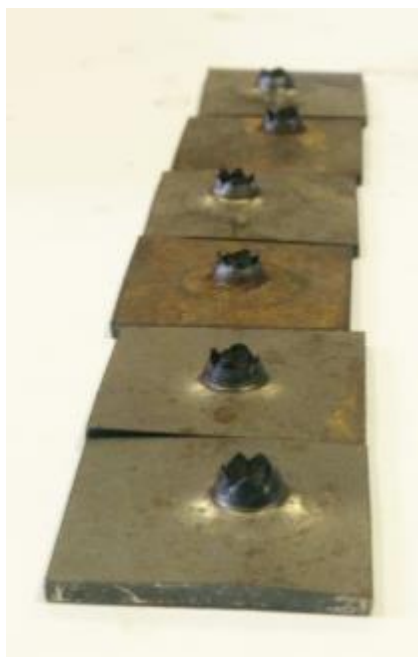


Рисунок 2.28 – Тонколистовые заготовки с образованными в них отверстиями

Для дальнейшего исследования геометрических параметров отбортовок часть заготовок с обработанным отверстием была распилена вручную с помощью ножовки по металлу в слесарных тисках. (рисунок 2.29).

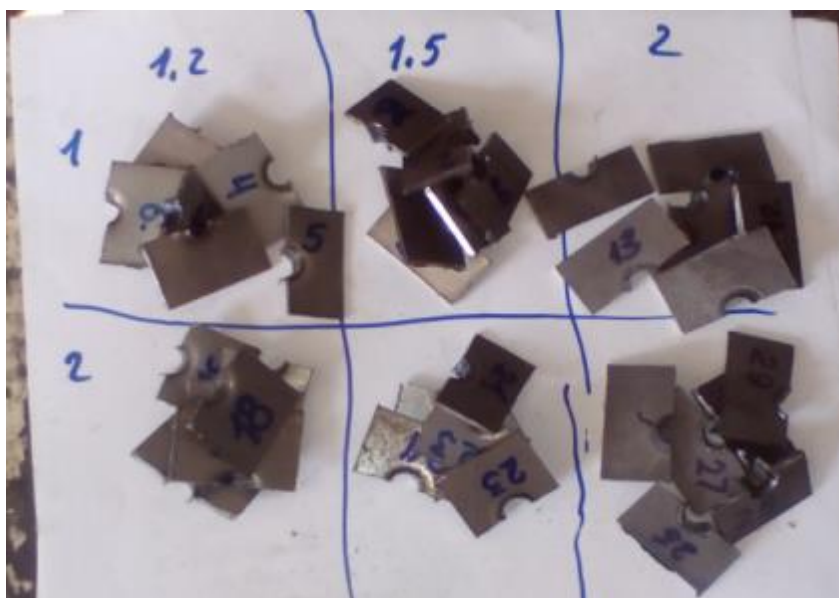


Рисунок 2.29 – Распиленные заготовки для дальнейшего измерения геометрических параметров

Для устранения заусенцев и наплывов поверхности среза заготовок были подвержены абразивной обработке на универсально-заточном станке 3Д642Е

(рисунок 2.30). 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 шлифования. Технические характеристики станка 3Д642Е представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики станка 3Д642Е

Наименование параметра	Значение
Основные параметры	
Класс точности по ГОСТ 8-82	П
Наибольшие размеры обрабатываемых изделий в центрах (длина x диаметр), мм	500 x 250
Высота центров над рабочим столом, мм	125
Рабочий стол станка	
Размеры рабочей поверхности стола по ГОСТ 6569-75 (длина x ширина), мм	800 x 140
Шлифовальная головка	
Число оборотов заточного круга при бесступенчатом регулировании, об/мин	2200...6400
Число оборотов заточного круга при ступенчатом регулировании, об/мин	2240,3150, 4500,6300
Конечный шлифовальный шпиндель по ГОСТ 2324-77 исполнение 2	Морзе 4
Наибольший диаметр устанавливаемого шлифовального круга по ГОСТ 2424-83 типа ПП	200
Наибольший диаметр устанавливаемого шлифовального круга по ГОСТ 2424-83 других типов	150
Электрооборудование и привод станка	
Количество электродвигателей на станке	6
Электродвигатель привода шпинделя, кВт	1,1
Электродвигатель вертикального перемещения шлифовальной бабки (привод колонны), кВт	0,18
Электродвигатель привода изделия, кВт/ об/мин	0,25/ 1500
Габариты и масса станка	
Габарит станка, мм	1715 x 1810 x 1635
Масса станка, кг	1650



Рисунок 2.30 – Универсально-заточной станок 3Д642Е

С помощью малого инструментального микроскопа (рисунок 2.31) были измерены следующие геометрические параметры отбортовки, представленные на схеме (рисунок 2.32), где f - толщина заготовки, h_n - длина нижней отбортовки, h_v - длина верхней отбортовки, S_n - толщина нижней отбортовки у основания, S_v - толщина верхней отбортовки у основания, S_1 , S_2 - толщины нижней отбортовки в двух сечениях на примерно равных расстояниях.

Усредненные результаты произведенных измерений сведены в таблицу 2.3



Рисунок 2.31 – Малый инструментальный микроскоп

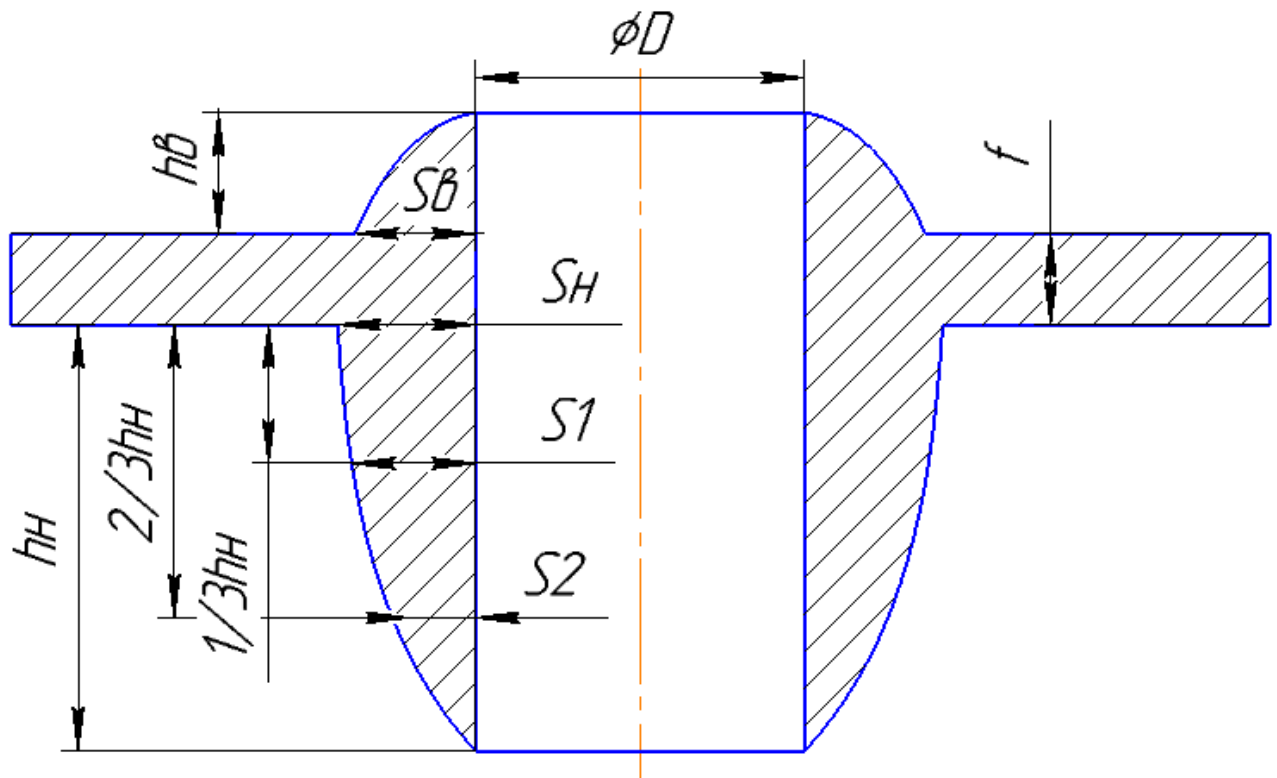


Рисунок 2.32 – Схема измерения геометрических параметров отбортовки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ

Лист

41

Таблица 2.3 – Сводная таблица усредненных результатов измерения геометрических параметров отбортовок

Толщина листа, мм	Подача, мм/об	Усредненное значение измеряемых параметров, мм					
		hв	hн	Sв	Sн	S1	S1
2	0,1	1,13375	2,465	0,799375	1,1575	0,798125	0,716875
2	0,2	0,99125	2,034167	0,776667	0,970833	0,856667	0,575
2	0,4	0,91875	2,2775	0,7	1,015	0,7325	0,50375
2	0,56	0,653125	1,616875	0,596875	1,449375	0,909563	0,74625
1,5	0,1	0,555	2,2475	0,53625	0,92875	0,69375	0,46
1,5	0,2	0,664375	1,968125	0,45625	1,0275	0,761875	0,439375
1,5	0,28	0,27875	1,889375	0,470625	1,254375	0,875625	0,65875
1,5	0,4	0	1,6125	0	1,2375	0,80875	0,59
1,2	0,1	0,485625	2,585	0,700625	0,909375	0,7325	0,52625
1,2	0,14	0	1,649375	0	0,8525	0,715625	0,519375
1,2	0,2	0,223125	1,4725	0,64625	1,08375	0,775	0,76125
1,2	0,28	0,113125	1,38625	0,125625	1,10375	0,71125	0,57875
1	0,1	0,32675	1,321875	0,37625	0,8625	0,621875	0,515625
1	0,14	0,33375	1,70875	0,395	1,0675	0,755	0,55375
1	0,2	0,01	1,854375	0,0775	1,095	0,730625	0,569375
0,8	0,1	0	1,75375	0	1,396875	0,738125	0,55125
0,8	0,14	0,150714	1,59	0,139286	0,86	0,695714	0,541429

По полученной сводной таблице был выведен ряд графических зависимостей (рисунки 2.33- 2.44)

