

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ



Д.С. Шапошников, студент,  
e-mail: den4ikdarsik@gmail.com  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Д.И. Хромушин, магистрант,  
e-mail: denis.xromushin@mail.ru  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Д.Б. Подашев, доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования  
e-mail: dmitrij.podashev@klgtu.ru  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

В статье приведено краткое описание и свойства такого материала, как нержавеющая сталь. Обоснованы причины возникновения дополнительных сложностей при обработке данного материала. Проведен анализ методов получения и обработки тонкостенных деталей из нержавеющей стали, выявлены существующие преимущества и недостатки текущего технологического процесса изготовления данных деталей. Исходя из выявленных преимуществ и недостатков сделаны выводы о важности правильного подбора параметров обработки, контроля процесса обработки, использования смазочно-охлаждающей жидкости, мониторинга сил резания, применения САМ-систем и верификации управляющих программ. Таким образом установлено, что высокая производительность процесса и качество изготовления тонкостенных деталей из нержавеющей стали зависят от комплекса мероприятий, которые заключаются в выборе правильно подобранных параметров процесса, контроле и оптимизации каждого этапа обработки.

**Ключевые слова:** нержавеющая сталь, тонкостенные детали, технологических процесс, трубный металлопрокат, шлифование, черновая обработка, чистовая обработка, САМ-системы.

### ВВЕДЕНИЕ

Нержавеющие стали – это сплавы, которые отличаются повышенной устойчивостью к коррозии, значительной прочностью и пластичностью. Также в них содержится большое содержание хрома. Благодаря своим антикоррозийным и антибактериальным качествам они находят широкое применение в производстве и повседневной жизни. Например, из нержавеющей стали изготавливают кухонные принадлежности, медицинские (в том числе хирургические) инструменты, элементы измерительной техники, промышленных установок. Также нержавеющая сталь активно применяется в автомобилестроении, судостроении и строительстве.

Важно учитывать, что обработка заготовок из нержавеющей стали представляет значительно большие трудности, чем обработка таких материалов как древесина, пластик или сплавы из цветных металлов. Нержавеющая сталь характеризуется высокой твердостью и сопротивлением разрыву, поэтому для успешной обработки необходимо хорошо

разбираться в методах механической обработки.

Одним из наиболее сложных этапов современного производства может являться организация технологического процесса изготовления тонкостенных деталей из нержавеющей стали на участке механической обработки.

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Технологический процесс изготовления тонкостенных деталей из нержавеющей стали на участке механической обработки.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ существующих методов получения и обработки тонкостенных деталей из нержавеющей стали, выявление существующих преимуществ и недостатков текущего технологического процесса изготовления данных деталей и определение путей их совершенствования.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования были применены научные методы анализа и синтеза. Проведено обобщение накопленного опыта в области исследований технологических процессов обработки тонкостенных деталей из нержавеющей стали, изучена соответствующая литература, в том числе научные статьи отечественных и зарубежных авторов, монографии, патенты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Заготовки из нержавеющей стали можно подвергать различным методам механической обработки. Наиболее широко распространенные на современных производствах методы обработки представлены на рисунке 1.

