

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет им.
Евфросинии Полоцкой»

УДК 621.9.06/02

Подгайский Игорь Андреевич

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ
КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУТОИЗОГНУТЫХ ОТВОДОВ**

Магистерская диссертация

специальность 1-36 80 02 Инновационные технологии в
машиностроении

Научный руководитель
Попок Николай Николаевич
доктор технических наук, профессор

Допущен к защите

« ___ » _____ 2023 г.

Зав. кафедрой ТиОМП

доктор технических наук, профессор

_____ Попок Николай Николаевич

Новополоцк, 2023

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Анализ исследований, отечественной и зарубежной литературы, посвященной технологическому обеспечению и повышению качества изготовления трубопроводов в целом и крутоизогнутых отводов в частности.....	4
Глава 2. Классификация трубопроводов по принятым критериям.....	14
Глава 3. Математическое и трехмерное моделирование крутоизогнутых отводов.....	21
Глава 4. Разработка методики и практических рекомендаций по улучшению качества изготовления крутоизогнутых отводов.....	28
Заключение.....	33
Список использованных источников.....	34
Приложение.....	35

Введение

В настоящее время одним из главных направлений индустриально-инновационной политики государства является производство конкурентоспособной отечественной и импортозамещающей продукции. Для достижения этой цели необходимо использовать современные методы математического и трёхмерного моделирования процессов конструирования и изготовления качественных изделий. В частности, существует острая потребность в научно-обоснованных методах и технологиях разработки крутоизогнутых отводов, которые широко применяются в различных сферах, таких как нефтегазовый сектор, системы водоснабжения, отопления и пожаротушения, металлургическое производство и т.д.

Крутоизогнутые отводы - это изделия, которые имеют сложную форму и требуют точного моделирования и конструирования. Эти изделия используются для перенаправления потока жидкости или газа в трубопроводах и системах.

В различных отраслях промышленности (химической, нефтеперерабатывающей, авиационной, аэрокосмической и ряде других), при изготовлении трубопроводных систем широко применяются крутоизогнутые отводы из коррозионностойких сталей, конструкционных углеродистых качественных сталей, титановых и алюминиевых сплавов с относительной толщиной стенки 0,05 и относительным радиусом кривизны 1,5 [1, 2]. Характерной особенностью крутоизогнутых отводов является их сложная геометрическая форма, приводящая к высокой неравномерности деформаций в процессе образования отводов (протяжка по рогаобразному сердечнику, штамповка в рогаобразной оправке и т.д.). При формообразовании отводов в холодном состоянии на специализированных прессах и штампах с применением внутреннего наполнителя возникают высокие давления и большие усилия. Это делает штамповку крутоизогнутых отводов затруднительной, а в некоторых случаях невозможной [3].

Для разработки крутоизогнутых отводов необходимо использовать современные методы математического и трёхмерного моделирования. Эти методы позволяют создавать точные модели изделий и проводить тестирование их работы в различных условиях.

Глава 1. Анализ исследований, отечественной и зарубежной литературы, посвященной технологическому обеспечению и повышению качества изготовления трубопроводов в целом и крутоизогнутых отводов в частности.

Отводы — это разновидность фитиновых соединений, которые используются в трубопроводных конструкциях для изменения направления потока жидкости или газа.

Крутоизогнутый отвод — это соединительный элемент трубопровода, имеющий изгиб определенного угла, для изменения направление потока жидкости или газа. Он состоит из двух коннекторов и гибкой части — гнутой трубы.

Крутоизогнутые отводы используются в различных отраслях, таких как нефтегазовая промышленность, химическая промышленность, пищевая промышленность и др. Они могут быть изготовлены из различных материалов, включая нержавеющую сталь, углеродистую сталь и титан.

Особенности крутоизогнутых отводов включают:

- высокая прочность и надежность соединения;
- возможность установки на трубопроводах с различными диаметрами;
- использование в условиях повышенных температур и давлений;
- возможность изменения угла изгиба для оптимального применения.

Использование крутоизогнутых отводов позволяет снизить затраты на строительство трубопровода, уменьшить механические напряжения в сварных соединениях и обеспечить более эффективное течение рабочей среды.

Преимущества использования крутоизогнутых отводов:

- снижение гидравлического сопротивления трубопровода;
- уменьшение вероятности образования заторов и отложений;
- снижение энергозатрат на перекачку рабочей среды;
- снижение затрат на монтаж и эксплуатацию трубопровода.

Важно учитывать, что при использовании крутоизогнутых отводов необходимо соблюдать все требования технологического процесса монтажа и эксплуатации трубопровода, связанные с правильным расположением и углом установки отвода.

Кроме того, крутоизогнутые отводы обладают более гладкой внутренней поверхностью, что уменьшает сопротивление потока и повышает эффективность работы трубопровода. Также благодаря своей конструкции, крутоизогнутые отводы позволяют быстро и удобно выполнять монтаж и демонтаж трубопроводов.

В целом, крутоизогнутые отводы представляют собой надежное и эффективное решение для технических проблем, связанных с изменением направления потока жидкости или газа в трубопроводе. Их преимущества

включают свою компактность, высокую производительность и эффективность работы [4].

Были проанализированы следующие патенты и даны их краткие характеристики.

Установка для изготовления отводов.

Российский патент 1997 года по МПК В21D9/18

Изобретение относится к обработке металлов давлением и может быть использовано при изготовлении крутоизогнутых отводов из трубных заготовок. Сущность изобретения, рисунок 1.1: установка снабжена входной камерой с инжекторами и конечной футерованной камерой, открытой в торцевой части и снабженной дополнительными нагревательными горелками, которые расположены на границе формообразующего и калибрующего участка сердечников. Перегородки между секциями камер выполнены составными из двух кольцевых полуфланцев, между которыми расположены фланец с Т-образной формой поперечного сечения и изолирующая прокладка. Каждая секция выполнена в виде цилиндрического корпуса с размещенной в нем рабочей камерой с коаксиально расположенными цилиндрами, имеющими радиальные сопловые отверстия. Стенки цилиндрических рабочих камер установлены на Т-образном фланце с возможностью осевого перемещения, а стенки коаксиально расположенных в рабочей камере цилиндров расположены на кольцевых полуфланцах с зазором относительно кольцевого фланца Т-образной формы. Такое выполнение нагревательного устройства в установке позволяет снизить энергетические затраты и обеспечить оптимальный режим температур как во время протяжки, так и во время остановок [5].

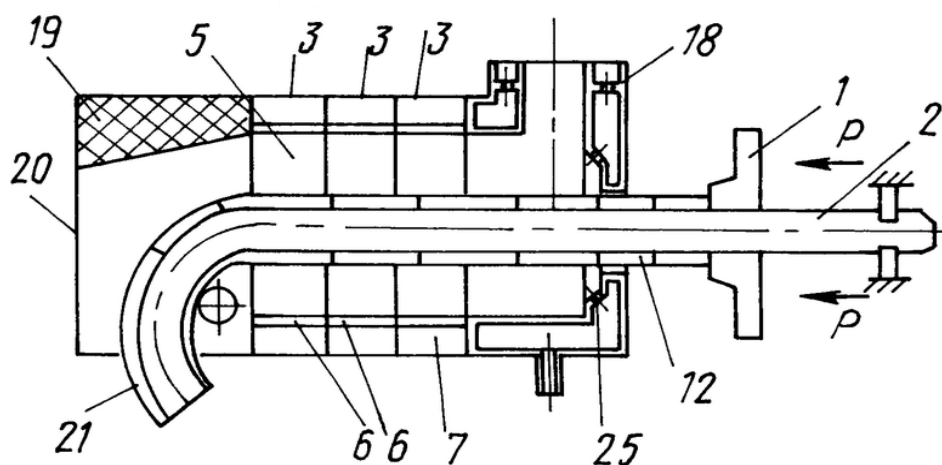


Рисунок 1.1. – Установка для изготовления отводов

Формула изобретения RU 2 100 117 C1

Установка для изготовления отводов, содержащая механизм загрузки трубных заготовок, механизм продольного протягивания заготовок по рогаобразному сердечнику и нагревательное устройство, отличающаяся тем, что она снабжена входной камерой, в которой под углом к ее продольной оси установлены инжекторы, концевой футерованной камерой с окном в ее торцевой части и установленными в ней газовыми горелками, а нагревательное устройство выполнено в виде коллектора подачи газоздушнoй смеси и последовательно расположенных нагревательных секций с разделительными перегородками в виде кольцевых полуфланцев, между которыми размещен кольцевой фланец с Т-образной формой поперечного сечения и изолирующая прокладка, а каждая секция выполнена в виде цилиндрического корпуса с размещенной в нем рабочей камерой с коаксиально расположенными относительно нее цилиндрами, имеющими распределенные по их стенкам радиальные сопловые отверстия, при этом стенки рабочих камер смонтированы на кольцевых фланцах с Т-образной формой сечения с возможностью продольного перемещения, а стенки коаксиально расположенных в рабочей камере цилиндров установлены на кольцевых полуфланцах с зазором относительно кольцевого фланца с Т-образной формой поперечного сечения [5].

Способ изготовления крутоизогнутых отводов

Российский патент 1997 года по МПК В21D9/12

Использование: изобретение относится к области обработки металлов давлением, в частности к способам получения крутоизогнутых отводов. Сущность изобретения заключается в том, что крутоизогнутый отвод получают путем силового проталкивания нагретой трубной заготовки по рогаобразному сердечнику, (рисунок 1.2) с поперечным сечением, причем максимальное деформирование осуществляют в начальном сечении формообразующего участка, а в дальнейшем деформирование производят с переменной скоростью, которую выбирают из соотношения, устанавливающего связь между скоростью деформации, диаметром отвода, диаметром заготовки, толщиной стенки заготовки, величиной средней линии сердечника и ее текущим значением на деформируемом участке [5].

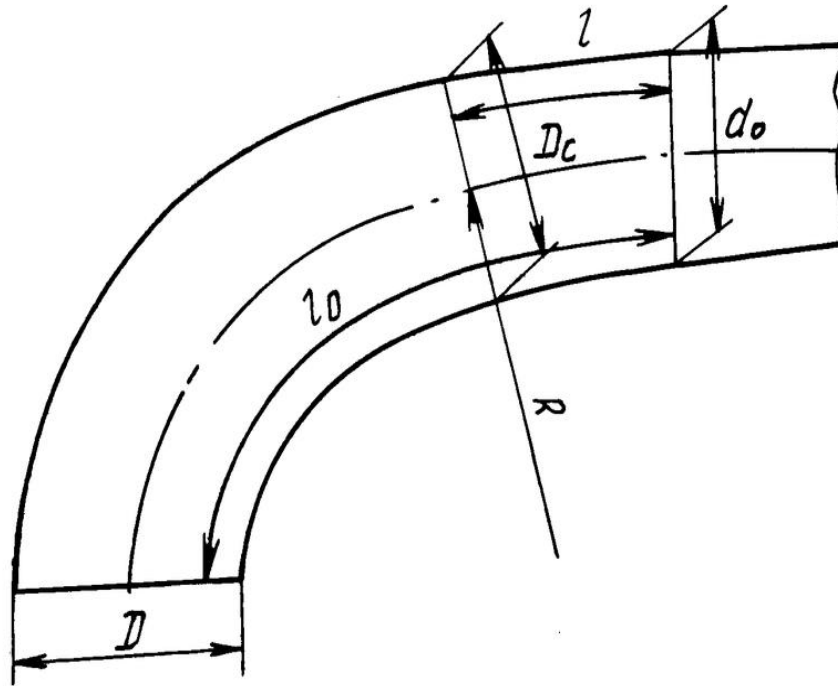


Рисунок 1.2. - Рогообразный сердечник

Формула изобретения RU 2 096 113 C1

Способ изготовления крутоизогнутых отводов путем силового проталкивания нагретой трубной заготовки по рогообразному сердечнику с переменным поперечным сечением, отличающийся тем, что максимальное деформирование осуществляют в начальном сечении формообразующего участка, а в дальнейшем деформирование производят с переменной скоростью, которую выбирают из соотношения [5].

$$v = v_0 K \frac{(d-2S)+(D-d)t}{d-2S}, \quad (1)$$

где

$$t = \frac{4l}{3l_0} - \frac{l^4}{3l_0^4}; \quad (2)$$

- v скорость деформации в текущем сечении формообразующего участка (1/мм);
- v_0 скорость деформации в начальном сечении формообразующего участка (1/мм);
- K коэффициент пропорциональности;
- D внутренний диаметр отвода (мм);
- d наружный диаметр заготовки (мм);
- S толщина стенки заготовок и отвода (мм);
- l текущая длина средней линии рогообразного сердечника (мм);
- l_0 длина средней линии рогообразного сердечника (мм).

Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов
 Российский патент 2007 года по МПК В21D9/12 В21С37/28

Изобретение относится к обработке металлов давлением и может быть использовано при получении деталей из трубных заготовок методом холодной штамповки. Устройство, (рисунок 1.3) содержит втулку с пуансоном, две полуматрицы, образующие фильеру, и жесткую внутреннюю оправку. Оправка состоит из внутренней рабочей части с рабочей поверхностью с минимальным радиусом кривизны, внешней рабочей части с рабочей поверхностью с максимальным радиусом кривизны и замков для фиксации внутренней оправки в рабочем положении. Замки установлены на переднем и заднем торцах оправки. В рабочем положении оправка расположена с гарантированным зазором S_z между ее рабочей поверхностью и рабочей поверхностью фильеры. Внутренняя и внешняя рабочие части оправки расположены на расстоянии H друг от друга. Величины упомянутых гарантированного зазора S_z и расстояния H определены из следующих выражений:

$$S_z = (1,1 - 1,2)S; \quad (3)$$

$$H = (3,5 - 4,5)S, \quad (4)$$

где S - толщина исходной трубной заготовки. Внешняя рабочая часть оправки выполнена неподвижной. Внутренняя рабочая часть имеет возможность перемещения при отсутствии переднего и заднего замков в направлении внешней части до смыкания с ней. В результате обеспечивается возможность использования универсального листоштамповочного оборудования и увеличение срока эксплуатации [6].

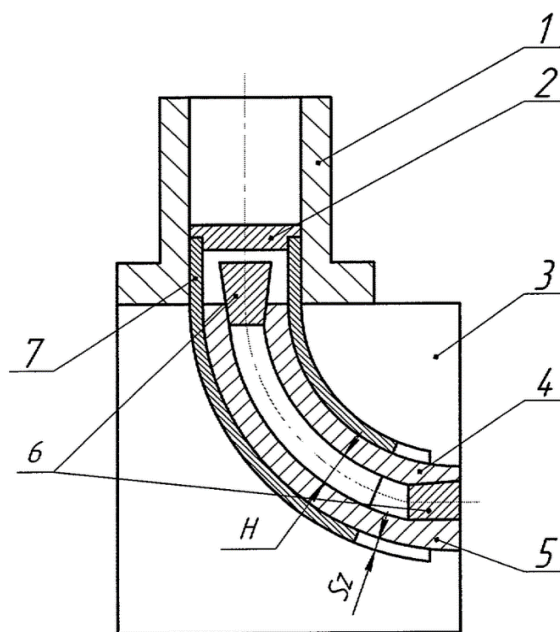


Рисунок 1.3. Метод формообразования крутоизогнутых отводов

Формула изобретения RU 2 294 807 C1

Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов, содержащее втулку, в которой расположен пуансон, две полуматрицы, соединенные по поверхности разъема с образованием фильеры, и внутреннюю оправку, отличающееся тем, что внутренняя оправка выполнена жесткой и состоит из внутренней рабочей части, имеющей рабочую поверхность с минимальным радиусом кривизны, внешней рабочей части, имеющей рабочую поверхность с максимальным радиусом кривизны, и замков для фиксации внутренней оправки в рабочем положении, установленных на ее переднем и заднем торцах, при этом в рабочем положении внутренняя оправка расположена с гарантированным зазором S_z между ее рабочей поверхностью и рабочей поверхностью фильеры, а внутренняя и внешняя рабочие части оправки расположены на расстоянии H , при этом величины упомянутых гарантированного зазора S_z и расстояния H определены из следующих выражений:

$$S_z = (1,1-1,2)S; \quad (3)$$

$$H = (3,5-4,5)S, \quad (4)$$

где S - толщина исходной трубной заготовки, внешняя рабочая часть оправки выполнена неподвижной, а внутренняя - с возможностью перемещения при отсутствии переднего и заднего замков в направлении внешней части до смыкания с ней [6].

Способ изготовления крутоизогнутых отводов и устройство для их формообразования.

Российский патент 2010 года по МПК В21D9/12

Изобретения относятся к области обработки металлов давлением, а именно к способам и устройствам производства крутоизогнутых колен труб методом проталкивания заготовки через изогнутый участок оправки. Осуществляют отрезку трубной заготовки, с обеих ее сторон выполняют скосы торцов с оставлением опорной для пуансона площадки, перпендикулярной продольной оси симметрии трубы, устанавливают заготовку в направляющую втулку штампа, проталкивают заготовку в зазор между рабочими поверхностями фильеры полуматриц штампа на цельной, свободно плавающей в фильере оправке, повторяющей геометрию отвода и имеющей заходную для заготовки часть, удаляют отштампованный отвод из зоны штамповки следующей заготовкой. Используют устройство, рисунок 1.4, содержащее две полуматрицы, соединенные между собой по поверхности разъема с образованием фильеры с помощью удерживающей обоймы, направляющую втулку, пуансон, оправку, установленную свободно

плавающей в фильере и направляющей втулке, выполненную жесткой, цельной, повторяющей геометрию отвода, имеющей заходную для заготовки часть. Повышается производительность штамповки, расширяются технологические возможности, обеспечивается возможность автоматизации процесса штамповки и упрощение конструкции и жесткости устройства [6].

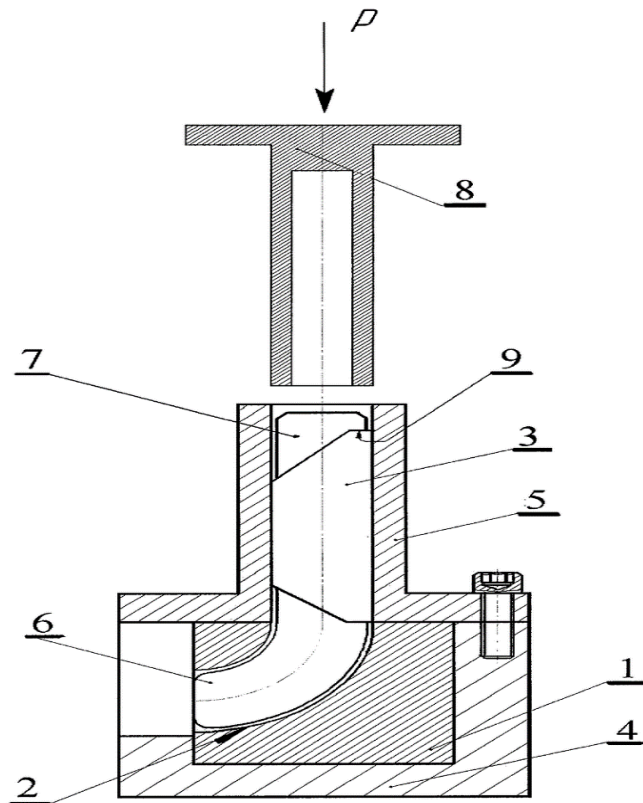


Рисунок 1.4. - Устройство с двумя полуматрицами для получения отводов

Формула изобретения RU 2 405 645 C1

1. Способ изготовления крутоизогнутых отводов из стальных трубных заготовок, включающий отрезку трубной заготовки, выполнение скосов торцов с оставлением опорной для пуансона площадки, перпендикулярной продольной оси симметрии трубы, установку заготовки в направляющую втулку штампа, проталкивание заготовки в зазор между рабочими поверхностями фильеры полуматриц штампа и оправкой, удаление отштампованного отвода из зоны штамповки, отличающийся тем, что скосы торцов выполняют с оставлением опорных площадок трубной заготовки с обеих ее сторон, заготовку проталкивают в зазор между рабочими поверхностями фильеры на цельной, свободно плавающей в фильере оправке, повторяющей геометрию отвода и имеющей заходную для заготовки часть, удаляют отштампованный отвод из зоны штамповки следующей заготовкой.

2. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов из стальных трубных заготовок, содержащее две полуматрицы, соединенные между собой по поверхности разъема с образованием фильеры с помощью

удерживающей обоймы, направляющую втулку, пуансон, жесткую оправку, отличающееся тем, что жесткая оправка выполнена цельной, повторяющей геометрию отвода, имеет заходную для заготовки часть и установлена свободно плавающей в фильере и направляющей втулке [6].

Способ получения крутоизогнутых отводов

Российский патент 2014 года по МПК В21С37/28 С22В9/18

Изобретение относится к литью крутоизогнутых отводов с использованием электрошлаковой технологии. Трубный отвод формируют электрошлаковым переплавом полого расходуемого электрода, диаметр которого соответствует диаметру трубного отвода. Электрошлаковый металл накапливают в кольцевом пространстве между составным внешним и внутренним кристаллизатором. Формирование трубного отвода осуществляют за несколько операций, каждая из которых включает установку очередной секции составного внешнего кристаллизатора после заполнения шлаком кольцевого пространства между внутренним кристаллизатором и предыдущей секцией составного внешнего кристаллизатора. Перемещение кристаллизаторов после установки очередной секции внешнего кристаллизатора осуществляют встречно, при этом внутренний кристаллизатор перемещают вертикально вверх внутри полого расходуемого электрода, а внешний составной - опускают по заданному радиусу трубного отвода вниз до достижения жидким металлом краев очередной секции. Изобретение позволяет получать трубные отводы любой толщины из металла, обладающего высокой свариваемостью, за счет использования электрошлакового литья [7].

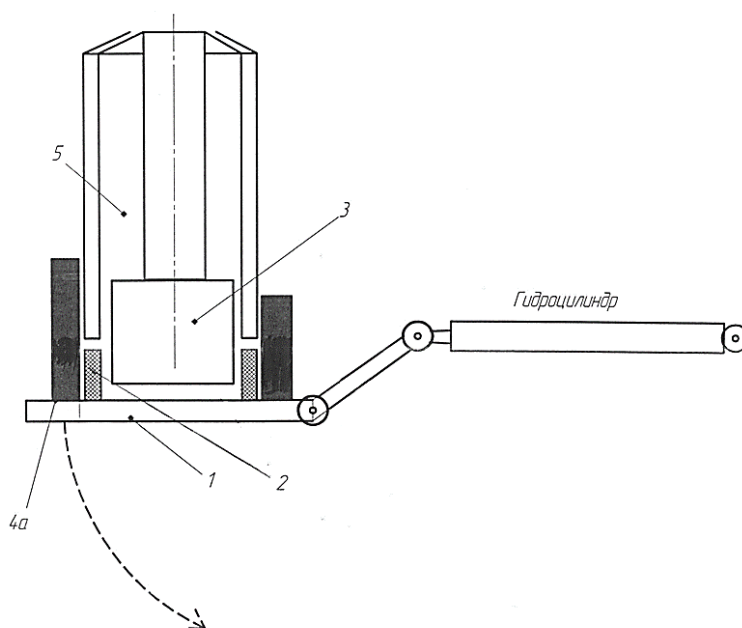


Рисунок 1.5. - Пресс для получения отводов

Формула изобретения RU 2 503 515 C2

Способ получения крутоизогнутых отводов, включающий формирование трубной заготовки кристаллизацией жидкого металла, который подают в кольцевое пространство между внешним и внутренним кристаллизаторами с одновременным перемещением последних, отличающийся тем, что осуществляют электрошлаковый переплав полого расходуемого электрода, диаметр которого соответствует диаметру трубного отвода, получение которого осуществляют за несколько операций, каждой из которых предшествует установка очередной секции составного внешнего кристаллизатора, причем перемещение кристаллизаторов после установки очередной секции внешнего кристаллизатора осуществляют встречно, при этом внутренний кристаллизатор перемещают вертикально вверх внутри полого расходуемого электрода, а внешний составной кристаллизатор опускают по заданному радиусу трубного отвода вниз до достижения жидким металлом краев очередной секции [7].