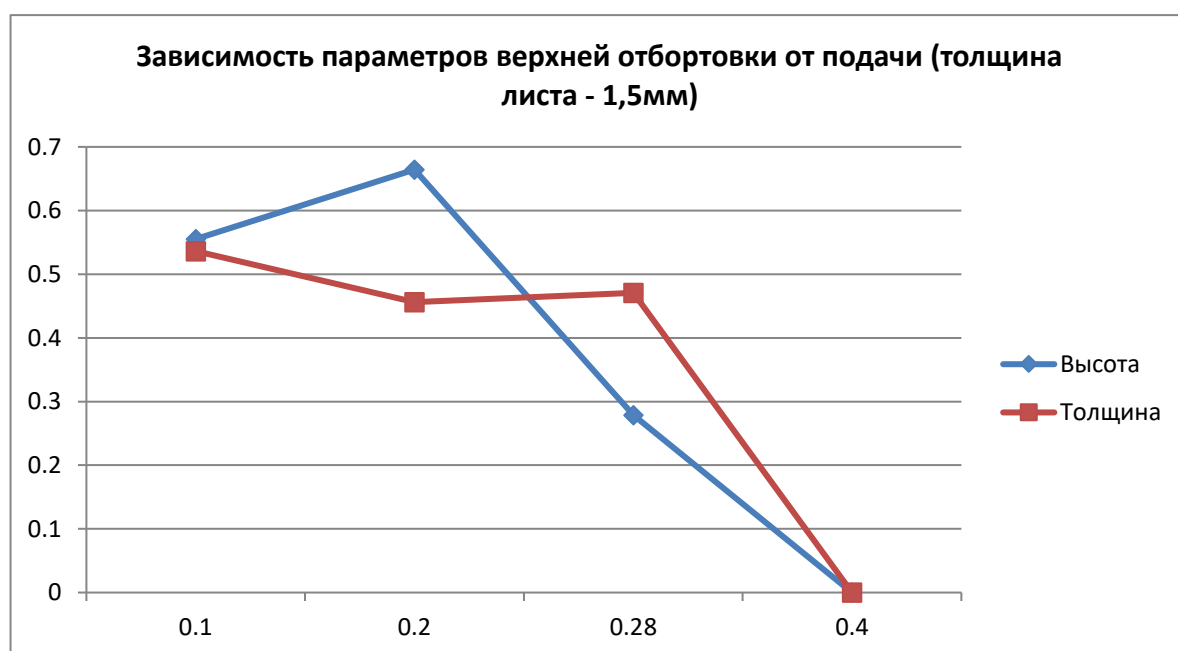


Рисунок 2.33 – Графическая зависимость №1

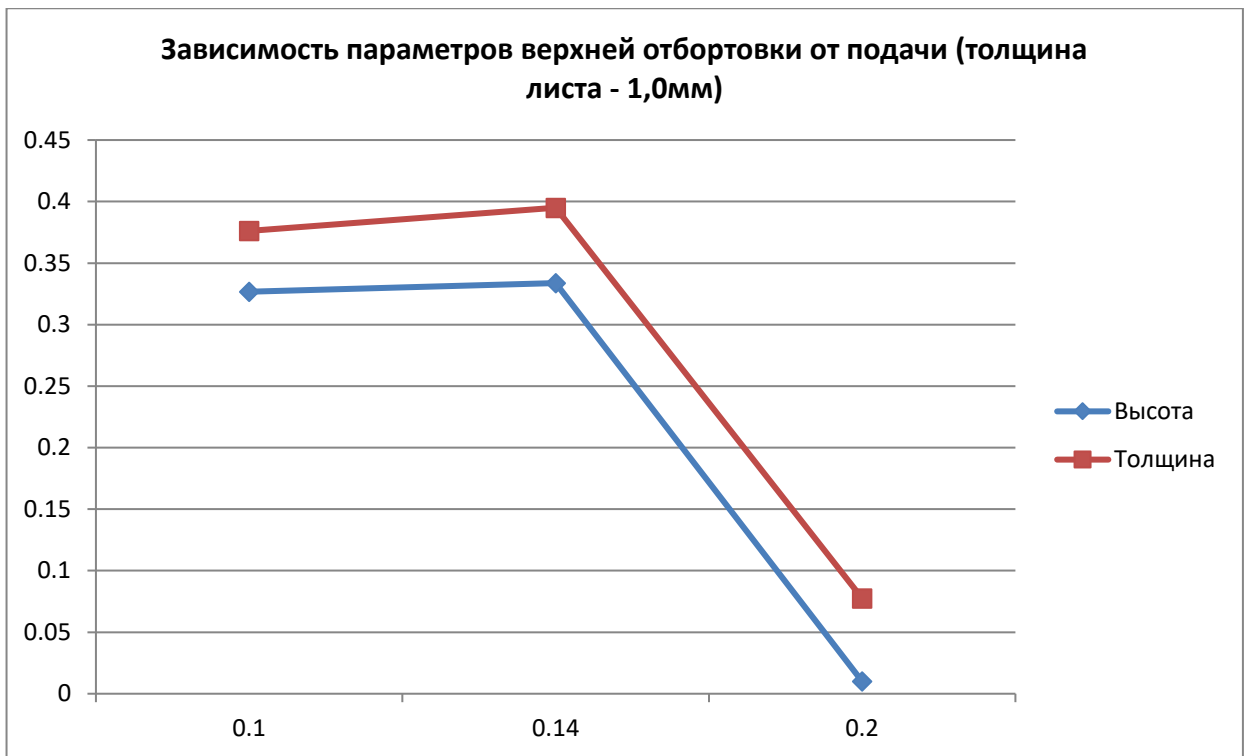


Рисунок 2.34 – Графическая зависимость №2

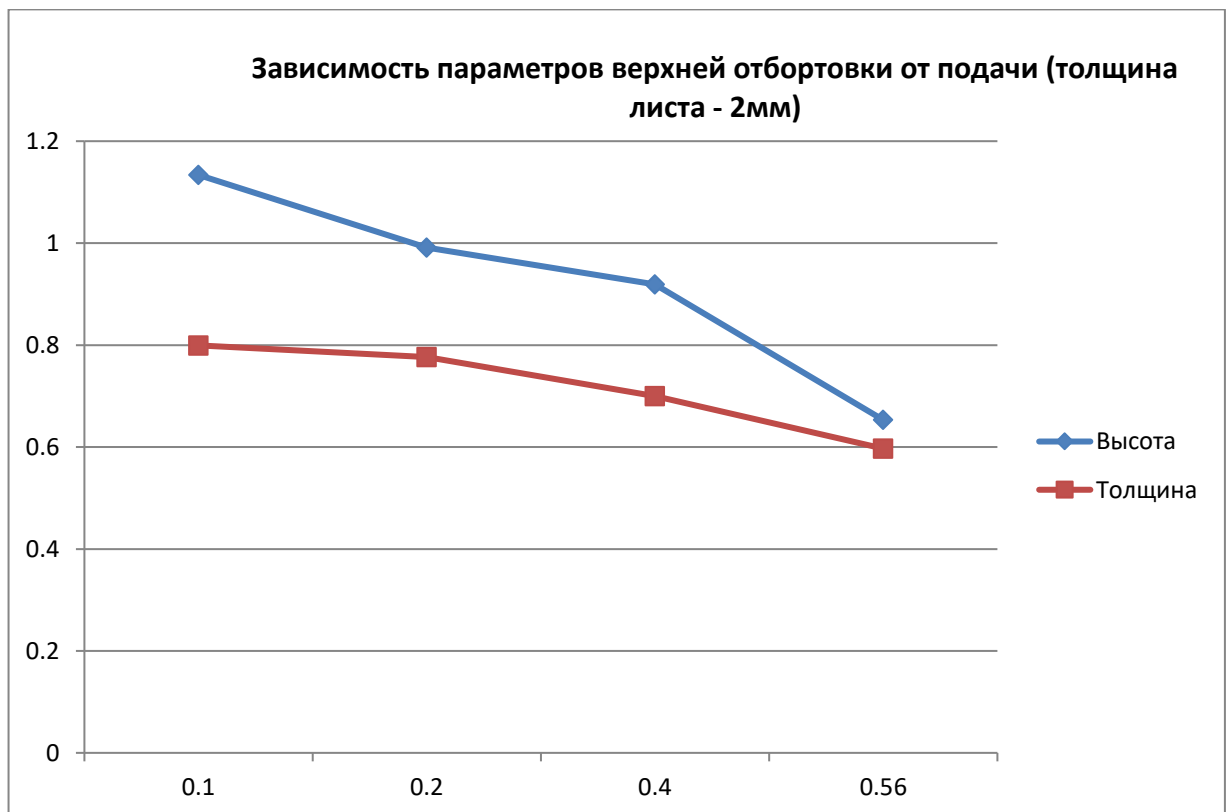


Рисунок 2.35 – Графическая зависимость №3

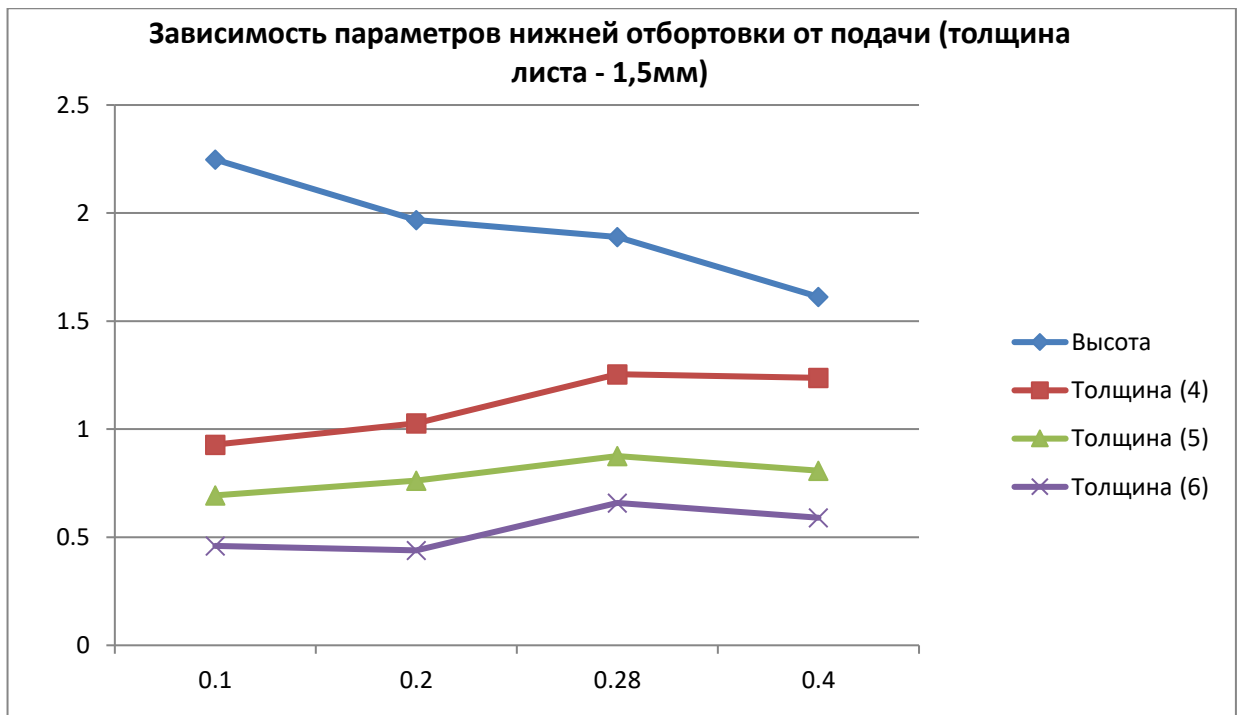


Рисунок 2.36 – Графическая зависимость №4

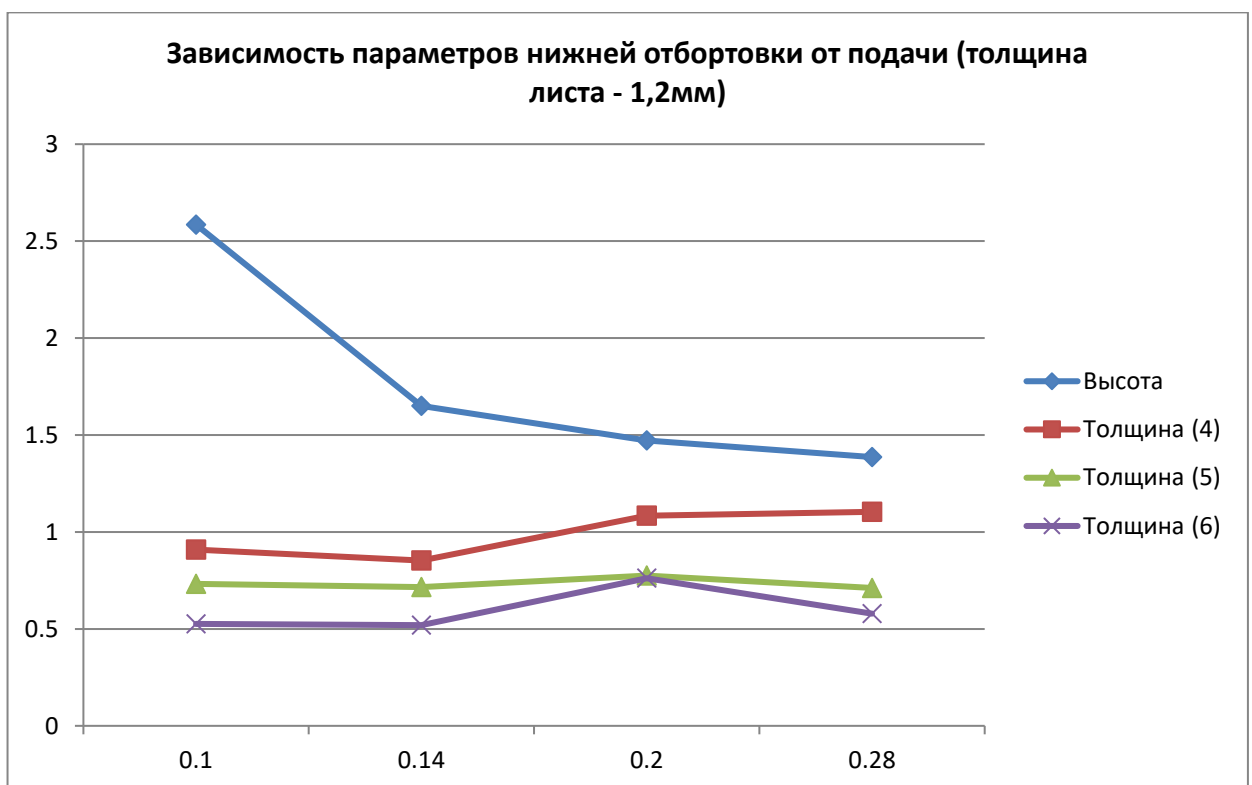