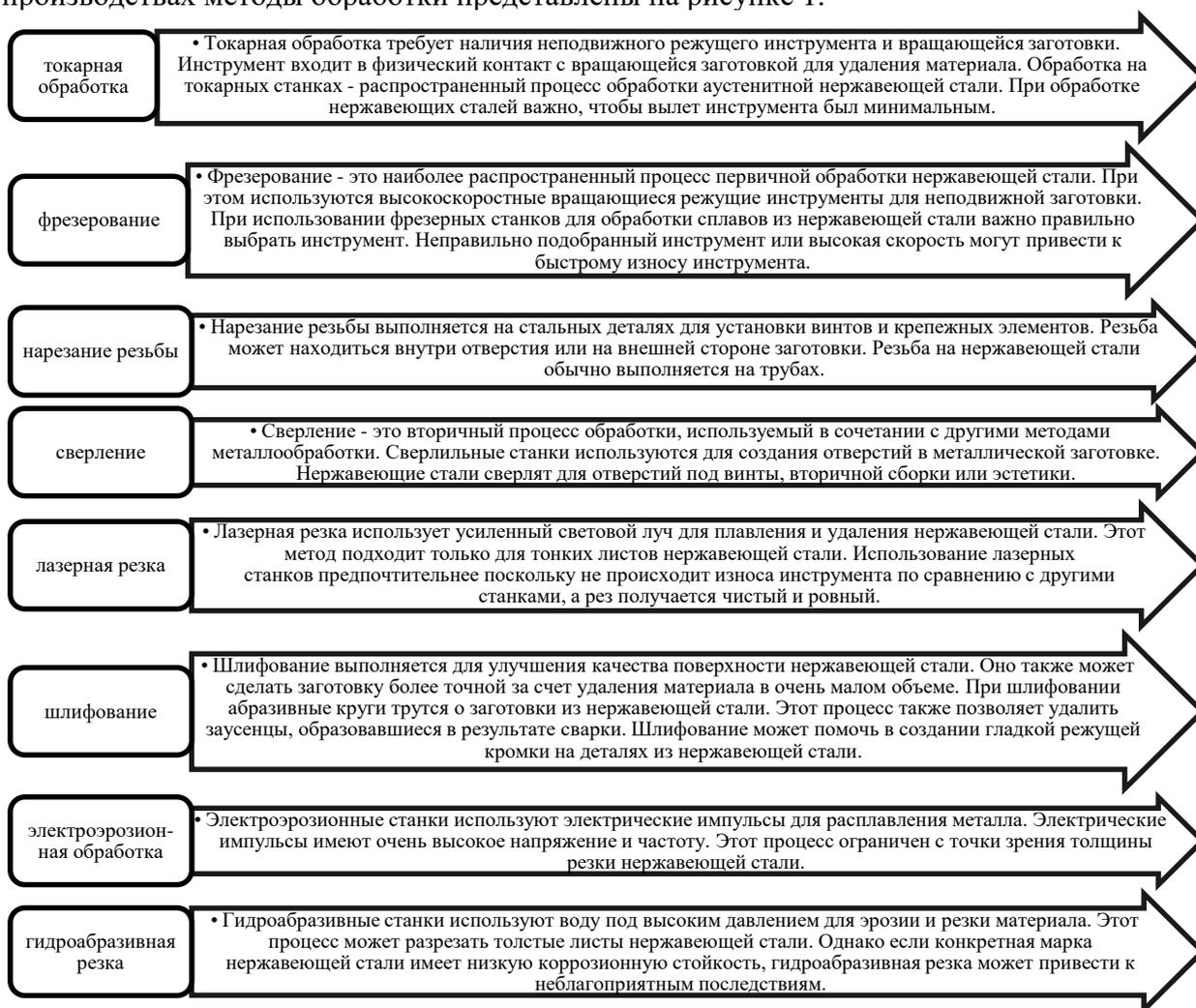


Рисунок 1 – Процессы механической обработки деталей из нержавеющей стали

Примеры тонкостенных деталей, изготавливаемых из нержавеющей стали, приведены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Тонкостенные детали из нержавеющей стали:

а) лента; б) гильза; в) трубный металлопрокат

Таким образом, при изготовлении тонкостенных деталей из нержавеющей стали на участке механической обработки следует учитывать следующие особенности:

- 1) нержавеющая сталь характеризуется высокой твёрдостью и прочностью на разрыв;
- 2) нержавеющая сталь может подвергаться различным методам механической обработки, включая фрезерование, токарную обработку, сверление, нарезание резьбы, лазерную резку и шлифование;
- 3) во время обработки нержавеющей стали необходимо контролировать состояние заготовки и избегать перегрева, чтобы сохранить коррозионную стойкость материала.

В работах [1-3] рассмотрены такие представители тонкостенных деталей, как контрольные пластины (образцы-свидетели). Контрольные пластины изготавливаются из сталей, в том числе и нержавеющей. В качестве заготовки используются лист или лента холоднокатаная с толщиной, превышающей на 0,2 мм толщину пластины. Маршрут изготовления контрольных пластин представлен на рисунке 3:

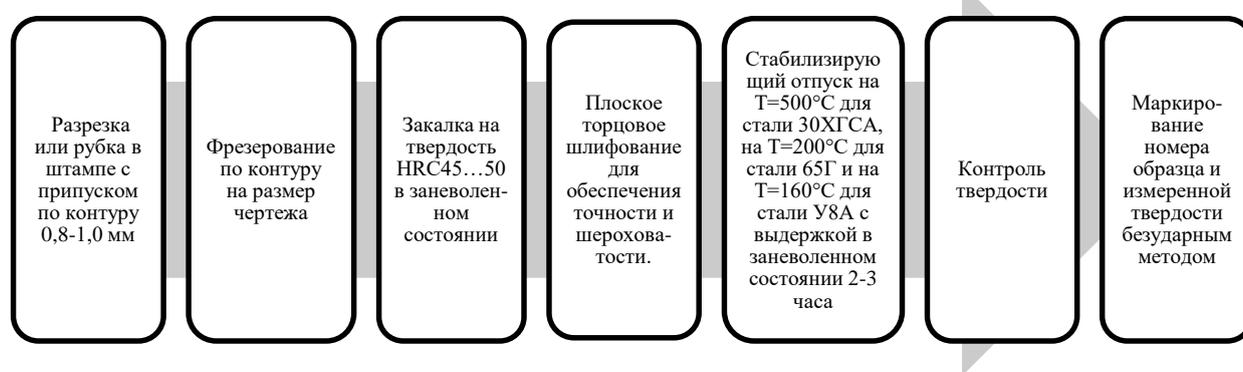


Рисунок 3 – Маршрут изготовления тонкостенных контрольных пластин из стали

В работах [1-3] отмечено, что плоское торцовое шлифование (ПТШ) выполняется на станках с прямоугольными и круглыми столами, а также на специальных устройствах, где имеется возможность одновременно обрабатывать две параллельные плоскости заготовок. Обрабатываемые заготовки фиксируются с помощью магнитных/электромагнитных плит, при этом наибольшая производительность обеспечивается на оборудовании с круглым вращающимся столом. Существует две разновидности данного процесса: однократное (глубинное) и многопереходное шлифование. Доказано, что при глубинном шлифовании выделяется значительное количество тепла, которое концентрируется внутри заготовки. В связи с этим данный способ не допускается применять при обработке тонкостенных деталей, подверженных образованию трещин и прижогов. Многопереходное шлифование предполагает быстрое вращение стола со средней скоростью около 15-20 м/мин, при этом подача шлифовального круга (врезание) происходит периодически через один или несколько

циклов вращения стола. Таким образом, обработка проводится на небольшой глубине резания, что приводит к снижению сил резания и выделения тепла по сравнению с глубинным методом, а также к повышению качества обработанной поверхности (показатель шероховатости  $Ra = 0,4...0,8$  мкм по данным работ [1-3]).

Исследователи [4-6] акцентируют внимание на том, что механическая обработка тонкостенных деталей на металлообрабатывающих станках часто сопряжена со значительными рисками возникновения дефектов под воздействием сил резания и жесткой фиксации, что связано с повышенной гибкостью данных деталей. С целью уменьшения вероятности появления брака, такие элементы рекомендуется обрабатывать, закрепляя в специальных приспособлениях, которые обеспечивают требуемую жесткость конструкции и позволяют применять обычные для соответствующего производства режимы резания.

Авторами [4-6] изучены возможности обработки тонкостенных деталей при помощи специальной оснастки, которая позволяет существенно уменьшить силы резания, что способствует и уменьшению возможных технологических деформаций. Данный подход основан на разработанных математических моделях, которые описывают взаимосвязи между силами резания и режимными параметрами технологического процесса. Следует отметить, что использование специальной оснастки позволяет применять обычные методы и режимы обработки, однако требует дополнительных расходов на проектирование и изготовление оснастки. Применение более бережных режимов при использовании стандартной оснастки обходится производству дешевле, меньше времени затрачивается на технологическую подготовку производства, однако требует дополнительных исследований в области поиска оптимальных режимов обработки, которые не приводят к возникновению брака. В связи с изложенным, первый вариант является предпочтительным при крупносерийном и массовом производстве деталей, поскольку расходы на проектирование и изготовление специальной оснастке окупаются. Второй подход целесообразно применять при единичном и мелкосерийном производстве, а также при частых изменениях номенклатуры выпускаемых деталей, однако для его широкого применения требуются дальнейшие научные исследования.