Проанализировав рынки РБ и СНГ, была выявлена следующая модель производства крутоизогнутых отводов в одном цеху.

Состав линии. включает в себя:

- Ленточнопильный станок.
- Пресс для вытяжки отвода с индукционным нагревателем и системой охлаждения.
- Дорны крутоизогнутые для производства отводов с заданными характеристиками.
- Пресс для калибровки отводов с комплектом матриц.
- Двух шпиндельный станок для подрезки торца отводов.

Одним из способов массового производства крутоизогнутых отводов является горячая протяжка труб через рогообразный сердечник. Отводы изготавливаются из горячекатаных труб по ГОСТ 8732-78.

Технология производства крутоизогнутых отводов состоит из 4-5 этапов.

Первым этапом производится резка заготовок труб определенного размера. Длина заготовок определяется в зависимости от назначения по ГОСТ 17375-2001.

Вторым этапом происходит загрузка заготовок на штангу соединенной с рогообразным сердечником, с использованием графитовой смазки.

Протяжка осуществляется на специальном прессе, который создает необходимую форму отвода. Патрубок нагревается и под действием приложенных сил проходит через рогообразный сердечник который задает необходимую форму. Сердечник имеет необходимую кривизну, в зависимости

от назначений и типов отвода, под давление патрубков гнется и калибруется. При этом образующая внешней части гйба не изменяет своей первоначальной длины и претерпевает только изгиб, а образующая на внутренней части гйба, получает продольное сжатие и поперечное растяжение, изгибается, диаметр увеличивается. В результате перераспределения металла во время одновременного изгиба, растяжения и сжатия толщина остается не изменой.

Третий этап, происходит калибровка (правка) в вертикальных гидравлических прессах, используются матрицы для корректировки формы, угла изгиба и наружного диаметра.

Одним из возможных этапов производства, является калибровка отверстий. Получают поверхности высокого качества. Метод характеризуется высокой производительностью.

Сущность калибровки сводится к перемещению в отверстии с натягом инструмента. Простейшим инструментом служит шарик, который проталкивается штоком. Размеры поперечного сечения шара больше размеров поперечного сечения отверстия на 1-2 мм. При этом инструмент сглаживает неровности, исправляет погрешности, упрочняет поверхность.

В качестве смазочного материала для сталей применяют сульфифрезол. для чугунов – керосин. Разработаны специальные смазочные материалы, обеспечивающие жидкостное трение. Они снижают рабочее усилие, способствуют повышению качества поверхности, увеличивают точность обработки и стойкость инструмента.

Отверстия калибруют на прессах станках. Для правильного взаимного расположения инструмента и заготовки обычно применяют самоустанавливающиеся приспособления с шаровой опорой. Заготовку не закрепляют [8].

Четвертый этап состоит из механической обработки на двухшпиндельных торцовочных станках. Отвод устанавливают в специальное приспособление и торцуют кромки с обеих сторон для последующего соединения с трубами путем сварки.

Глава 2. Классификация трубопроводов по принятым критериям.

По способу изготовления отводы бывают:

- штамповарные;
- гнутые;
- крутоизогнутые бесшовные;
- сварные секционные (секторные);
- точеные.

Штамповарные отводы

Отводы стальные штамповарные изготавливают из штампованной листовой стали заданной толщины сварным методом, рисунок 2.1. Данная технология позволяет изготавливать отводы с высокими прочностными характеристиками и сечением до 1420 мм.

Основными материалами, используемыми при изготовлении отводов штамповарным методом являются нержавеющая, конструкционная и легированная сталь.

Основной областью применения таких отводов являются магистральные трубопроводы нефтегазовой промышленности. Технические характеристики таких отводов должны соответствовать техническим условиям ТУ 102-488-95.

Отводы крутоизогнутые штамповарные изготавливаются методом сварки двух штампованных заготовок, которые, в свою очередь, изготавливаются из листа металла с помощью прессы. В результате сварки таких заготовок отвод имеет 2 продольных сварных шва. Такие отводы имеют незначительный радиус кривизны равный $1,5 D_y$ - условного диаметра вследствие чего обладают небольшим весом и габаритами. Отводы изготавливаются под углами в 30, 45, 60, а также 90 градусов.

Штамповарные отводы изготавливаются по ТУ 102-488-05 диаметрами от 720 мм до 1220 мм. Отводы могут выдерживать давление до 10МПа за счет того, что имеют только 2 продольных сварных шва. Из-за технологии их производства, а также из-за того, что штамповарные отводы идут исключительно больших диаметров, их стоимость высока и отводы являются самыми дорогими из всех видов крутоизогнутых отводов [9].

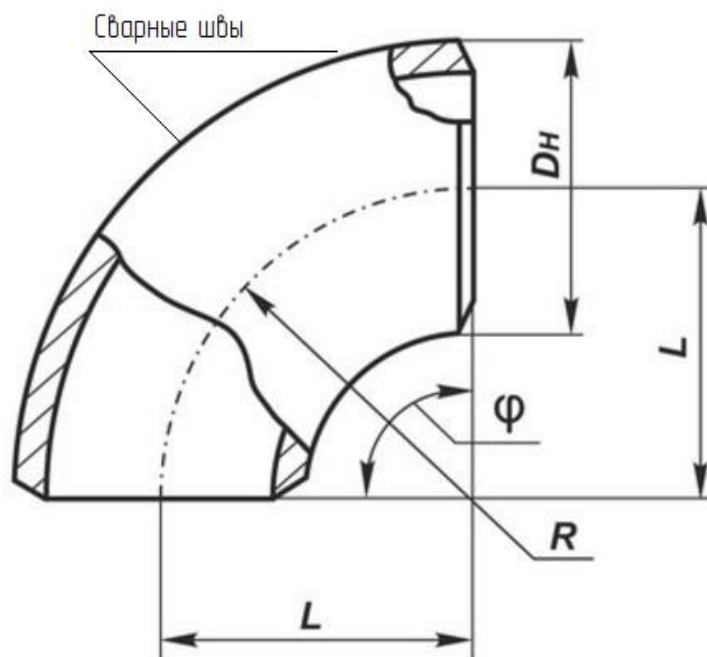


Рисунок 2.1. – Штамповарной отвод

Гнутые отводы

Гнутые отводы изготавливают на специализированных трубогибочных станках путем изгиба металлической трубы, как в горячем, так и в холодном состоянии. Гнутые стальные отводы представляют собой прямой участок трубы с концом, изогнутым под углом от 1 до 90 градусов, рисунок 2.2.

Данные отводы применяются в системах трубопроводов с давлением, достигающим до 100 МПа и с температурой от - 50 до + 510 °С.

Основным документом, регламентирующим характеристики и методы изготовления гнутых отводов, является ГОСТ 24950-81.

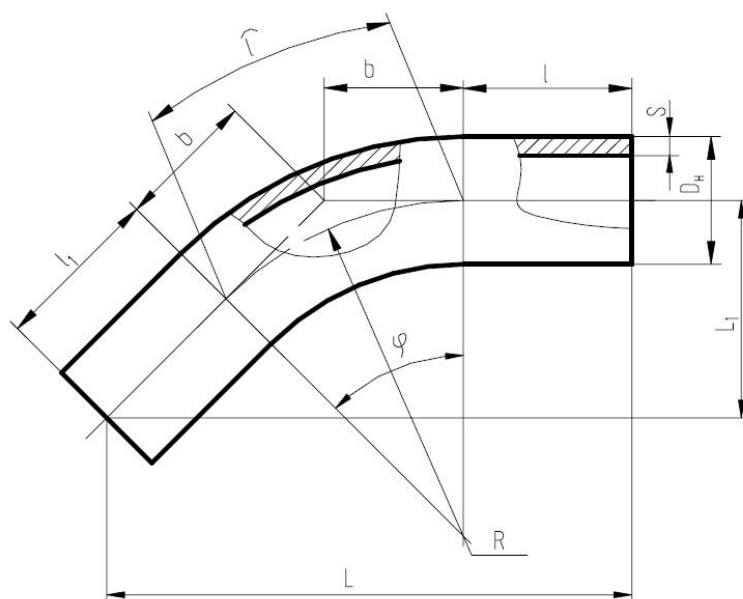


Рисунок 2.2. – Гнутый отвод

Гнутые отводы изготавливают гибкой на трубогибочных станах. Для изготовления таких отводов используют бесшовные или электросварные трубы. Как правило, гнутые отводы изготавливаются двумя способами: холодногнутым и горячегнутым.

При холодногнутом способе отвод изготавливается без нагрева, а при горячегнутым способом предварительно нагревается вся заготовка или изгибаемый участок гнутого отвода, током высокой частоты.

Гнутые отводы, могут быть изготовлены с различными радиусамигиба от 10 до 1800, но из-за способа их изготовления гнутые отводы получаются дороже чем отводы, изготовленные другими способами.

Гнутые отводы могут быть изготовлены по следующим нормативным документам:

- ТУ 102-488-95 (Сталь: 20, 09Г2С, 15х5м, 12Х18Н10Т, 10х17н13м2т, 12х1мф и др.)

- ТУ 51-515-91 (Сталь: 20, 09Г2С, 15х5м, 12Х18Н10Т, 10х17н13м2т, 12х1мф и др.)

ОСТ 36-42-81 (Сталь: 20, 09Г2С, 15х5м, 12Х18Н10Т, 10х17н13м2т, 12х1мф и др.)

- ГОСТ 22793-83 (Сталь: 20, 09Г2С, 15х5м, 12Х18Н10Т, 10х17н13м2т, 12х1мф и др.)

- ГОСТ 24950-81 (Сталь: 20, 09Г2С, 15х5м, 12Х18Н10Т, 10х17н13м2т, 12х1мф и др.)

Также, помимо вышеприведенных нормативных документов, гнутые отводы могут быть изготовлены по чертежам или по расчетным параметрам. Чтобы изготовить гнутый отвод нужно знать следующие параметры: угол, диаметр трубы, толщину стенки, радиусгиба, а также длины прямых участков. Зная все параметры, можно изготовить гнутый отвод без чертежа.

От способа изготовления гнутых отводов зависят их эксплуатационные характеристики. Для каждого трубопровода существует свой вариант гнутых отводов. Изготавливают гнутые отводы из различных сталей: теплоустойчивых, легированных, нержавеющей и т.д. Внешне гнутые отводы могут представлять собой изогнутую трубу, которая может эксплуатироваться в любых средах [9].

Крутоизогнутые отводы

Отличие крутоизогнутых отводов от гнутых состоит в большем радиусе изгиба трубы. Крутоизогнутые отводы изготавливают на трубогибочном оборудовании посредством протяжки трубы через рогаобразный сердечник с заданным углом изгиба. Угол изгиба может быть 30, 45, 60, 90 и 180 градусов.

Такой способ изготовления позволяет производить отводы высокого качества. Материалами изготовления крутоизогнутых отводов являются углеродистая и нержавеющая стали.

Изготовление крутоизогнутых стальных отводов регламентируется нормативным документом ГОСТ 17235-2001, рисунок 2.3.