Рисунок 2.37 – Графическая зависимость №5

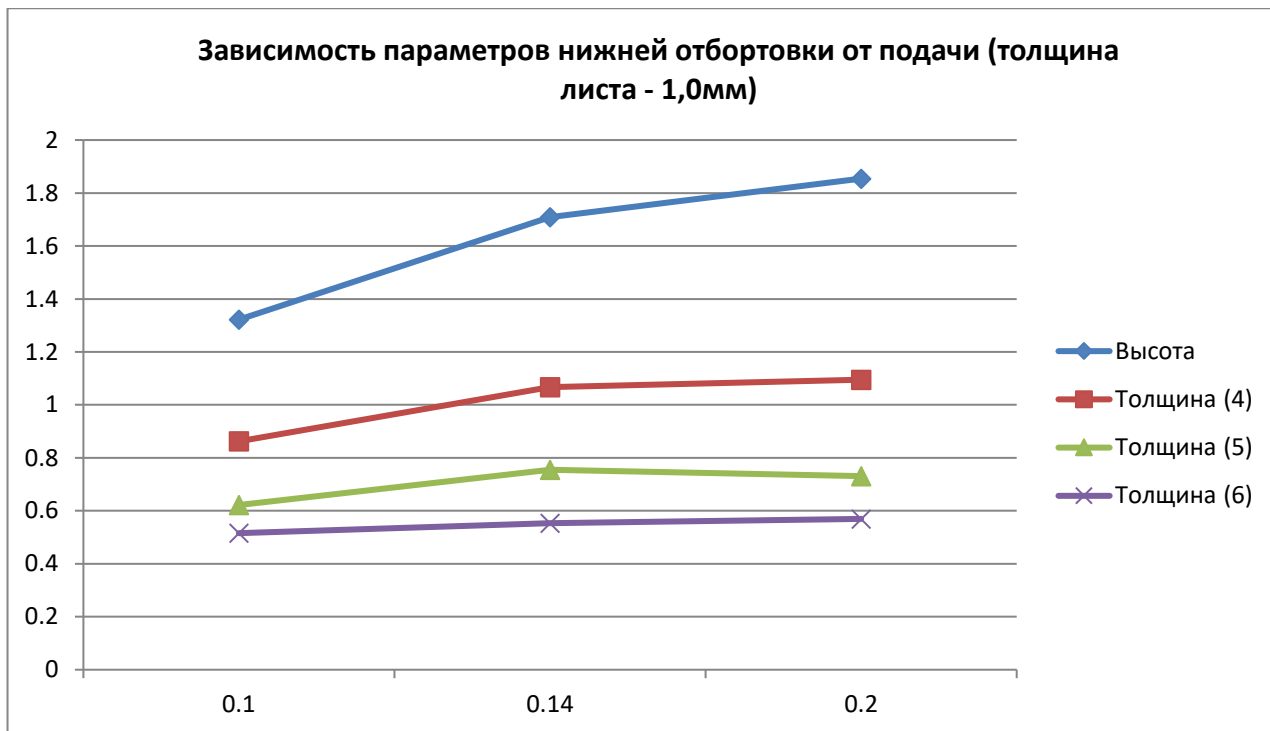


Рисунок 2.38 – Графическая зависимость №6

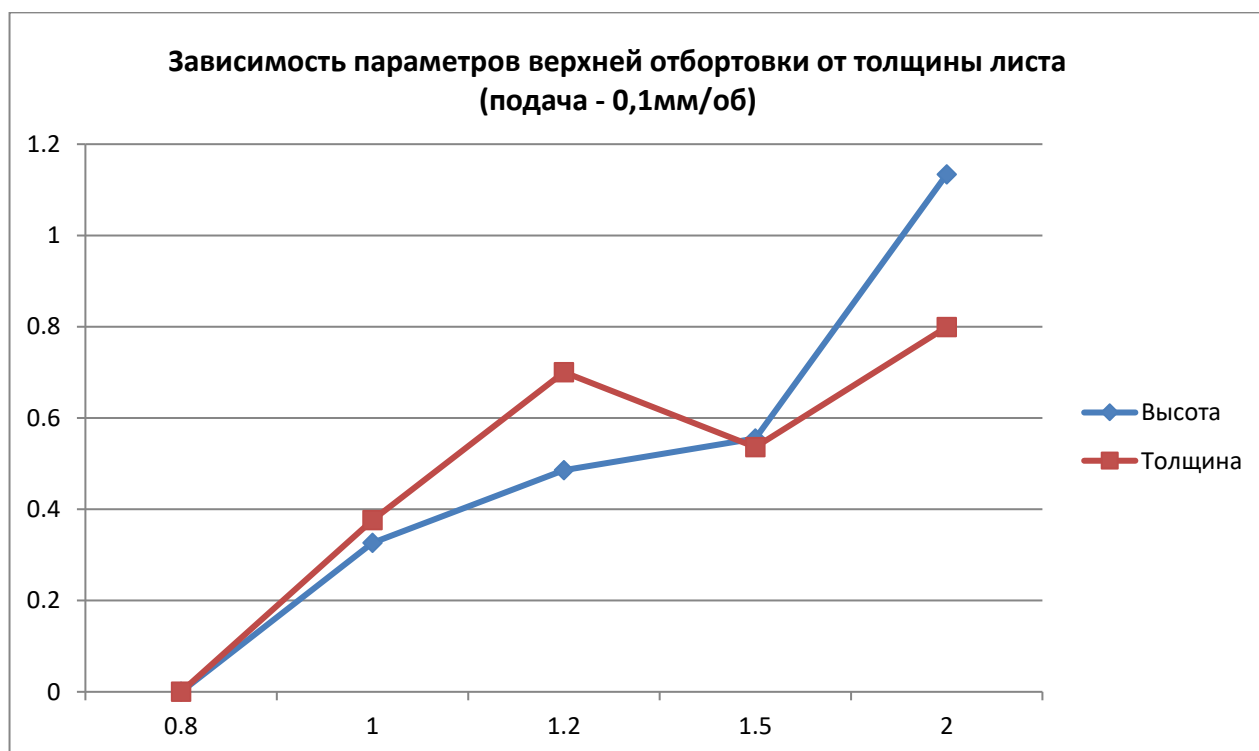


Рисунок 2.39 – Графическая зависимость №7

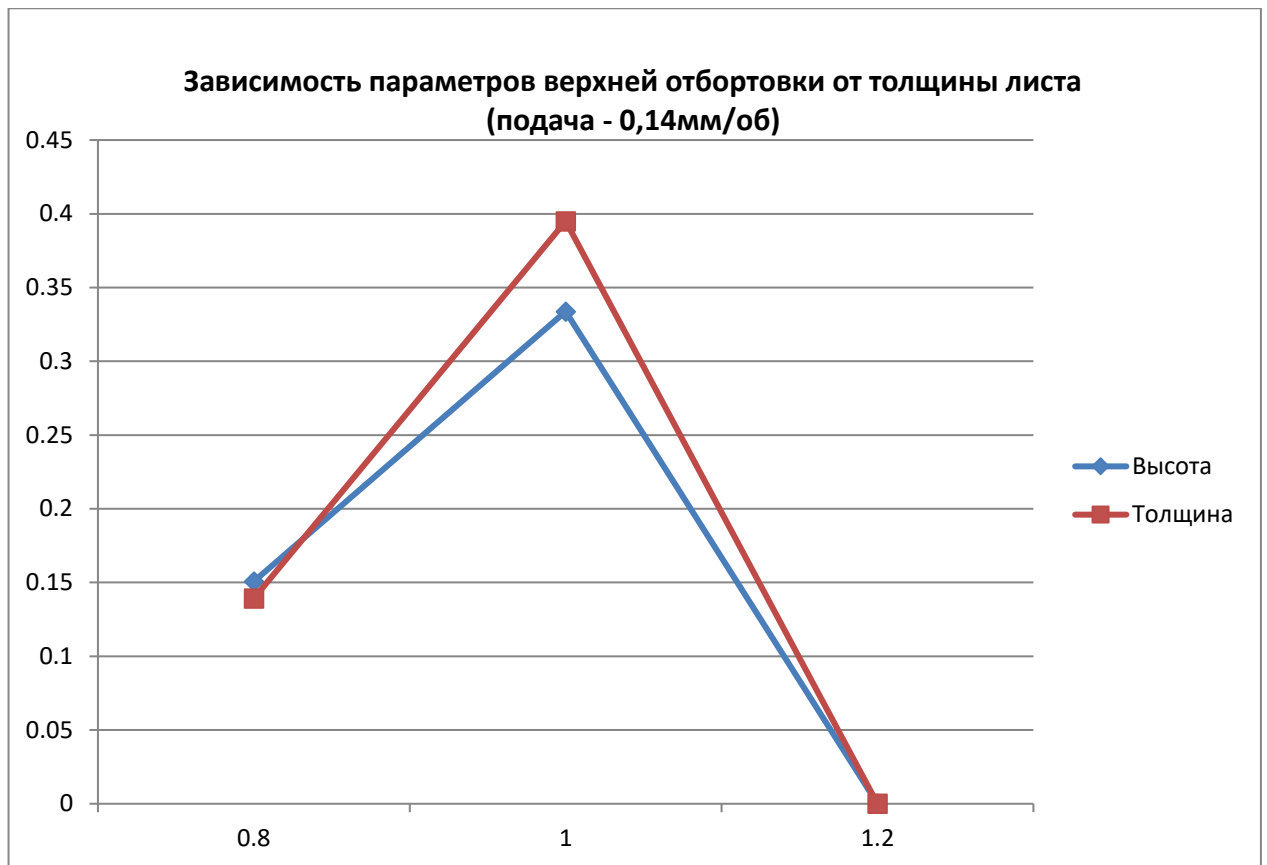


Рисунок 2.40 – Графическая зависимость №8

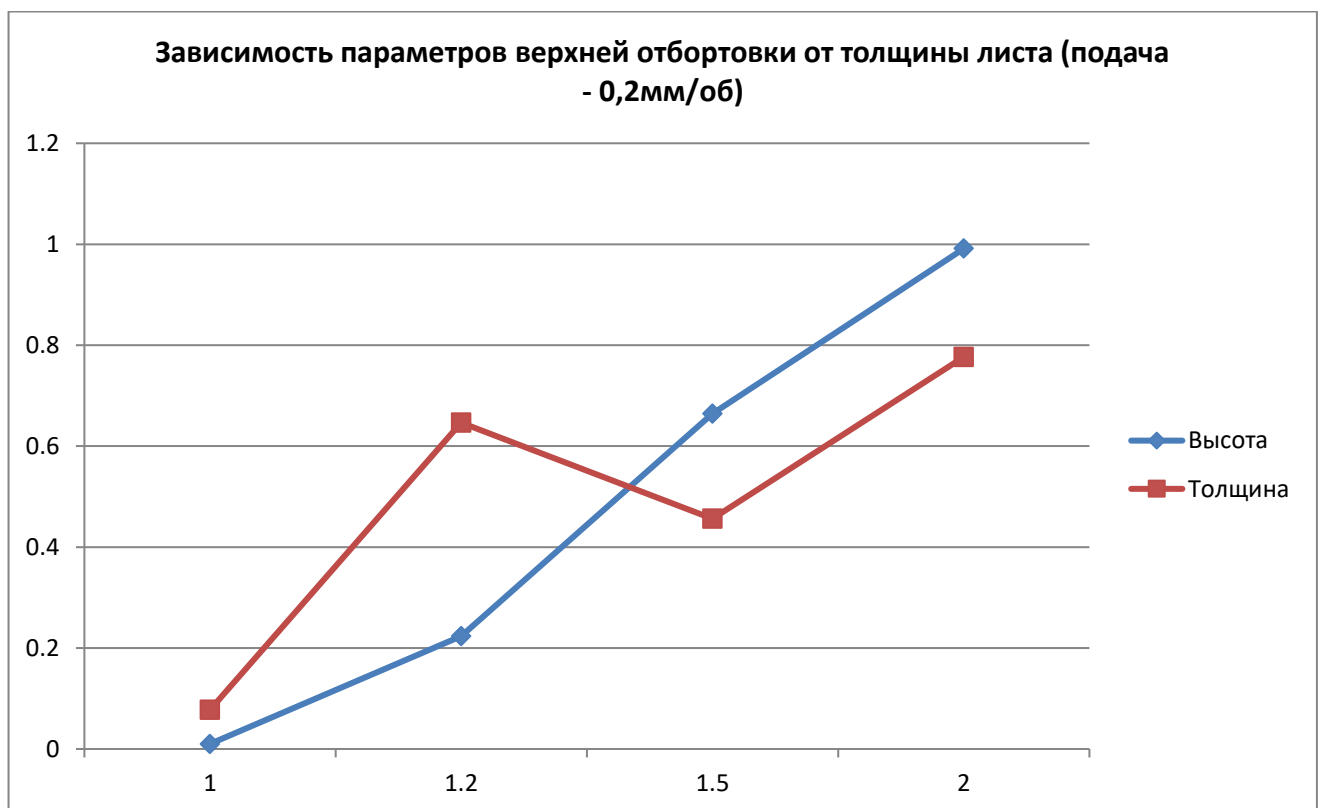


Рисунок 2.41 – Графическая зависимость №9