В Китае [7] изучены особенности обработки тонкостенных деталей из нержавеющей стали и проанализированы процессы изготовления деталей на примере гильзовых компонентов. Отмечено, что применяются различные методы и инструменты для обработки и контроля размеров тонкостенных гильзовых деталей (см. рисунок 2, б), обеспечивая высокую точность и качество продукции. Характеристики тонкостенных гильзовых деталей: большой диаметр, тонкая стенка, высокая точность формы, положения и размеров. Они являются телами вращения, обрабатываемыми преимущественно на токарных станках. Перед обработкой необходимо понимать их положение и значение в продукте для обеспечения качества обработки. Требования различаются в зависимости от роли каждой поверхности.

Типовая технология обработки тонкостенной гильзы представлена на рисунке 4.

Участок механической обработки, описанный в исследовании [7], связан с изготовлением тонкостенной втулки с жесткими внутренними и внешними допусками. Тонкостенные гильзовые детали с высокими требованиями к точности формы и размерной точности обычно обрабатываются на токарных станках. Технические требования разделяются на три основные категории:

1) для внутренних отверстий необходима точность размеров класса IT7 и IT6 для обычных и подшипниковых втулок соответственно, а шероховатость поверхности должна быть  $Ra 1,6$ ;

2) для внешнего круга требуется точность формы и измерения диаметра в пределах классов IT6-IT7,  $Ra 1,6$ ;

3) точность позиционирования между поверхностями включает в себя соосность и перпендикулярность торцов поверхностей в диапазоне 0,01-0,05 мм и 0,02-0,05 мм соответственно.

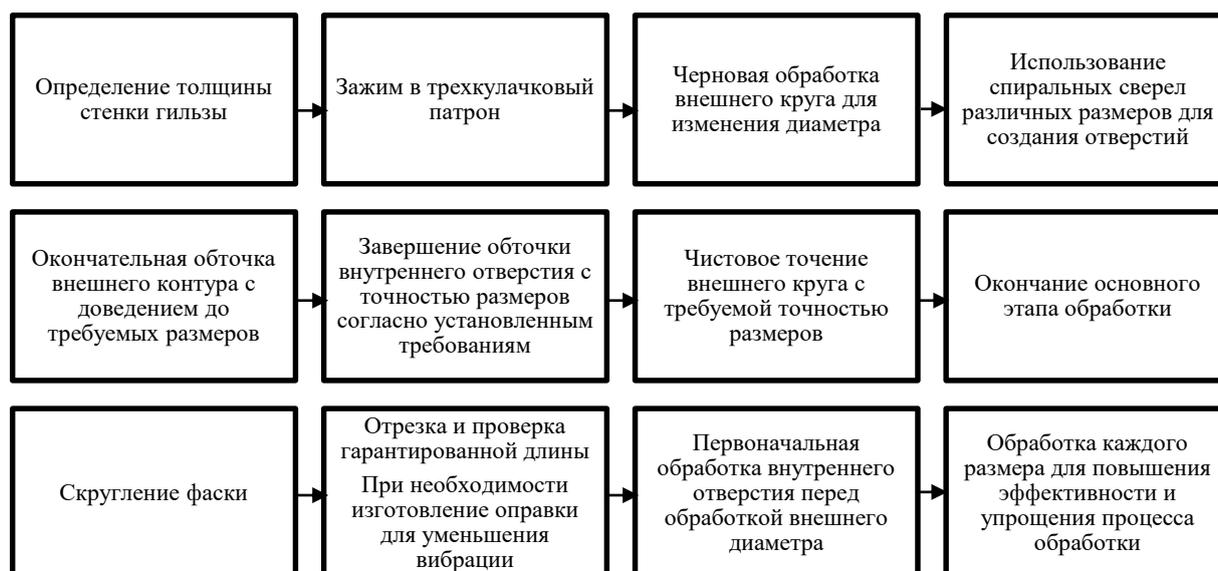


Рисунок 4 – Типовая технология обработки тонкостенной гильзы

Для обеспечения соосности внутреннего отверстия с внешним кругом и предотвращения деформации необходимо обработать заготовку при однократном процессе закрепления. Этот этап заключается в следующем: производится удлинение заготовки на 80 мм, зажим в трехкулачковый самоцентрирующийся патрон, грубая обработка внешнего круга, использование спирального сверла для создания отверстий необходимых диаметров, окончательная обработка внешнего и внутреннего кругов с точностью размеров, обеспечение требуемых длин и допусков, а также скругление фаски и отрезка с последующей проверкой гарантированной длины. Важно учитывать возможность изготовления оправки для уменьшения вибрации и последовательно выполнять обработку, начиная с внутреннего отверстия, что способствует упрощению процесса и повышает его эффективность.