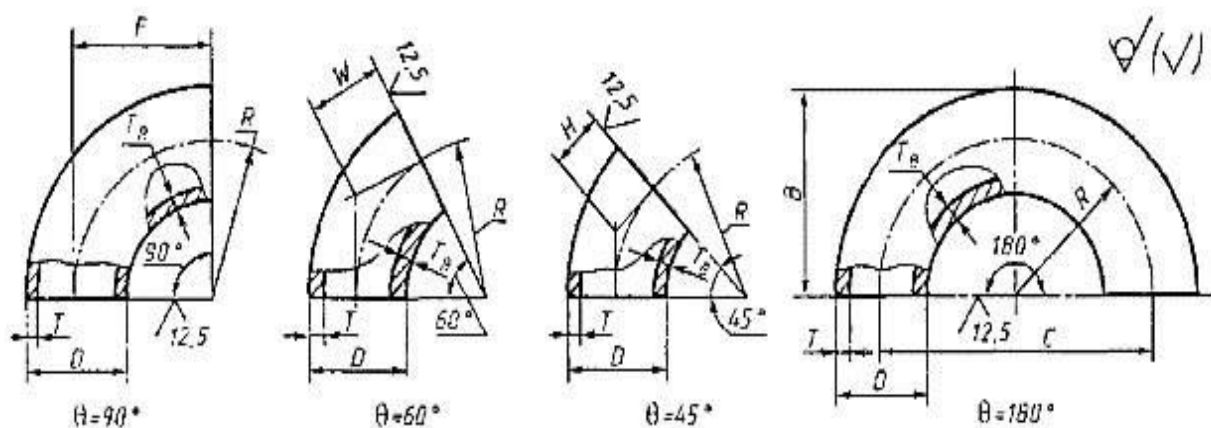


Рисунок 2.3. – Крутоизогнутый отвод

Отводы крутоизогнутые цельнотянутые изготавливаются методом штамповки или протяжки по рогаобразному сердечнику. Такие отводы имеют незначительный радиус кривизны $1D$ – $1.5D$ (1–1,5 условного диаметра) вследствие чего обладают небольшим весом и габаритами. Отводы крутоизогнутые изготавливаются под углами в 30, 45, 60, 90, а также 180 градусов.

Не смотря на то, что цельнотянутые отводы выдерживают большее давление, чем отводы, изготовленные любым другим способом - их стоимость ниже, за счет технологии изготовления, при которой практически не остается отходов [7].

Сварные секционные (секторные) отводы

Секторные отводы изготавливают при помощи сварки отдельных секторов (секций) труб, рисунок 2.4. Секционные отводы применяются на трубопроводах с давлением до 2,5 МПа и при температуре до 425 °С. Данные изделия уступают в прочности другим видам отводов, являются самым дешёвым вариантом исполнения отводов.

Материал изготовления секционных отводов - низколегированная и углеродистая сталь. Диапазон диаметров отводов: 108–1620 мм, угол поворота: 30, 45, 60 или 90 градусов.

Отводы сварные секторные (сегментные) используются для соединения труб большого диаметра с определенным углом поворота потока, работающих в условиях невысокого давления. Угол поворота сварного отвода зависит от области применения и условий эксплуатации данной детали. Отвод сварной секторный может быть изготовлен под разными углами, но наиболее

распространенные отводы секторные сварные имеют угол в 30° , 45° , 60° и 90° . На сегодняшний день, практически во всех строительствах трубопроводов или теплотрасс используются сварные секторные отводы.

Отводы сварные секторные, чаще всего изготавливаются по двум стандартам: ОСТ 36-21-77 (для нефтепроводов) и ОСТ 34 10.752-97 (для трубопроводов воды и пара).

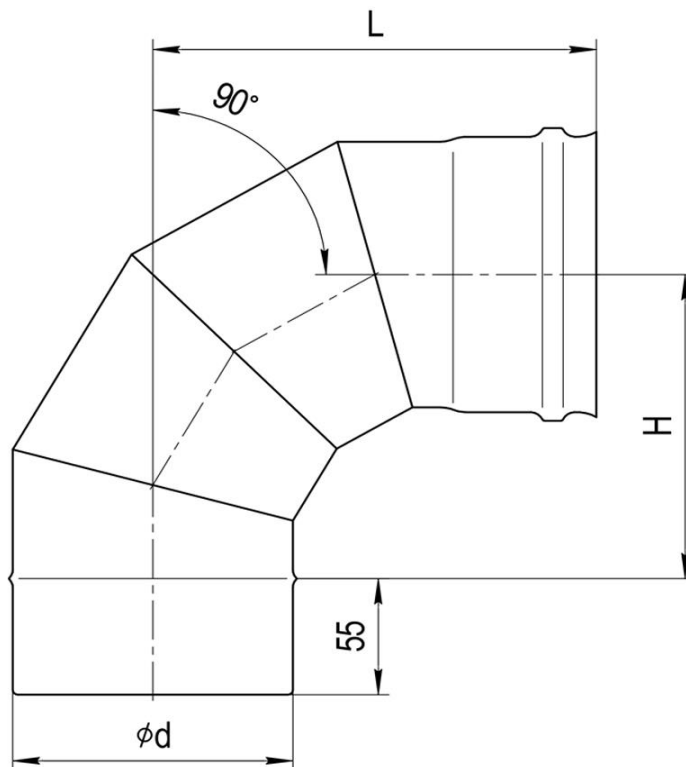


Рисунок 2.4. – Отвод сварной секторный

Отводы сварные секторные изготавливаются из листа стали или трубы путем изготовления конусообразных колец с дальнейшей их сваркой в отвод (колени). Такие отводы идут от диаметра 530мм и выше. Отличительной особенностью сварных отводов является цена, как правило, она в разы ниже цены на отводы крутоизогнутые цельнотянутые и отводы штампованные больших диаметров, это обусловлено простым процессом их изготовления.

Все швы сварных отводов тщательно проверяются на неразрушающий контроль. Методы контроля могут быть различны, например: Радиационная дефектоскопия, ультразвуковая дефектоскопия, магнитная и электромагнитная дефектоскопия и т.д. Поэтому все сварные отводы, успешно выдерживают все необходимые воздействия при правильных условиях их эксплуатации.

Сварные секторные отводы могут быть произведены из различных видов стали (углеродистой, низколегированной, высоколегированной

коррозионностойкой, жаростойкой и жаропрочной). Они применяются в соединениях трубопроводов многих видов промышленности, позволяющих по условиям эксплуатации их использование [7].

Точеные отводы

Точеные отводы изготавливают на токарном станке из литых стальных заготовок. Это самый затратный способ производства отводов, и наименее распространённый. В тоже время точеные отводы возможно изготовить любой толщины, и они устойчивы к высоким давлениям.

Отводы точеные изготавливаются методом проточки изделия из литой заготовки (поковки). Заготовка представляет из себя металлический куб, из которого, в результате последующей механической обработки на станке вытачивается отвод.

В данном способе изготовления, остается отходов (стружки) до 80% от начального веса заготовки, также следует учитывать время и стоимость механической обработки. Поэтому исходя из всех этих факторов точеные отводы являются самыми дорогими по производству среди остальных видов отводов.

Точеные отводы изготавливаются под углами в 45 и 90 градусов.

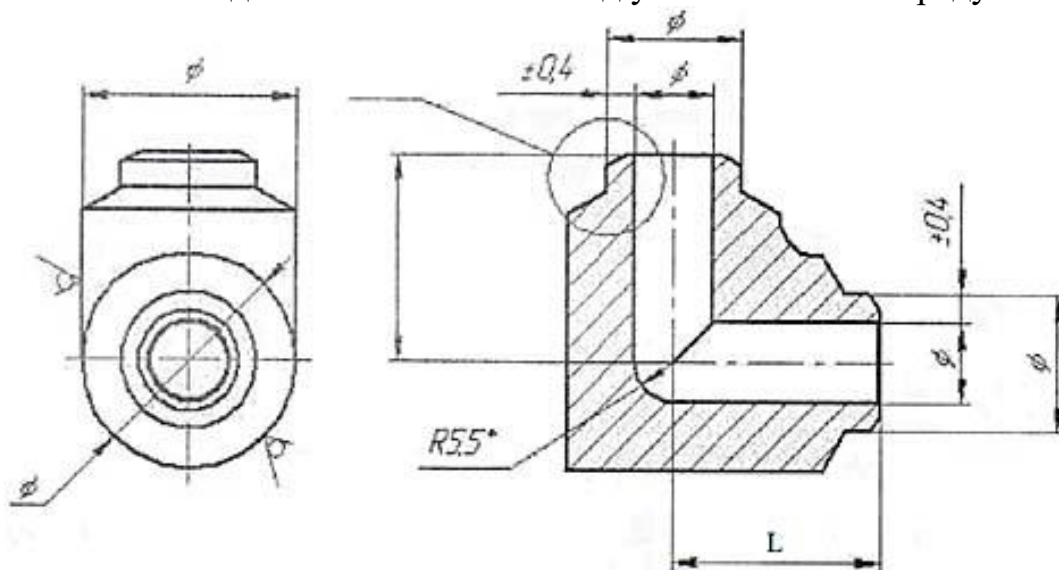


Рисунок 2.5. – Точеный отвод

Плюсы таких отводов заключаются в том, что подобрав нужную по размерам поковку возможно изготовить отвод любого диаметра, с любой толщиной стенок, а также, что за счет толщины своего основного тела такие отводы могут выдержать очень высокое давление до 40 МПа. Точеные отводы изготавливаются по чертежам, с геометрией, приведенной на чертеже выше. Максимальный диаметр таких отводов 168мм [7].

Материалы и способы производства крутоизогнутых отводов.

Стальные отводы изготавливаются из легированной, нержавеющей, коррозионностойкой или углеродистой стали. Выпускаются хромированные,

никелированные и оцинкованные изделия с повышенной устойчивостью к коррозионным процессам. Материал изготовления влияет на сферу применения отводов.

Бытовые коммуникации, не имеющие контакта с агрессивными средами, изготавливаются из углеродистой стали. Если в системе присутствуют химически активные вещества, то используются отводы из нержавеющей или легированной стали.

Легированные отводы применяются при температуре от -60 до $+40$ °С с давлением до 7,4 МПа, что позволяет монтировать их на трубопроводы в холодных климатических зонах. Нержавеющие изделия предназначены для трубопроводных систем, транспортирующих горячие, кислотные, щелочные среды. Они отличаются устойчивостью к коррозионному воздействию.

Оцинкованные отводы — распространенный тип изделий, изготовленный из оцинкованной стали. Они способны выдерживать высокое давление и транспортировать агрессивные среды.

Крутоизогнутые отводы изготавливаются на специальных гидравлических прессах посредством протяжки трубы через рогаобразную форму с заданным углом изгиба. Угол изгиба может быть 30, 45, 60, 90 и 180 градусов.

Такой способ изготовления позволяет производить отводы высокого качества. Материалами изготовления крутоизогнутых отводов являются углеродистая и нержавеющая стали [8].

В Диссертационном исследовании используются следующие характеристики отводов:

- угол сгиба: 90° ;
- диаметр: $\varnothing 76 \times 4,0$; $\varnothing 89 \times 4,0$; $\varnothing 114 \times 4,0$; $\varnothing 133 \times 4,0$; $\varnothing 159 \times 4,0$;
- толщина стенки: 4мм;
- материал: сталь 20.

Выбор диаметра детали производится с учётом типоразмера получаемых отводов трубопровода на оборудовании «Гидравлический пресс Гефест-100.03-3000».

Изготовление крутоизогнутых бесшовных стальных отводов регламентируется нормативным документом ГОСТ 17375-2001.

Глава 3. Математическое и трехмерное моделирование крутоизогнутых отводов

Для построения геометрии деталей использовалась «Система прочностного анализа для КОМПАС 3D АРМ FEM».

Система АРМ FEM представляет собой интегрированный в КОМПАС-3D инструмент для подготовки и последующего конечно-элементного анализа трехмерной твердотельной модели (детали или сборки).