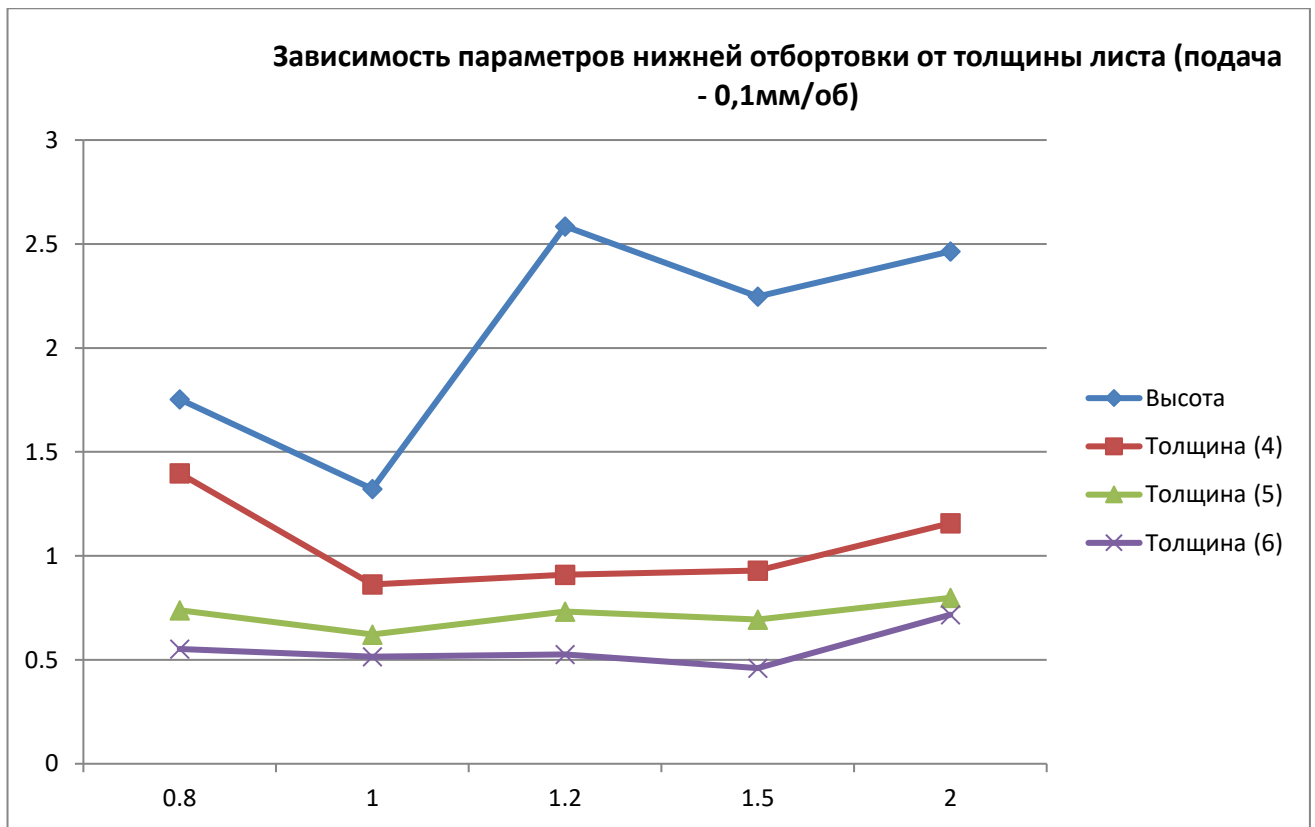


Рисунок 2.42 – Графическая зависимость №10

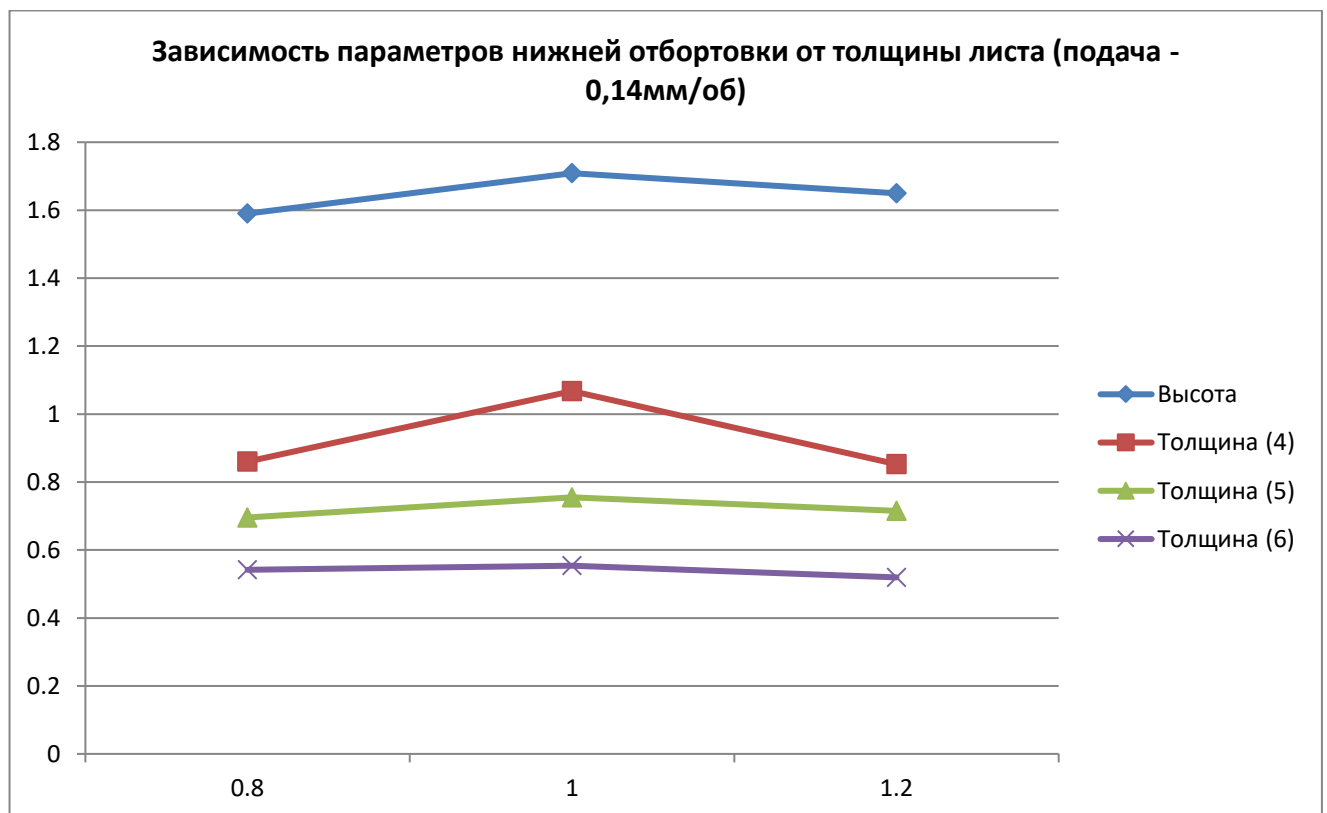


Рисунок 2.43 – Графическая зависимость №11

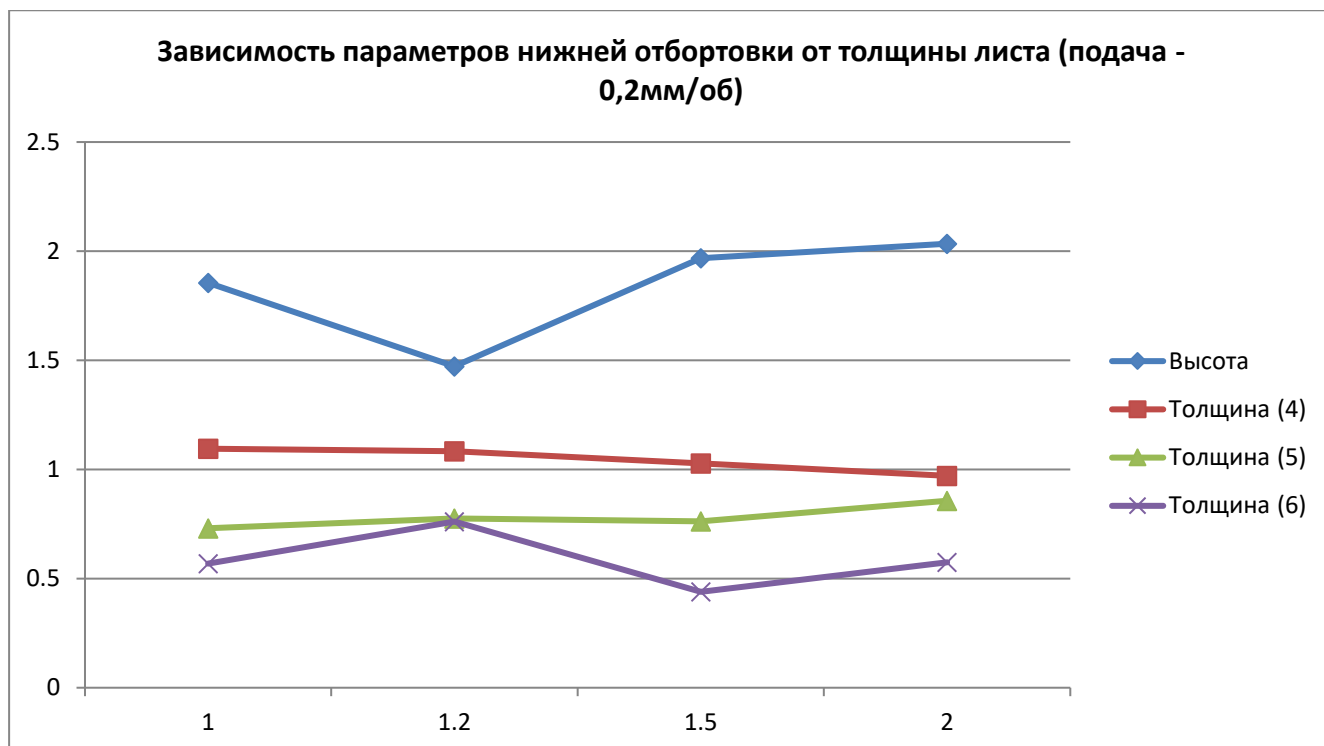


Рисунок 2.44 – Графическая зависимость №12

По полученным графическим зависимостям были составлены три сводные графические зависимости высоты верхней, высоты нижней и толщины