Из-за тонкой толщины стенки заготовки при токарной обработке неправильный подбор инструментов вызовет вибрацию, что повлияет на точность размеров и шероховатость поверхности. Чтобы лучше подобрать инструменты, подходящие для обработки этой заготовки, автором [7] предлагается три разных инструмента для обработки, чтобы подобрать инструменты, которые могут удовлетворить требования к точности размеров, шероховатости поверхности и производительности. При обработке применяется метод обработки сначала внешнего круга, а затем внутреннего отверстия. Твердосплавный токарный инструмент YW2 используется для черновой обработки внешнего круга, а твердосплавный токарный инструмент YW1 используется для чистовой обработки внешнего круга. Также используется метод разделения чернового и чистового точения.

Тонкостенная труба из нержавеющей стали является еще одним характерным представителем изделий, изготовленных из этого материала (см. рисунок 2, в). Такие трубы имеют ряд преимуществ, а именно высокая прочность, коррозионная стойкость, а также небольшая масса, которая обеспечивается благодаря малой толщине стенок. При этом производство подобных труб имеет ряд специфических особенностей.

Производство тонкостенных труб из нержавеющей стали возможно с использованием следующих технологий: бесшовные и сварные. Технология производства бесшовных тонкостенных труб заключается в использовании мощных прессов с помощью которых металлическая заготовка из нержавеющей стали преобразуется в готовую трубу с заданными согласно нормативно-техническим документам геометрическими параметрами.

Схема типового технологического процесса изготовления сварных тонкостенных труб из нержавеющей стали показана на рисунке 5.

Стоит отметить, что применение сварки при изготовлении тонкостенных труб из нержавеющей стали снижает стоимость конечного продукта на 30-50% по сравнению с бесшовной технологией.



Рисунок 5 – Алгоритм изготовления сварных тонкостенных труб

По данным работ [8, 9], наилучшими способами обработки тонкостенных корпусных деталей являются фрезерование, токарная обработка и электроэрозионные методы обработки. Фрезерование остается наиболее широко распространенным способом получения таких изделий. Для повышения эффективности процесса фрезерования тонкостенных заготовок и уменьшения количества брака при производстве, важно применять методы автоматизированного контроля результатов обработки в процессе изготовления, которые позволяют учитывать форму заготовки, свойства гибкой технологической системы и направление сил резания. Если требуется удаление больших, неравномерных по высоте припусков, целесообразно использовать специализированные приводы главного движения.

Производство тонкостенных изделий из нержавеющей стали может сопровождаться определенными трудностями, характерными для многих видов механической обработки. Технология обработки тонкостенной детали из нержавеющей сталей требует точности и последовательности при каждом этапе процесса. Важно уделять особое внимание выравниванию внутреннего и внешнего диаметров, чтобы избежать деформации и обеспечить точные размеры изделия. Использование специализированных инструментов, в том числе таких как спиральные сверла различных диаметров, позволяет достичь необходимой точности отверстий. Окончательная обработка внешнего и внутреннего кругов, а также соблюдение требуемых размеров, длин и допусков, играют решающую роль в производстве качественной детали. Эффективное выполнение каждого этапа технологии обработки обеспечивает готовность изделия к использованию и соответствие высоким стандартам качества.

Еще одной проблемой, характерной для обработки тонкостенных деталей из нержавеющей стали, является перегрев поверхности материала. Перегрев может привести к потере коррозионной стойкости и другим негативным последствиям. Для контроля за температурой стали в процессе обработки можно использовать метод травления. При нагревании нержавеющей стали возникают окрашенные цвета на поверхности, которые позволяют определить температурный режим. Травление стали соляной или серной кислотой помогает восстановить коррозионную стойкость сплава путем удаления окислов.

Авторы [8, 9], анализируя вопросы изготовления и обработки тонкостенных деталей, отмечают, что такие детали часто имеют сложную форму, которую невозможно получить за один установ. Перемещение заготовки на другое оборудование или изменение положения её опорных точек и базовых поверхностей может привести к снижению точности, увеличению производственного цикла и возникновению деформаций из-за неправильного приложения усилий при закреплении. Сила крепления заготовки играет ключевую роль, так как чрезмерное усилие в случае с тонкостенными деталями вызывает деформации. Для тонкостенных деталей неточности крепления, связанные с внешним давлением, могут

оказаться значительными, а неоптимальные режимы резания способны негативно повлиять на качество обработки. Также важно соблюдать правильную последовательность обработки поверхностей, чтобы предотвратить деформацию и возникновение дефектов.