Подготовка геометрической 3D-модели и задание материала осуществляется средствами системы КОМПАС-3D. С помощью АРМ FEM можно приложить нагрузки различных типов, указать граничные условия, создать конечно-элементную сетку и выполнить расчет. При этом процедура генерации конечных элементов проводится автоматически. АРМ FEM позволяет провести следующие типы расчетов:

- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- тепловой расчет;
- топологическую оптимизацию.

Подготовка модели к расчету.

Команды панелей Загрузки, Нагрузки и Закрепления предназначены для подготовки модели к расчету (задания граничных условий).

Давление – выбрав данную команду, можно приложить равномерно распределенное давление по нормали к поверхностям трехмерной модели. Указав поверхности, к которым будет приложено давление. После чего выбранная поверхность будет занесена в список граней, будет выделена цветом и, кроме того, на ней изображаются стрелки красного цвета, указывающие направление действующего давления [9].

На рогообразный сердечник (дорн) нанизываются отрезки труб. Гидравлический пресс проталкивает отрезки труб от основания к рогообразному наконечнику, разогретому в индукторе до температуры 900-1000 С. Рогообразный сердечник выполнен из жаропрочной стали. Проходя по наконечнику, трубные заготовки принимают форму отвода и сталкиваются с наконечника заготовкой, идущей сзади. Пресс комплектуется дорнами, количество, которых соответствует номенклатуре выпускаемых отводов. Проанализируем пресс Гефест-500М.03

Типоразмеры получаемых отводов: $\varnothing 76 \times 4,0$; $\varnothing 89 \times 4,0$; $\varnothing 114 \times 4,0$; $\varnothing 133 \times 4,0$; $\varnothing 159 \times 4,0$;

На рисунке 3.1 представлена модель способа формообразования отвода.

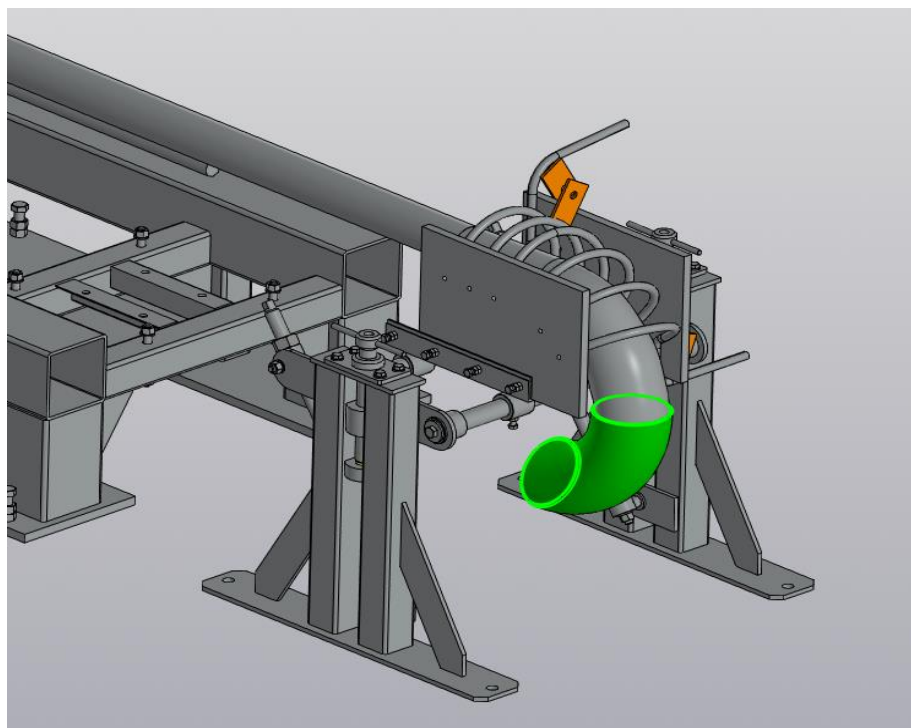


Рисунок 3.1. – Получение отводов

В диссертации была использована упрощённая формула для определения деформирующего усилия при протяжке отводов:

$$P = \sigma_B F_{\Pi} K, \quad (1)$$

Где:

σ_B – предел прочности материала трубы (сталь 20) при температуре, соответствующей началу конуса раздачи;

F_{Π} – площадь поперечного сечения трубы заготовки в начале деформации;

K – коэффициент, учитывающий влияния изменения формы заготовки и равный отношению действительного напряжения, возникающего при протяжке, к значению предела прочности материала трубы при температуре, принимаем $K=0,8$ при $1-1,5 D_y$ [10].

В таблице 3.1 приведены значения деформирующих усилий.

Таблица 3.1 расчет усилий для протяжки отводов

Типоразмер отвода d, мм.	Давление, МПа	Напряжение при изгибе Н/мм ²	Усилие прессы, тс
76	3,7	41,758	15
89	4,9	59,462	20
114	6,1	78,83	25
133	7,3	109,19	30
159	8,5	133,092	35

На рисунках 3.2 – 3.6 представлены данные распределения интенсивности напряжений и интенсивности деформаций при формообразовании отводов круглого поперечного сечения в программе ARM FEM.

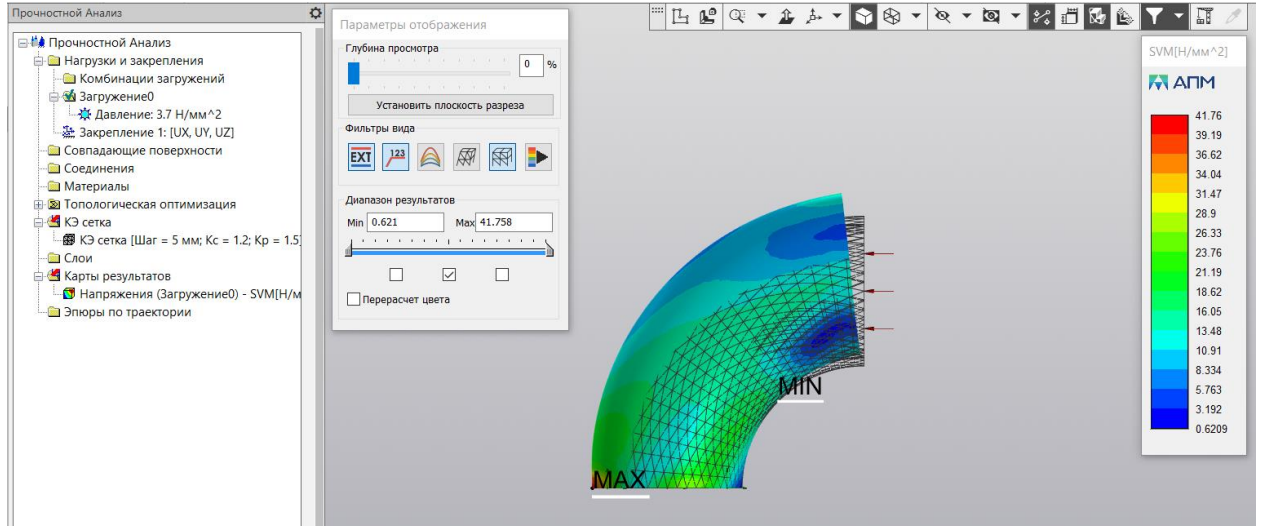


Рисунок 3.2. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=76 мм.

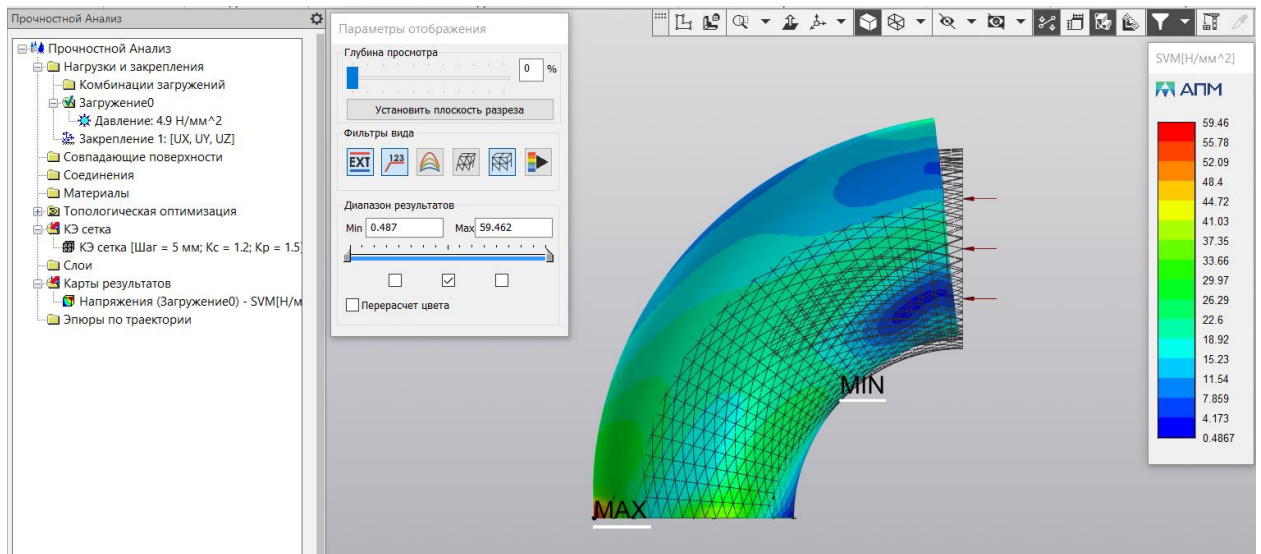


Рисунок 3.3. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=89 мм.

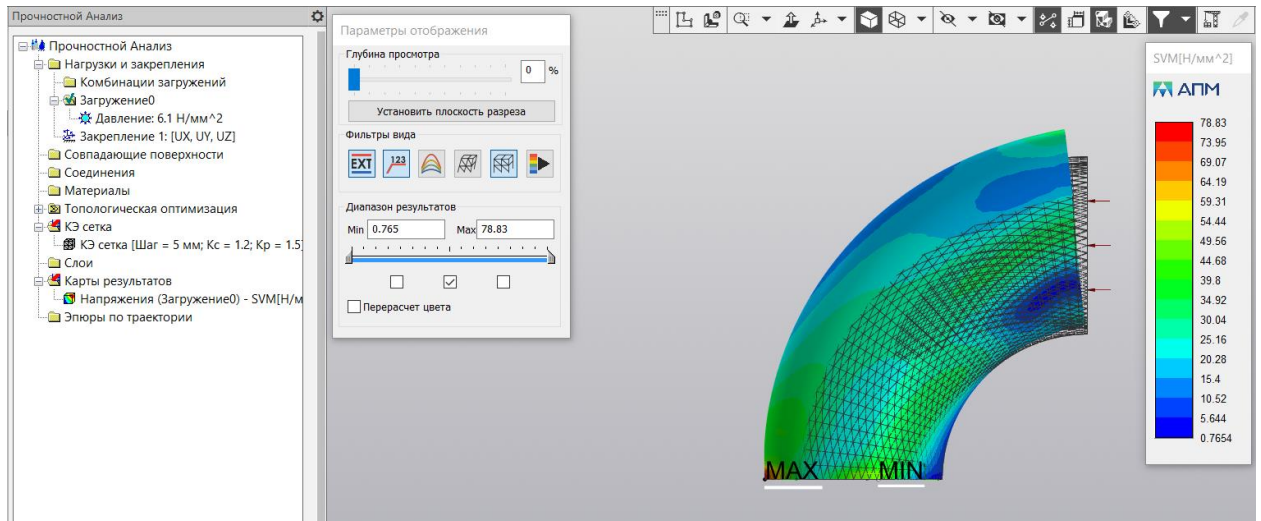


Рисунок 3.4. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=114 мм.