нижней отбортовок от осевой подачи при различных толщинах заготовок (рисунки 2.45-2.47).

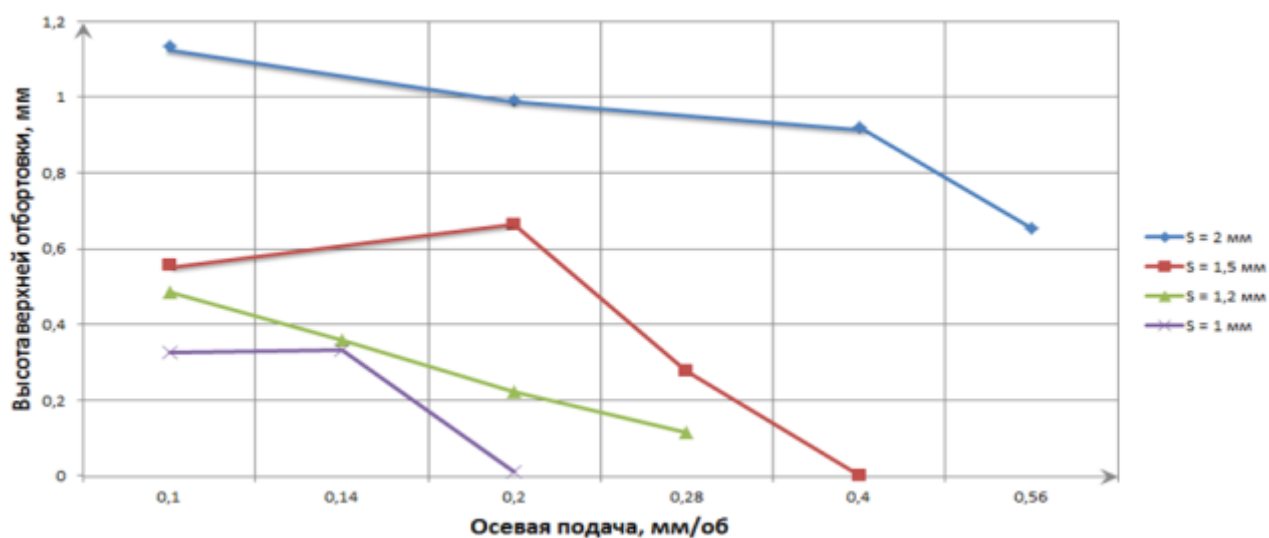


Рисунок 2.45 – Зависимость высоты верхней отбортовки от осевой подачи при различных толщинах (S) заготовки

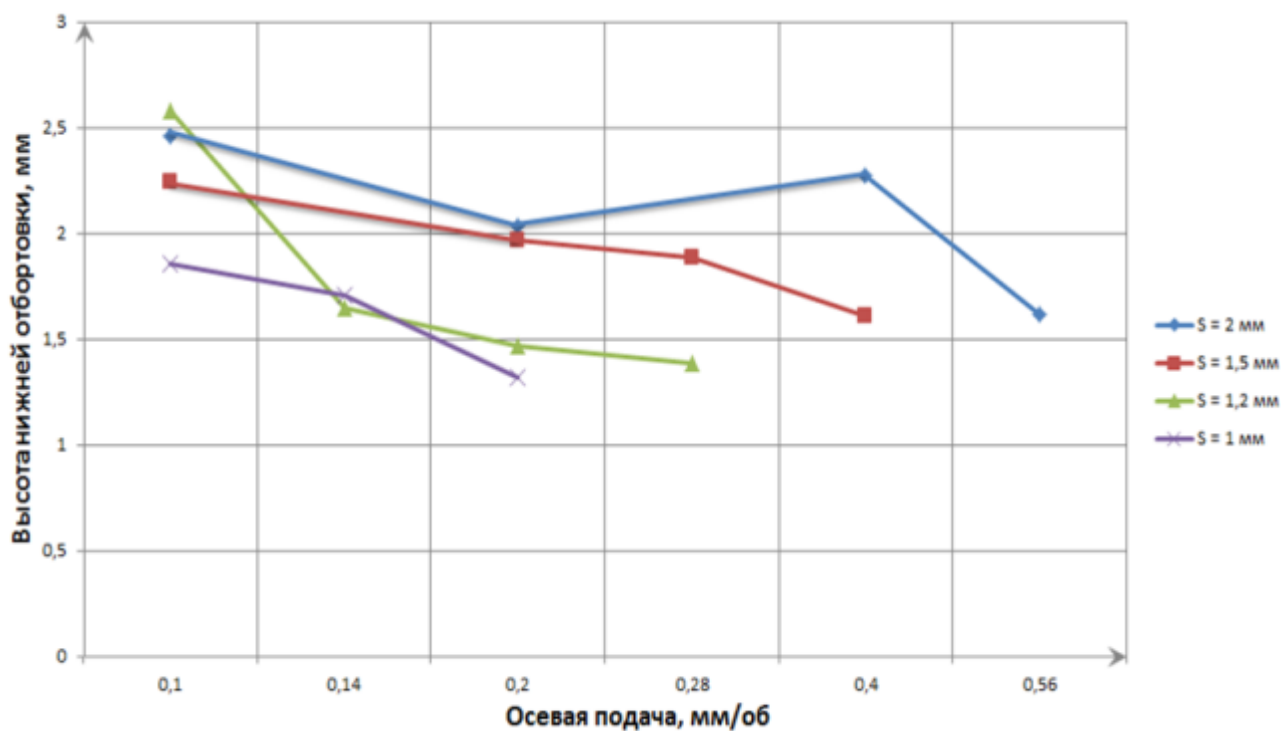


Рисунок 2.46 – Зависимость высоты нижней отбортовки от осевой подачи при различных толщинах (S) заготовки