К сожалению, САМ-системы и управляющие программы ЧПУ не всегда учитывают жёсткость упругой технологической системы при обработке тонкостенных заготовок, что может также привести к неверному назначению режимов обработки и получению брака. Для оптимизации работы оборудования авторами [8, 9] предлагается использовать специальные конструкции приводов главного движения.

Кроме выявленных недостатков технологического процесса, следует обратить внимание и на его следующие преимущества:

- 1) использование метода травления для контроля за температурой стали в процессе обработки позволяет избежать перегрева поверхности материала и поддерживать коррозионную стойкость сплава;
- 2) травление стали соляной или серной кислотой после нагревания позволяет удалить окислы с поверхности и восстановить коррозионную стойкость материала;
- 3) процесс изготовления тонкостенных деталей позволяет создавать детали с сложными геометрическими формами, что может быть востребовано в различных отраслях промышленности;
- 4) для повышения эффективности использования оборудования можно использовать специальные конструкции приводов главного движения, что помогает обеспечить более точную и качественную обработку тонкостенных деталей;
- 5) технологии ЧПУ позволяют осуществлять комплексную обработку тонкостенных деталей, включая выполнение различных операций (фрезерование, сверление, нарезку резьбы и т.д.) на одном станке, что обеспечивает повышение производительности производства.

Таким образом, несмотря на недостатки, технологический процесс изготовления тонкостенных деталей из нержавеющей стали предоставляет ряд значительных преимуществ, которые могут быть успешно использованы для производства качественной и функциональной продукции. Анализируя работы авторов [1-9], следует выделить следующие основные преимущества и недостатки данного процесса (таблица 1).

Таблица 1 – Преимущества и недостатки технологического процесса обработки тонкостенных деталей

Преимущества	Недостатки
<p>Одновременная обработка: закончив обработку заготовки за один процесс зажима, удается обеспечить соосность внутреннего отверстия с внешним кругом, предотвращая деформацию и обеспечивая точность формы.</p> <p>Разделение черновой и чистовой обработки: повышает эффективность обработки, уменьшает деформацию и обеспечивает соответствие требованиям размеров и шероховатости поверхности.</p> <p>Использование смазочно-охлаждающей жидкости: выбор правильной жидкости помогает снизить температуру резания, уменьшить деформацию, улучшить трение между стружкой, заготовками и инструментами, а также продлить срок службы инструментов.</p>	<p>Возможность деформации деталей: усилие резания, усилие зажима, температура резания, вибрация и другие факторы могут привести к деформации деталей, требуя тщательного контроля и выбора правильных параметров обработки.</p> <p>Сложность и длительность процесса: Обработка тонкостенных гильзовых деталей требует выполнения множества этапов обработки, что может быть трудоемким и требовать дополнительного времени.</p> <p>Необходимость постоянного контроля: из-за тонкостенной конструкции и высоких требований к точности, процесс требует постоянного контроля и корректировки параметров для обеспечения качества изготавливаемых деталей.</p>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из выявленных преимуществ и недостатков текущего технологического процесса изготовления тонкостенных деталей из нержавеющей стали, можно сделать

следующие выводы:

- 1) важно правильно подбирать параметры обработки и контролировать процесс, чтобы избежать деформации деталей. Это требует опытности и осведомленности со стороны рабочих;
- 2) разделение черновой и чистовой обработки позволяет повысить эффективность и качество процесса, несмотря на его сложность и длительность;
- 3) использование смазочно-охлаждающей жидкости играет важную роль в улучшении условий обработки и продлении срока службы инструментов;
- 4) необходимость постоянного контроля подчеркивает важность системы мониторинга и коррекции параметров для обеспечения качественного производства;
- 5) важно учитывать особенности силы резания при работе с тонкостенными деталями, чтобы избежать деформации, повреждений оборудования и снижения точности обработки;
- 6) применение систем САМ и верификации управляющих программ может помочь ликвидировать риски ошибок в процессе обработки, однако не всегда учитывает жесткость упругой технологической системы при работе с тонкостенными деталями;
- 7) при обработке тонкостенных деталей необходимо особое внимание уделить выбору оптимальных режимов обработки, последовательности обработки поверхностей и контролю качества продукции, чтобы минимизировать возможные деформации и дефекты.