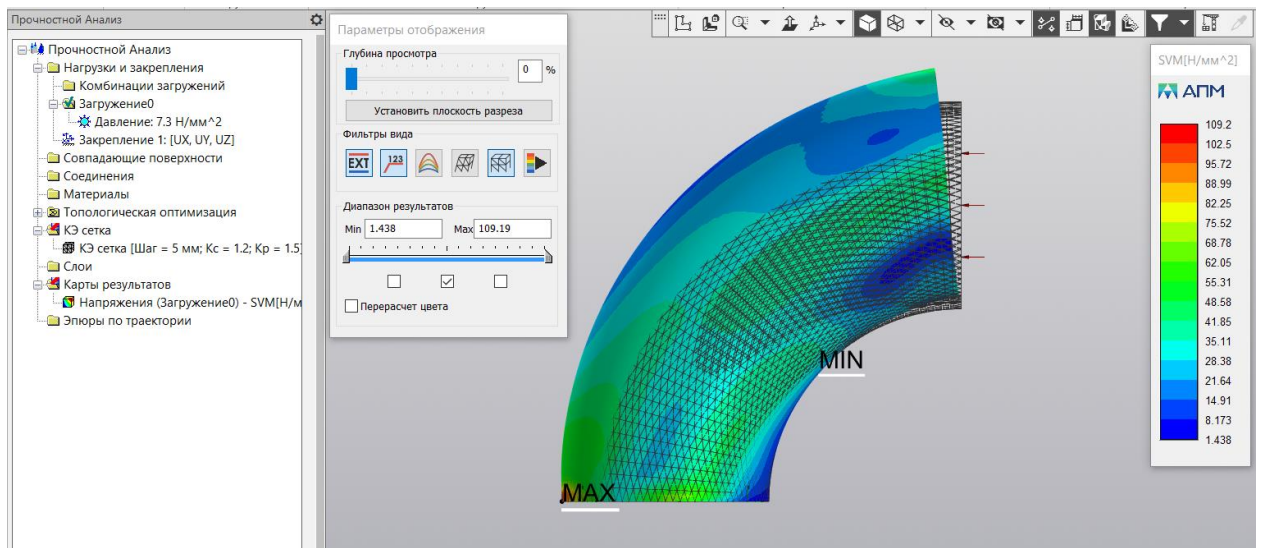


Рисунок 3.5. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=133 мм.

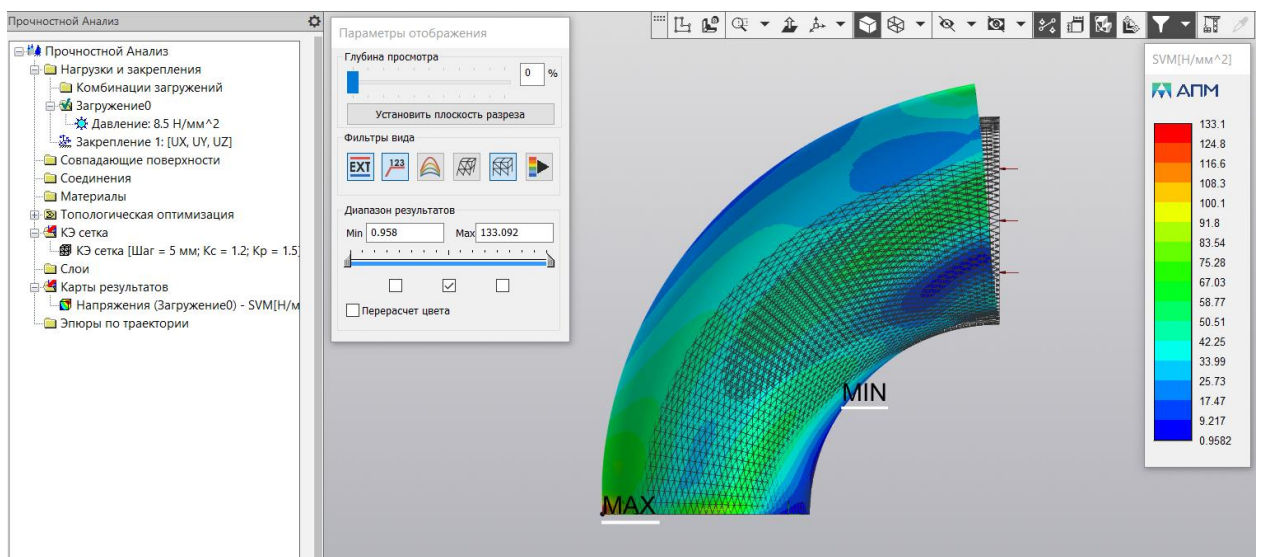


Рисунок 3.6. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=159 мм.

Моделирование показало, что не зависимо от диаметра, толщины стенки и материала заготовки, точки максимального и минимального напряжения не изменены.

На основе реального производства, необходимо предусмотреть такие факторы как разность толщин заготовок от номинальных их размеров, качестве металла, температурного режима и скорости протяжки труб. Увеличив давления протяжки получим, увеличение скорость протяжки труб увеличив тем самым производительность. Особое внимание следует уделить температурным режимам.

На рисунке 3.7-3.11 представлены данные распределения интенсивности напряжений и интенсивности деформаций при формообразовании отводов круглого поперечного сечения с увеличенным давлением протяжки на 15%.

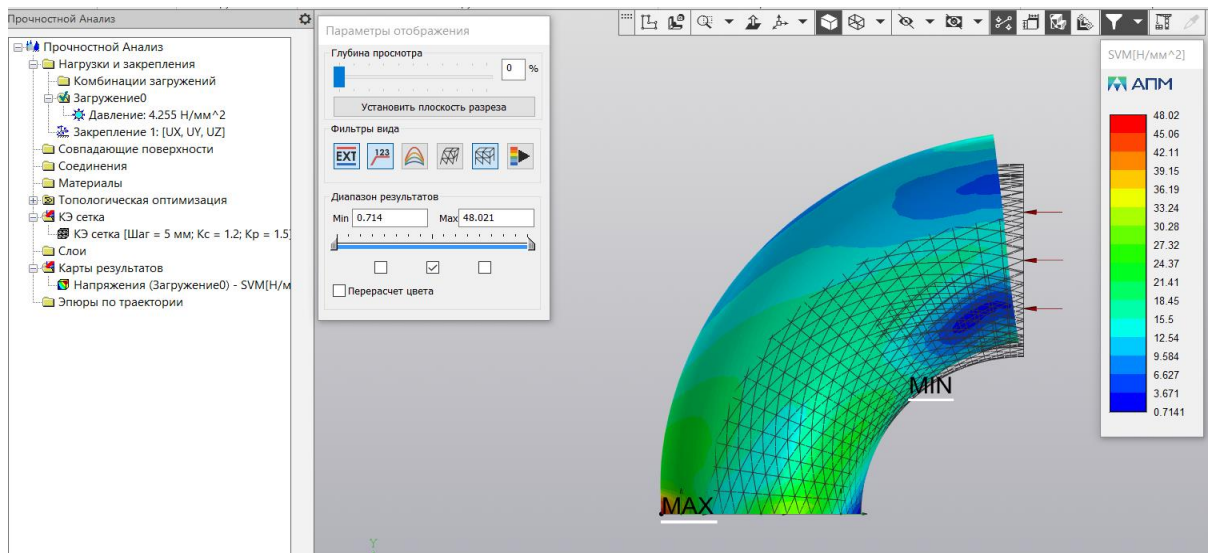


Рисунок 3.7. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=76 мм.

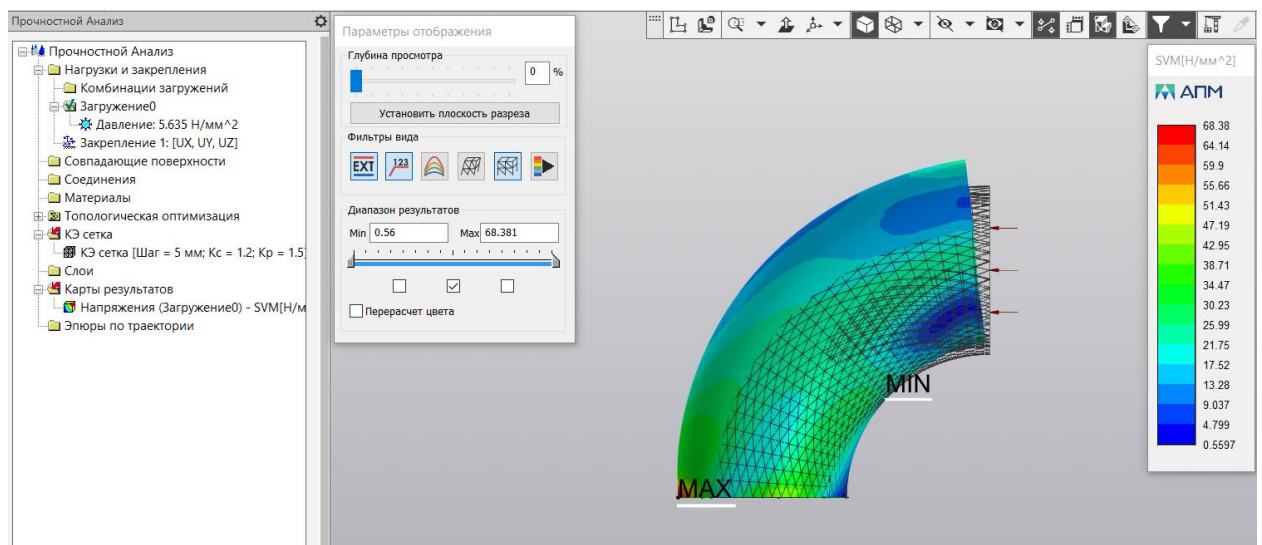


Рисунок 3.8. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=89 мм.

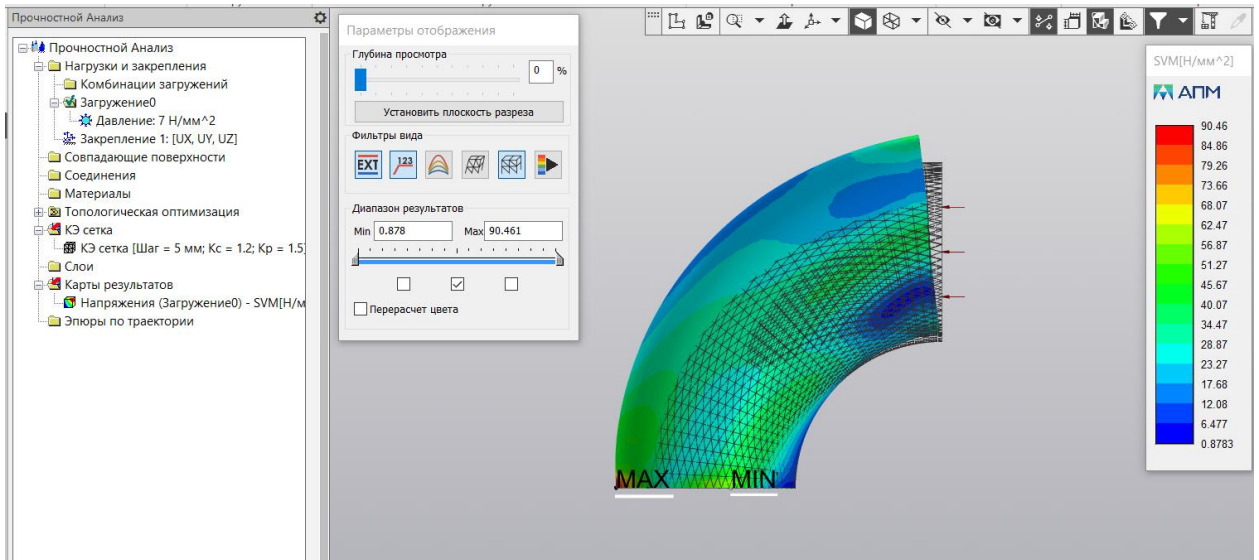


Рисунок 3.9. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=114 мм.