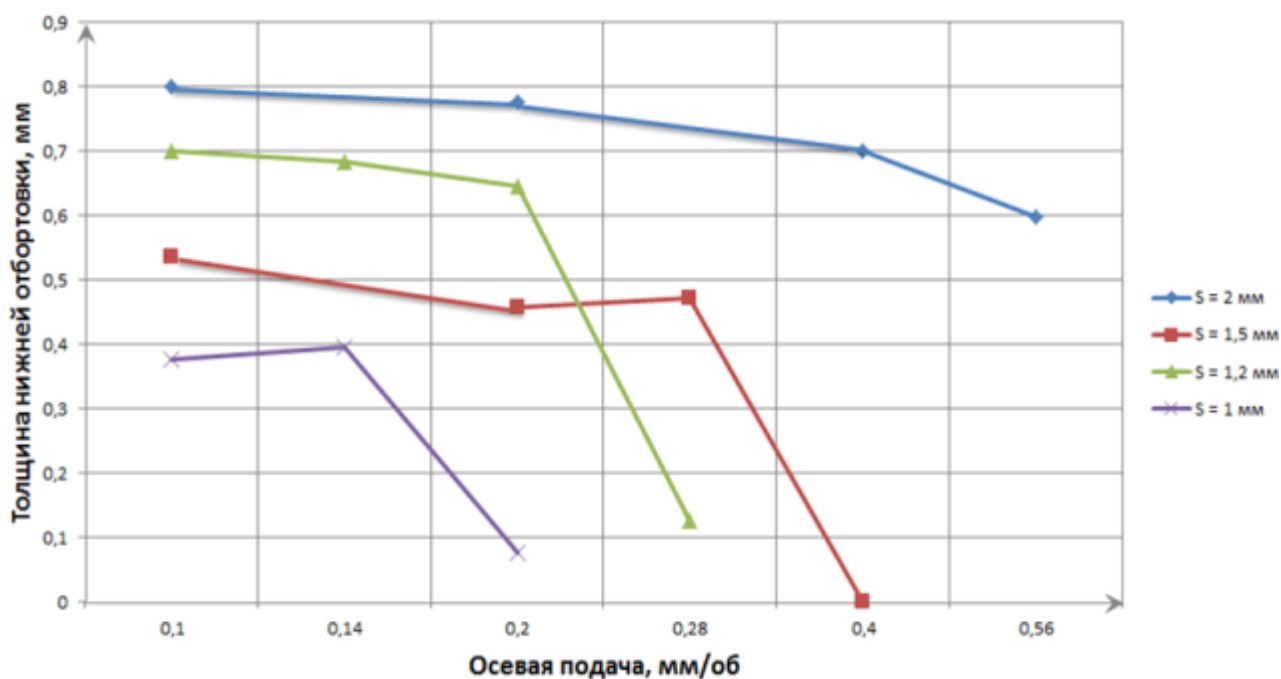


Рисунок 2.47 – Зависимость толщины нижней отбортовки от осевой подачи при различных толщинах (S) заготовки

2.5 Общие выводы по главе

По полученным экспериментальным данным и графическим зависимостям были сделаны следующие выводы:

- с увеличением подачи высота верхней отбортовки уменьшается;
- с увеличением подачи высота нижней отбортовки уменьшается;
- с увеличением подачи толщина стенки нижней отбортовки увеличивается;
- при достижении подачи равной 0,14 мм/об происходит разрушение нижней отбортовки в заготовке с толщиной листа 0,8 мм;
- при достижении подачи равной 0,2 мм/об происходит разрушение нижней отбортовки в заготовке с толщиной листа 1 мм;
- при достижении подачи равной 0,28 мм/об происходит разрушение нижней отбортовки в заготовке с толщиной листа 1,2 мм;
- при достижении подачи равной 0,4 мм/об происходит разрушение нижней отбортовки в заготовке с толщиной листа 1,5 мм;
- при достижении подачи равной 0,56 мм/об происходит разрушение нижней отбортовки в заготовке с толщиной листа 2 мм.

С учетом экспериментальных данных, полученных зависимостей и сделанных выводов были выведены оптимальные режимы обработки при термическом сверлении (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Оптимальные режимы обработки при термическом сверлении

Толщина заготовки, мм	Оптимальный диапазон осевой подачи, мм/об
0,8	до 0,1
1	0,1 - 0,14
1,2	0,14 - 0,2
1,5	0,2 - 0,28
2	0,2 - 0,4

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУЧЕННЫХ ОТВЕРСТИЙ

В данном разделе произведен расчет на прочность резьбового соединения на срез, который затем был проверен экспериментально, определена точность размеров отверстий для применения данного способа на практике и приведены примеры внедрения его в производство.

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

Полученные данные о геометрических параметрах отверстий с отбортовками (таблица 2.3) позволяют определить длину свинчивания $L_{св}$. Схема геометрических параметров отверстия представлена на рисунке 3.1.

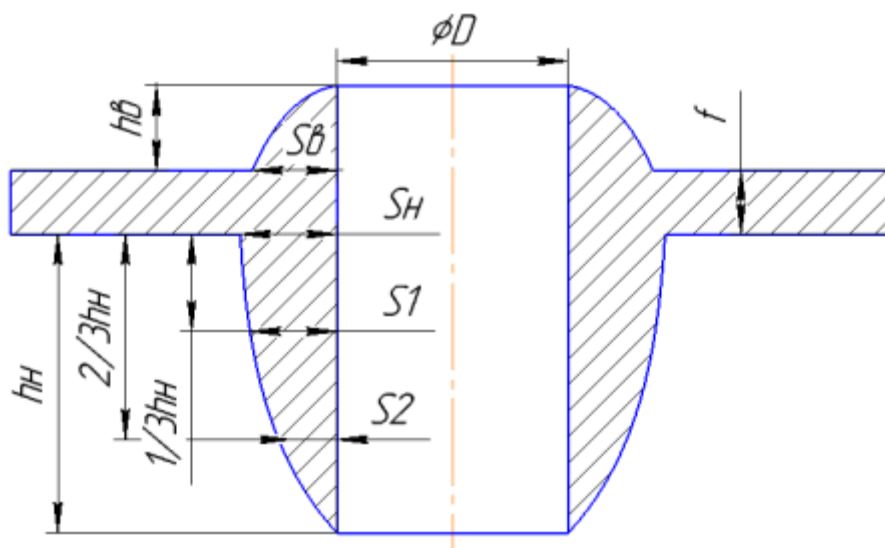


Рисунок 3.1 – Геометрические параметры отверстий с отбортовками

Опираясь на схему (рисунок 3.1) была выведена следующая формула для определения длины свинчивания:

$$L_{св} = h_B + f + h_H \quad (1)$$

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 2 [1]:

$$F_{\text{ср}} = \pi \cdot d \cdot L_{\text{св}} \cdot K_{\text{Г}} \cdot K_{\text{М}} \cdot \tau_{\text{в.Г}}, \quad (2)$$

где d – внутренний диаметр резьбы гайки, мм;

$K_{\text{Г}}$ – коэффициент полноты резьбы, характеризующий длину контакта (перекрытие) витков резьбы болта и гайки. Для метрической резьбы $K_{\text{Г}} = 0,8$ [2];

$K_{\text{М}}$ – коэффициент учитывающий неравномерность деформирования витков по высоте гайки при наличии пластической деформации, $K_{\text{М}} = 0,75$ [2];

$\tau_{\text{в.Г}}$ – предел прочности на срез, МПа. Сталь 08кп $\tau_{\text{в.Г}} = 200$ МПа [2].

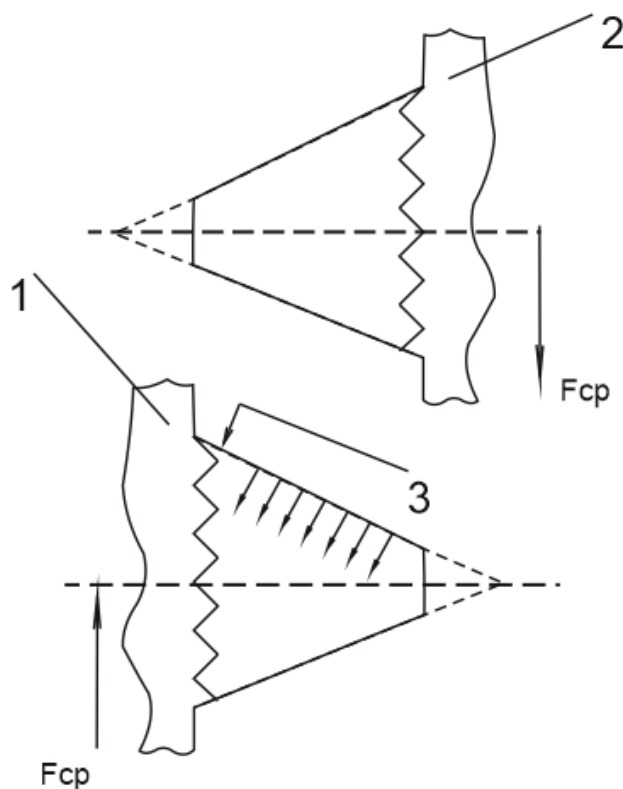


Рисунок 3.2 – Схема разрушения витка резьбы в результате среза:

1 – болт; 2 – гайка; 3 – линия разрушения резьбы

В таблице 3.1 представлены результаты расчета длины свинчивания и теоретической нагрузки, при которой будет происходить срез резьбового соединения, для отверстий, образованных в заготовках различной толщины при различном значении подачи.

Таблица 3.1 – Сводная таблица результатов расчета предельной нагрузки и длины свинчивания резьбового соединения

Толщина листа, мм	Подача, мм/об	h _в , мм	h _н , мм	L _{св} , мм	F _{ср} , Н
2	0,1	1,13375	2,465	5,59875	3359,25
2	0,2	0,99125	2,03417	5,025417	3015,25
2	0,4	0,91875	2,2775	5,19625	3117,75
2	0,56	0,65313	1,61688	4,27	2562
1,5	0,1	0,555	2,2475	4,3025	2581,5
1,5	0,2	0,66438	1,96813	4,1325	2479,5
1,5	0,28	0,27875	1,88938	3,668125	2200,875
1,5	0,4	0	1,6125	3,1125	1867,5
1,2	0,1	0,48563	2,585	4,270625	2562,375
1,2	0,14	0	1,64938	2,849375	1709,625
1,2	0,2	0,22313	1,4725	2,895625	1737,375
1,2	0,28	0,11313	1,38625	2,699375	1619,625
1	0,1	0,32675	1,32188	2,648625	1589,175
1	0,14	0,33375	1,70875	3,0425	1825,5
1	0,2	0,01	1,85438	2,864375	1718,625
0,8	0,1	0	1,75375	2,55375	1532,25
0,8	0,14	0,15071	1,59	2,540714	1524,428

По результатам расчета, приведенным в таблице 3.1, построен график зависимости силы, вызывающей срез витков от подачи при различных значениях толщины f заготовки (рисунок 3.3).