Таким образом, эффективность и качество изготовления тонкостенных деталей из нержавеющей стали зависят от комплекса правильно подобранных параметров процесса, контроля и оптимизации каждого этапа обработки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубаирова, Л.Х. Оптимизация параметров режима плоского торцового планетарного шлифования / Л.Х. Зубаирова, В.И. Свирщев, И.В. Подборнов // Вестник ПГТУ «Машиностроение, материаловедение». Том 12, №3. 2010. С.110-114.
2. Зубаирова, Л.Х. Определение прогиба прямоугольной пластины под воздействием остаточных напряжений / Л.Х. Зубаирова, В.И. Свирщев // «Высокие технологии в машиностроении» Материалы ВНТ Интернет- конференции. Самара, «Самарский ГТУ». 2013. С. 152-155.
3. Зубаирова, Л.Х. Определение распределенной нагрузки, прикладываемой к поверхности тонкой пластины, эквивалентной возникающим при ПТПШ остаточным напряжениям / Л.Х. Зубаирова, В.И. Свирщев // «Высокие технологии в машиностроении» Материалы ВНТ Интернет-конференции. Самара, «Самарский ГТУ». 2013. С. 155-157.
4. Жаргалова, А.Д. О "мягких" режимах резания для обработки тонкостенных деталей / А.Д. Жаргалова, С.С. Гаврюшин, Г.П. Лазаренко, В.И. Семисалов // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8, № 6(37). С. 117.
5. Еремейкин, П.А. Расчетно-экспериментальная оценка технологических деформаций при "мягких" режимах токарной обработки тонкостенных деталей / П.А. Еремейкин, А.Д. Жаргалова, С.С. Гаврюшин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2018. Т. 20, № 1. С. 22-32.
6. Арбузов, Е.В. К вопросу о деформации тонкостенных деталей при обработке на станках токарной группы / Е. В. Арбузов, А. Д. Жаргалова, Г.П. Лазаренко, В. И. Семисалов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 2. С. 36-48.
7. Epowermetals / [Электронный ресурс] // Epowermetals: [сайт]. — URL: <https://www.epowermetals.com/> (дата обращения: 24.11.2024).
8. Москвин, И. О. Анализ проблем, возникающих при обработке тонкостенных заготовок / И. О. Москвин, В. В. Михрютин // Шестьдесят девятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: Сборник материалов конференции. Электронное издание, Ярославль, 20 апреля 2016 года / Ярославский государственный технический университет. 2016. С. 532-535.
9. Михрютин, В. В. Привод главного движения фрезерного станка для черновой и высокоскоростной чистовой обработки / В. В. Михрютин, И. О. Москвин // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. 2014. № 4(31). С. 20-26.

## ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR MACHINING THIN-WALLED PARTS FROM STAINLESS STEEL AND OPPORTUNITIES FOR THEIR IMPROVEMENT

D.S. Shaposhnikov, student,  
e-mail: [den4ikdarsik@gmail.com](mailto:den4ikdarsik@gmail.com)  
Kaliningrad State Technical University

D.I. Khromushin, master's student,  
e-mail: [denis.xromushin@mail.ru](mailto:denis.xromushin@mail.ru)  
Kaliningrad State Technical University

D.B. Podashev, Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department of Technological Equipment Engineering,  
e-mail: [dmITrij.podashev@klgtu.ru](mailto:dmITrij.podashev@klgtu.ru)  
Kaliningrad State Technical University

The article provides a brief description and properties of stainless steel as a material. It explains the reasons for additional difficulties that arise when processing this material. An analysis is conducted on existing methods for producing and machining thin-walled parts from stainless steel, highlighting both advantages and disadvantages of the current technological process for manufacturing these components. Based on identified strengths and weaknesses, conclusions are drawn about the importance of selecting appropriate processing parameters, monitoring the machining process, using cutting fluids, controlling cutting forces, applying CAM systems, and verifying control programs. Thus, it is established that high productivity and quality in the manufacture of thin-walled stainless steel parts depend on a set of measures aimed at choosing properly matched process parameters and optimizing each stage of machining.

**Keywords:** *stainless steel, thin-walled parts, technological process, pipe metal products, grinding, roughing, finishing, CAM systems*