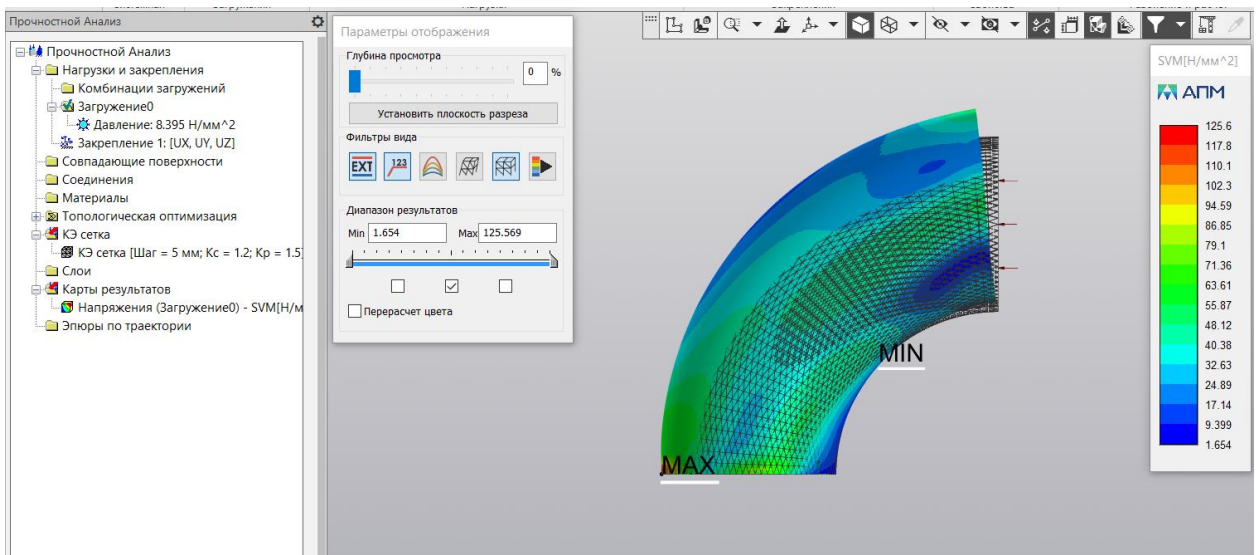


Рисунок 3.10. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=133 мм.

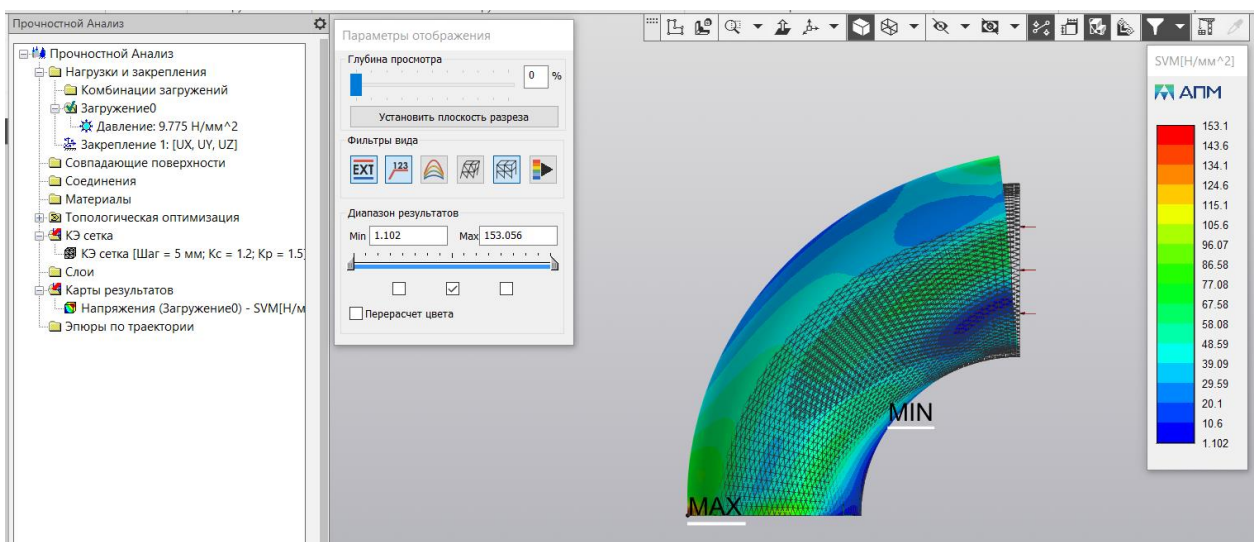


Рисунок 3.11. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=159 мм.

Моделирование показало, что увеличив давление и скорость протяжки трубы, допускаемое напряжение увеличивается что приводит к появлению брака, таблица 3.2. Образованию гофр, разрывов в местах максимального допустимого напряжения. Для стали 20, с предварительной термообработкой, допускаемые напряжения при изгибе δ , с переменной нагрузкой действующей от нуля до максимума составляет $\delta = 140$ МПа [11].

Таблица 3.2 Пересчет давление-усилия для протяжки

Типоразмер отвода d, мм.	Давление, МПа	Напряжение при изгибе Н/мм ²	Усилие прессы, тс	Давление увеличенное, МПа	Напряжение при изгибе Н/мм ²
76	3,7	41,758	15	4,255	48,021
89	4,9	59,462	20	5,635	68,381
114	6,1	78,83	25	7,05	90,461
133	7,3	109,19	30	8,395	125,569
159	8,5	133,092	35	9,775	153,056

Глава 4. Разработка методики и практических рекомендаций по улучшению качества изготовления крутоизогнутых отводов.

Моделирование показало, что увеличив давление и скорость протяжки трубы, допустимое напряжение увеличивается что приводит к потери устойчивости стенок и образованию гофр и (или) разрывов стенок в точках максимально нагружения. Для устойчивости стенок было предложено следующее, обеспечить дополнительное закрепление путем сварки (сварной точки), в точках с максимальным нагружением.

На рисунках 4.1 – 4.5 представлены данные распределения интенсивности напряжений и интенсивности деформаций при формообразовании отводов круглого поперечного сечения в программе АРМ FEM, с дополнительным закреплением.

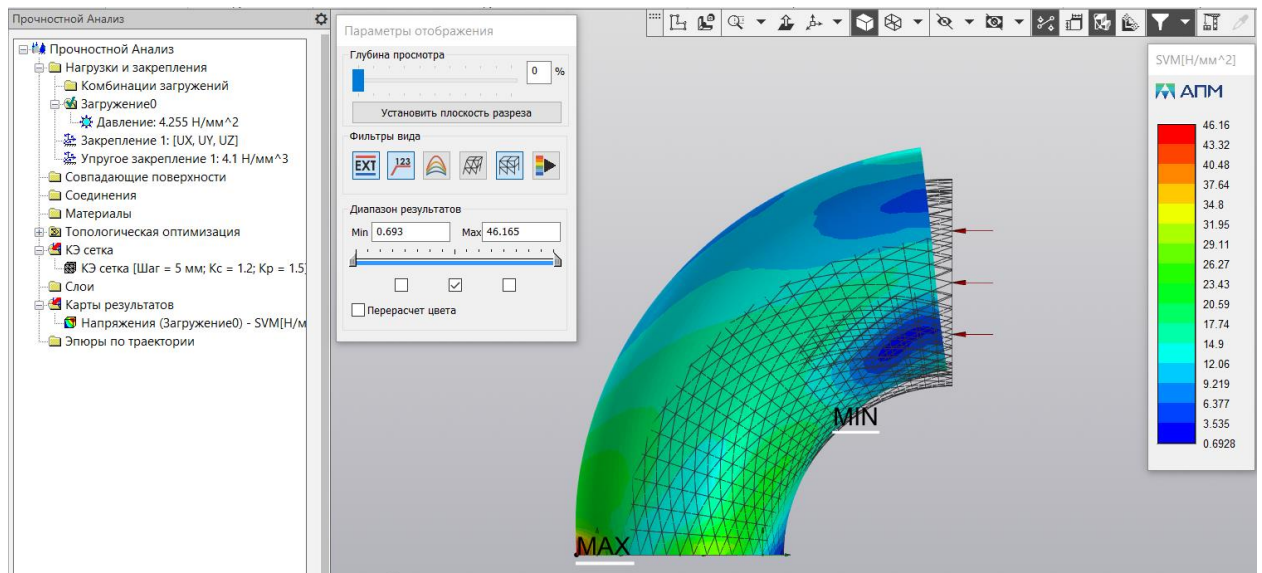


Рисунок 4.1. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=76 мм.

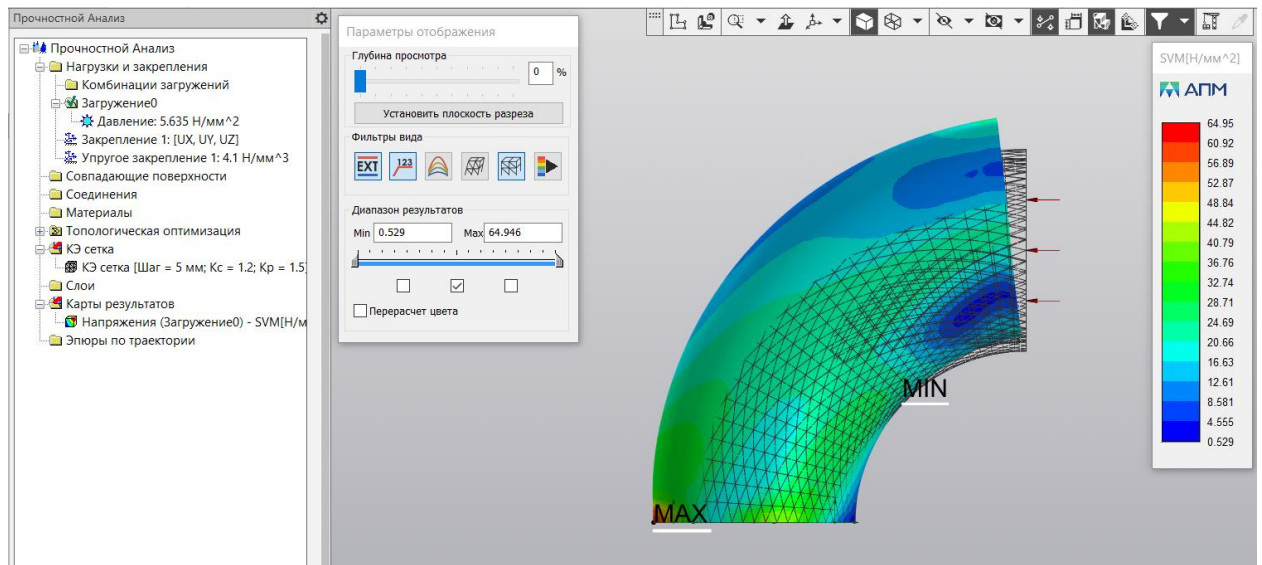


Рисунок 4.2. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=89 мм.