Из построенных графических зависимостей можно сделать вывод, что с увеличением подачи снижается предельная нагрузка, при которой резьбовое соединение сохраняет работоспособность.

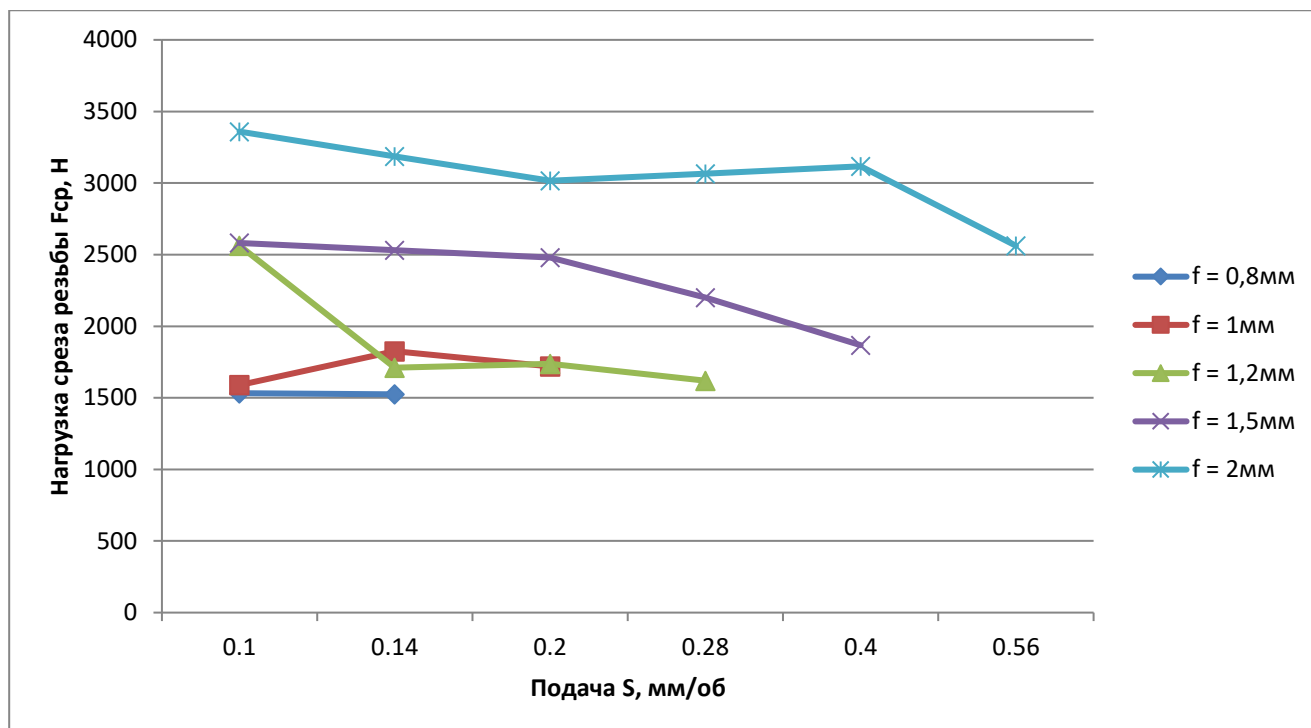


Рисунок 3.3 – График зависимости $F_{ср}$, Н от S , мм/об при различных толщинах f заготовок

3.2 Проверка прочности резьбового соединения на срез

Для проверки прочности полученной резьбы на срез применялась электромеханическая универсальная испытательная машина Instron 5882 (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. Технические характеристики машины Instron 5882 приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики испытательной машины Instron 5882

Параметр	Значение
Усилие, кН	до 100
Макс. перемещение подвижной траверсы, мм	до 1500
Рабочая температура, °С	от 20 до 300
Диапазон скоростей, мм/мин	до 500
Набор силоизмерителей, кН	100; 5; 0,1



Рисунок 3.4–Электромеханическая универсальная испытательная машина
Instron 5882

На прочность были проверены резьбы в заготовках с различной толщиной, изготовленные при оптимальных подачах (таблица 2.4). Также были сделаны заготовки, полученные лезвийным сверлением, и заготовки, полученные термическим сверлением, со срезанной отбортовкой для того, чтобы при одинаковом количестве витков сравнить прочность резьбовых соединений в этих отверстиях. Каждый эксперимент проводился 5 раз. В отверстиях резьба нарезалась комплектом метчиков (рисунок 3.5).

На рисунке 3.7 представлена экспериментально полученная зависимость приложенной силы от времени для заготовок с одинаковыми геометрическими параметрами, образованных различными методами.



Рисунок 3.6– Комплект метчиков М5

**Зависимость приложенной силы от времени при
испытании заготовок с одинаковой геометрией,
образованных различными методами**

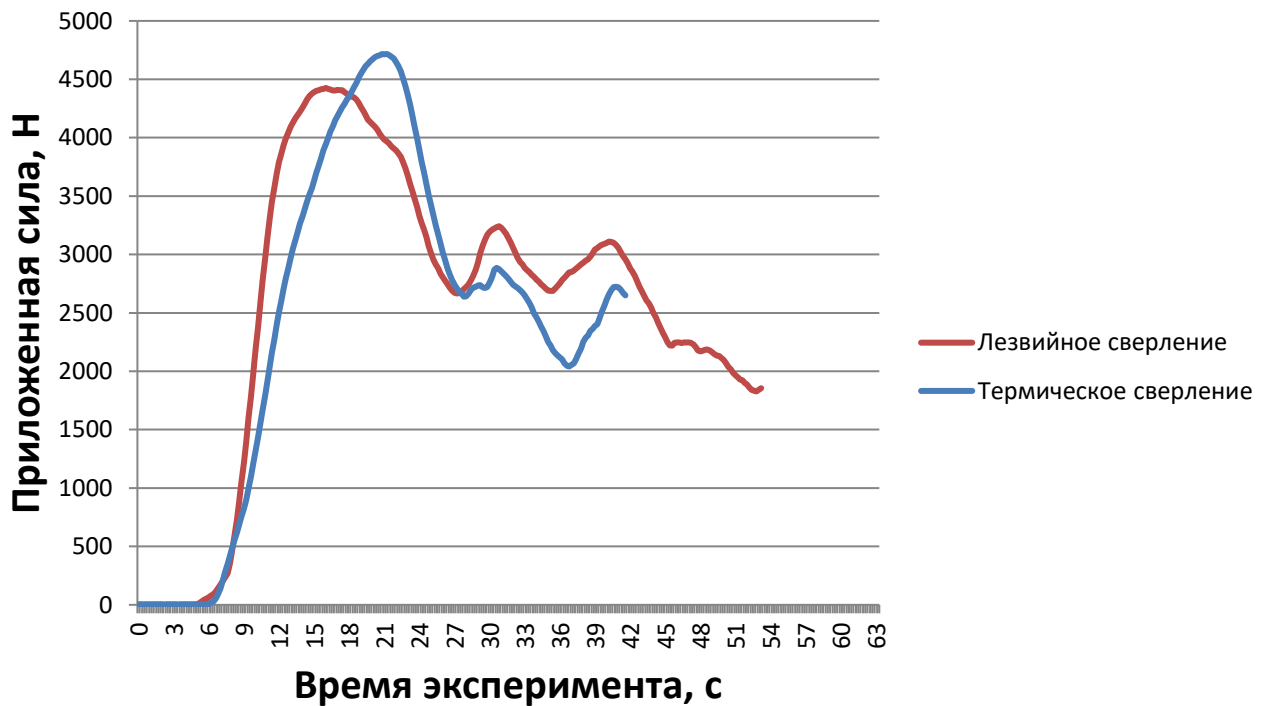


Рисунок 3.7–Графическая зависимость, полученная в результате испытаний

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В таблице 3.3 представлены теоретически рассчитанные ($F_{ср.теор}$) и экспериментально полученные ($F_{ср.эксп}$) значения сил среза резьбы для заготовок различной толщины, образованных при оптимальных режимах обработки.

Таблица 3.3 – теоретически рассчитанные ($F_{ср.теор}$) и экспериментально полученные ($F_{ср.эксп}$) значения сил среза резьбы

Параметры заготовки		$F_{ср.теор}, Н$	$F_{ср.эксп}, Н$
$f, мм$	$S, мм/об$		
0,8	0,1	1532,75	2127,229
1	0,2	1718,63	2554,045
1,2	0,2	1737,38	3291,755
1,5	0,2	2479,5	4553,773
2	0,4	3117,75	8208,598

Также по результатам проведенных опытов была получена сводная графическая зависимость значения приложенных сил от времени эксперимента для заготовок различной толщины, образованных при оптимальных режимах обработки (рисунок 3.8).

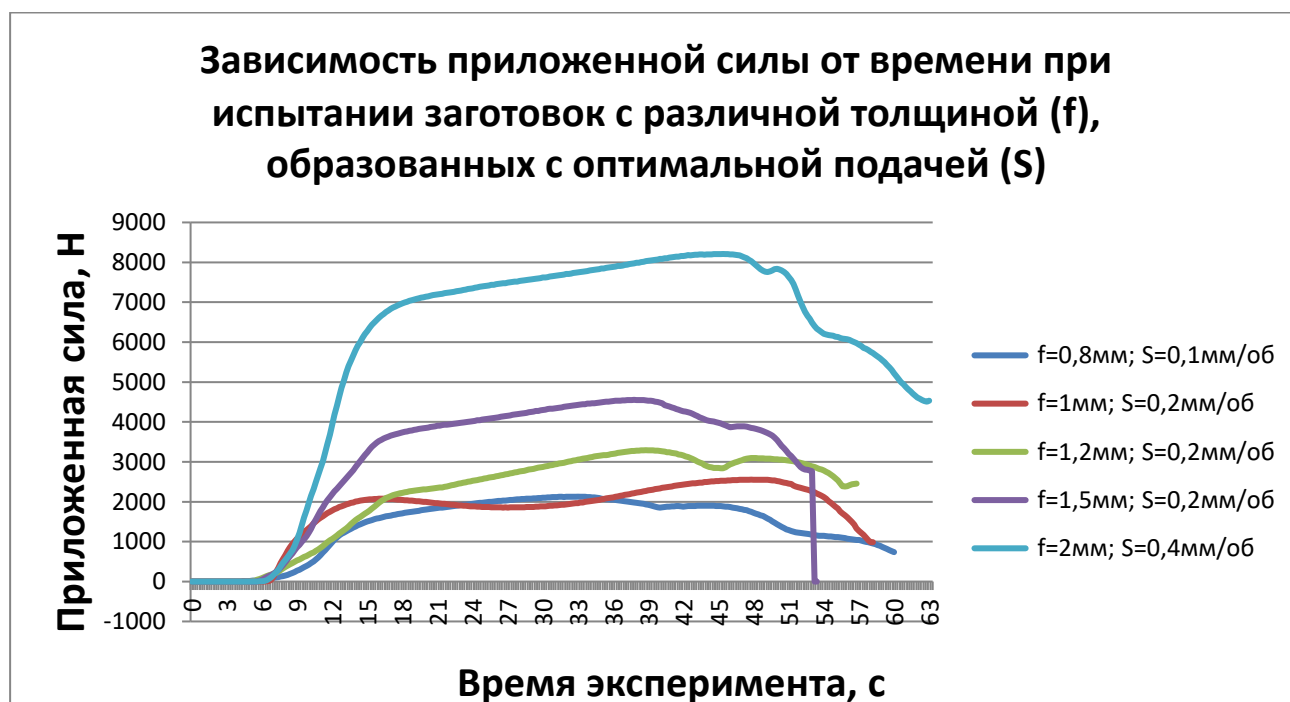


Рисунок 3.8—Графическая зависимость, полученная в результате испытаний

3.3 Точность размеров отверстий сформированных вращающимся пуансоном 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 3.9). В качестве инструмента использовался пуансон $d=4,2$ мм с углом заточки 20° и предохранительным конусом 60° , в качестве оборудования использовался вертикально-сверлильный станок 2Н125.

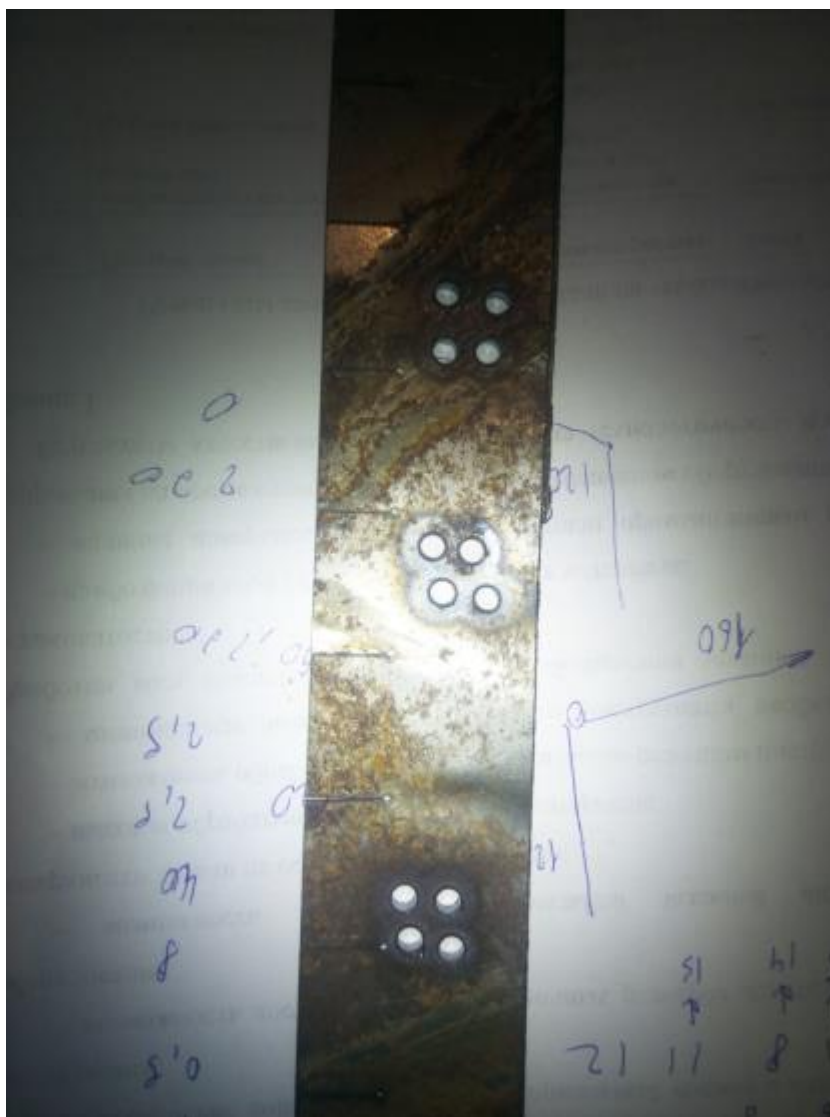


Рисунок 3.19 – Измеряемые отверстия

Геометрические параметры отверстий по верхним и нижним отбортовкам определялись с помощью малого инструментального микроскопа. Результаты измерений сведены в таблицы 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4–Геометрия внутренних диаметров верхних отбортовок

№ эксперимента	Координаты измеренных точек				Диаметры отверстий		
	x(1)	x(2)	y(1)	y(2)	по x	по y	среднее значение
1	12,39	8,14	9,915	14,145	4,25	4,23	4,24
2	7,175	11,525	17,515	21,97	4,35	4,455	4,4025
3	4,47	-0,065	23,865	19,56	4,535	4,305	4,42
4	9,635	5,16	15,36	19,66	4,475	4,3	4,3875
5	5,435	9,82	12,155	7,82	4,385	4,335	4,36
6	3,88	8,255	6,66	11,035	4,375	4,375	4,375
7	6,585	2,195	14,36	18,79	4,39	4,43	4,41
8	16,435	11,955	19,275	14,97	4,48	4,305	4,3925
9	15,77	11,48	20,275	15,995	4,29	4,28	4,285
10	15,04	10,765	13,32	9,09	4,275	4,23	4,2525
11	8,125	12,37	7,35	2,85	4,245	4,5	4,3725
12	6,995	2,71	9,415	13,655	4,285	4,24	4,2625
Среднее значение					4,36125	4,33208	4,3466667

Таблица 3.5–Геометрия внутренних диаметров нижних отбортовок

№ эксперимента	Координаты измеренных точек				Диаметры отверстий		
	x(1)	x(2)	y(1)	y(2)	по x	по y	среднее значение
1	13,525	17,905	5,775	1,545	4,38	4,23	4,305
2	20,215	15,995	0,63	4,85	4,22	4,22	4,22
3	22,58	18,24	7,455	3,265	4,34	4,19	4,265
4	14,805	10,47	6,945	2,775	4,335	4,17	4,2525
5	11,545	7,257	2,12	6,375	4,288	4,255	4,2715
6	7,285	11,56	2,045	6,305	4,275	4,26	4,2675
7	15,925	11,63	11,625	15,865	4,295	4,24	4,2675
8	9,353	5,1	14,225	9,94	4,253	4,285	4,269
9	4,59	8,86	4,14	8,415	4,27	4,275	4,2725
10	5,95	10,235	4,765	0,545	4,285	4,22	4,2525
11	2,585	6,85	4,64	0,375	4,265	4,265	4,265
12	0,695	5,02	11,73	7,47	4,325	4,26	4,2925
Среднее значение					4,29425	4,23917	4,26670833

Необходимо определить поле рассеивания получаемого диаметра и сравнить его со стандартными допусками. Определим среднее значение показателя выборочной совокупности диаметров отверстий [12] по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.3)$$

где n – количество экспериментов;

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

Среднее значение диаметров верхних отбортовок составило 4,347мм; нижних отбортовок – 4,267 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:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (3.4)$$

Из формулы (3.4) получается:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3.5)$$

Результаты расчётов показали, что значения σ равняется 0,049 мм для геометрии верхних отбортовок и 0,005 для геометрии нижних 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 $t_\lambda = 2,3$. Доверительный интервал рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta = t_\lambda \sigma. \quad (3.6)$$

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Доверительный интервал разброса диаметров отверстий составил 0,113 мм для диаметров верхней отбортовки отверстий. Таким образом, можно сказать, что диаметр верхней отбортовки отверстия будет составлять $4,347 \pm 0,057$ мм.

Доверительный интервал разброса диаметров отверстий составил 0,012 мм для диаметров верхней отбортовки отверстий. Таким образом, можно сказать, что диаметр верхней отбортовки отверстия будет составлять $4,267 \pm 0,006$ мм.

Сравнивая диаметры отверстия по верхним и нижним отбортовкам, 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 2,5%, что означает достаточную сходимость. Отверстие соответствует допуску внутреннего диаметра резьбы М5 пятой степени точности по ГОСТ 16093-81 и позволяет нарезать резьбу в нём метчиком как в стационарных, так и в монтажных условиях.

3.4 Рекомендации по применению формообразования отверстий с отбортовками под резьбу вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках с применением подачи под заданной нагрузкой

1. По таблице 2.4 определить оптимальное значение осевой подачи в зависимости от толщины листа заготовки;
2. По таблице 3.3 определить максимально допустимую нагрузку, которой в последствии может быть подвержено резьбовое соединение.

					<i>ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных в выпускной квалификационной работе были получены следующие данные о процессе термического сверления:

- зависимость геометрии отбортовок от подачи и толщины заготовки;
- зависимость прочности резьбового соединения на срез от подачи;
- точность внутреннего диаметра резьбового отверстия.

С учетом полученных данных были даны рекомендации по использованию метода термического сверления в производстве.

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иосилевич, Г.Б. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
2. Гельфонд, М.П. Сборка резьбовых соединений / М.П. Гельфонд, Е.И. Цепленюк, А.И. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1978. – 100 с.
3. Иванов М.Н. Детали машин: учебник для ВУЗов / М.Н. Иванов. – М.: Высшая школа, 1984. – 336 с.
4. Решетов, Д.Н. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов / Д.Н. Решетов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
5. Аверкиев, Ю.А. Отбортовка с утонением стенки / Ю.А. Аверкиев, Б.В. Башков // Кузнечно-штамповочное производство, 1976. – № 9. – С. 21.
6. Валеев, Я.З. Холодная формовка отверстий под резьбу / Я.З. Валеев // Кузнечно-штамповочное производство, 1965. – № 5. – С. 35-37.
7. Вдовин, С.И. Получение отбортованных отверстий в листовых деталях–: / С.И. Вдовин // Кузнечно-штамповочное производство, 1969. – № 6. – С. 16.
8. Мошнин, Е.Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей / Е.Н. Мошнин. – М.: Машиностроение, 1973. – 153 с.
9. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1979. – 520 с.
10. Тимощенко, В.А. Отбортовка отверстий под резьбу без предварительной пробивки / В.А. Тимощенко // Кузнечно-штамповочное производство, 1966. – № 2. – С. 46-49.
11. Прагер, А.И. А.с. 637178, МКИ В 21Д19/00. Способ отбортовки.
12. Гузеев, В.И. Определение геометрических размеров отбортовки, полученной методом термического сверления в тонколистовом металле/ В.И.

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Гузеев, П.В. Шаламов, Э.Е. Шульц //Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. – Челябинск:Издательский центр ЮУрГУ, 2006. – С. 175–178.

					ЮУрГУ.1503.05.2017.413.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64