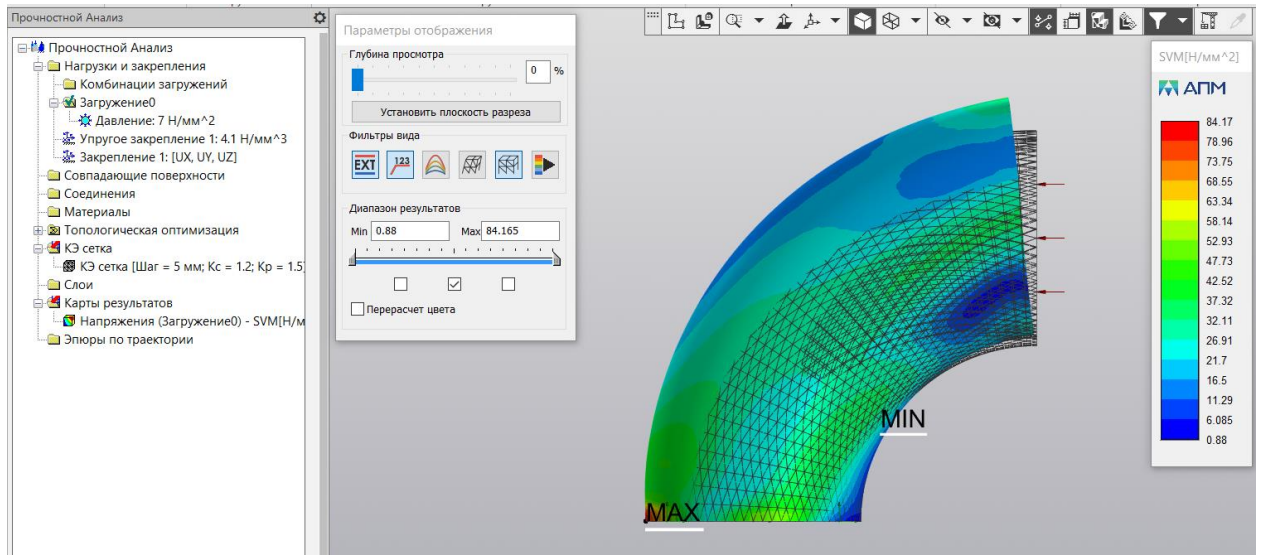


Рисунок 4.3. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=114 мм.

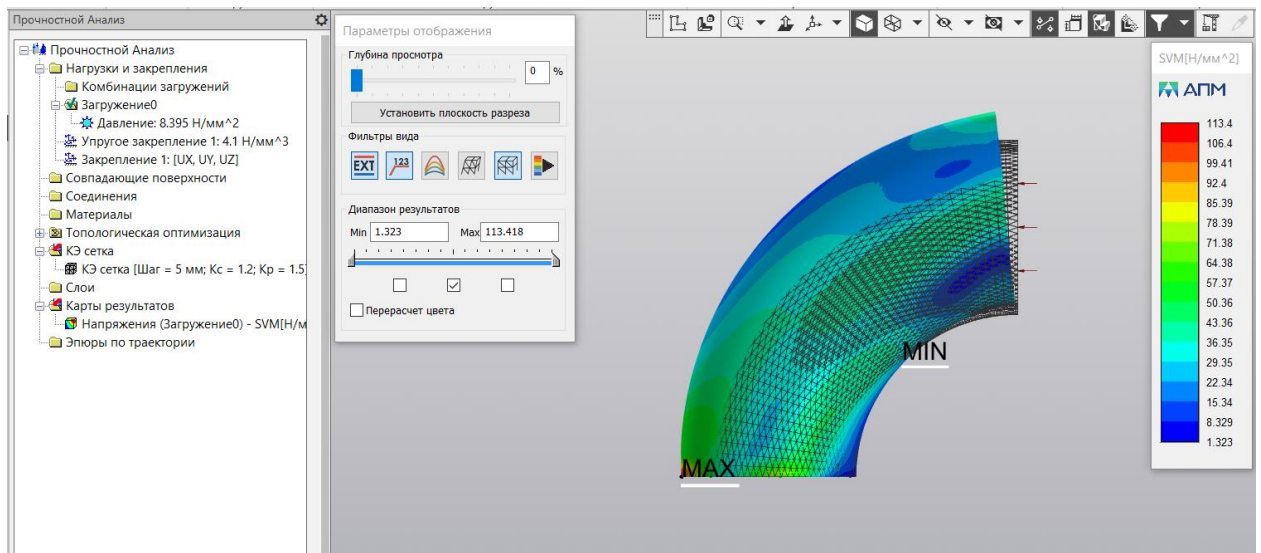


Рисунок 4.4. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=133 мм.

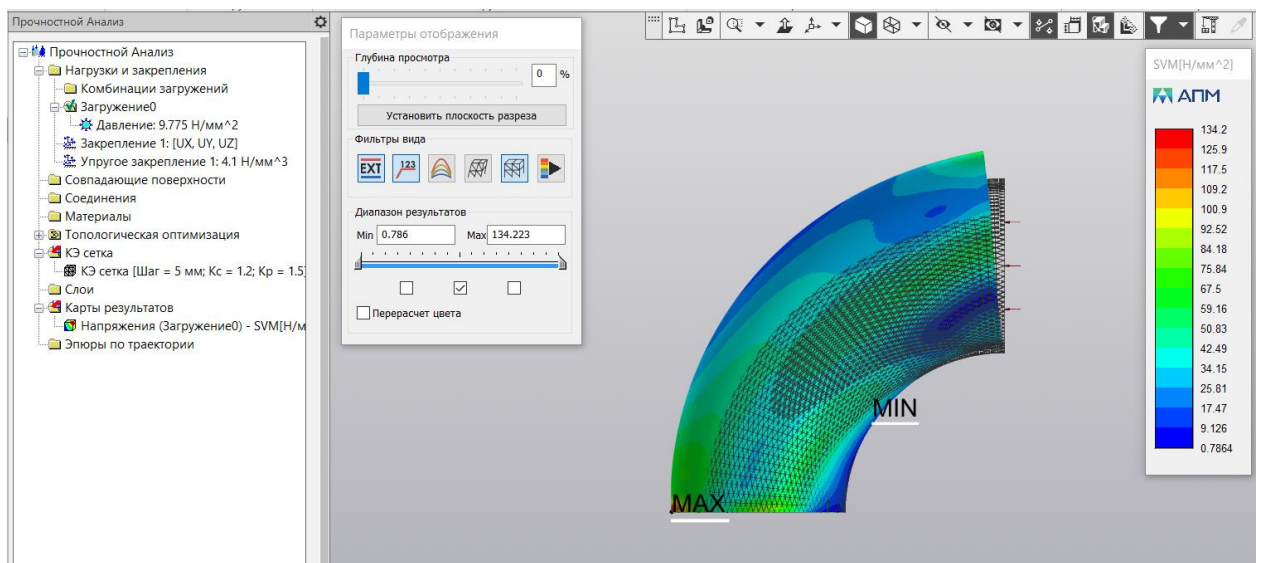


Рисунок 4.5. – Данные распределения нагрузки под давление на отвод D=159 мм.

После расчетов полученные данные запишем в таблицу 4.1 с перерасчётом максимального допустимого напряжения

Таблица 4.1 Пересчет давление-усилия для протяжки

Типоразмер отвода	Давление превышенное, МПа	Напряжение при изгибе Н/мм ²	Усилие, тс	Давление, превышенное с доп. закреплением, МПа	Напряжение при изгибе Н/мм ²
76	4,255	48,021	15	4,255	46,165
89	5,635	68,381	20	5,635	64,946
114	7,05	90,461	25	7,05	84,165
133	8,395	125,569	30	8,395	113,418
159	9,775	153,056	35	9,775	134,223

Расчет показал положительное влияние упругого закрепления на увеличение давления протяжки отвода. Что в дальнейшем способствует в подтверждении теории и использовании на реальном производстве. Увеличение скорости повлечет также увеличение количество выпускаемых деталей.

Технология производства крутоизогнутых отводов состоит из 4-5 этапов. Для каждого этапы даны следующие рекомендации для улучшения качества получения отводов.

Первым этапом производится резка заготовок (труб) определенного размера. Длина заготовок определяется в зависимости от назначения по ГОСТ 17375-2001. Следует учесть тот факт, что подрезка торцев необходима для последующего соединения с трубопроводом, а значит в длину трубы заготовки необходимо увеличить, на длину равную, припуску под механическую обработку. Припуски под механическую обработку из источника [12], представлены в таблице 4.2.

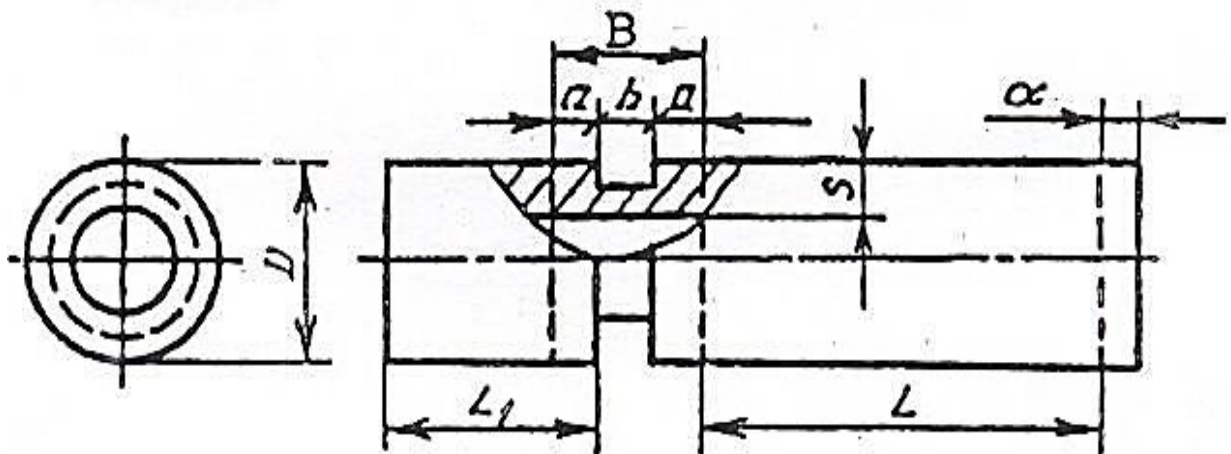


Рисунок 4.6. – Резка труб на пиле

Таблица 4.2 Припуски на резку труб (мм)

Диаметры труб D	Припуски									На зажим в патроне L1
	На разрезку без обработки торцов						На обработку торцов			
	Дисковая пила	Ножовочная пила	Токарные и револьверные станки				Длина до 1 м	Длина от 1 м до 5 м	Длина св. 5 м	
			Толщина стенок							
до 16			св. 16-25	св. 25-40	св. 40-70					
b						2a			L1	
До 20	4	2,5	4	-	-	-	4	5	7	20
Св. 20 до 30			6	-	-	-	6	7	9	25
Св. 30 до 80			7	-	-	-	7	8	10	
Св. 80 до 150	7	3	5	6	6	-	8	10	12	40
Св. 150 до 200							9			60
Св. 200 до 260							7	3	5	
Св. 260 до 300	8									
Св. 300 до 400	7	8	10	10						
Св. 400 до 440										

Вторым этапом происходит загрузка заготовок на штангу соединенной с рогообразным сердечником, с использованием графитовой смазки. Протяжка отводов по нагретому рогообразному сердечнику.

Следует учесть специфику предприятия, а именно получение тонкостенных или толстостенных отводов. В зависимости от способа и метода нагрева, даны следующие рекомендации. Для тонкостенных отводов применимы индукционные нагревательные элементы и дорны. Индукторы легче демонтируются и при появлении брака в процессе протяжки можно немедленно устранить, не потеряв темп производства в отличие от дорнов.

Толстостенные отводы необходимо тщательно прогревать, метод индукционного нагрева ведет к большим энергетическим потребностям. Нагрев смесью экономичнее и также можно получить температуры выше чем у индукторов.

Третий этап, происходит калибровка (правка) в вертикальных гидравлических прессах, используются матрицы для корректировки формы, угла изгиба и наружного диаметра.

При необходимости, четвертым этапом производства, является калибровка отверстий. Получают поверхности высокого качества. Сущность калибровки

сводится к перемещению в отверстие с натягом шара (инструмента) большего диаметра. При этом инструмент сглаживает неровности, исправляет погрешности, упрочняет поверхность.

На основе технологии, правка внутреннего отверстия, можно выдвинуть теорию, что при включении этого этапа в технологию производства крутоизогнутых отводов, можно уменьшить диаметр рогообразного сердечника на величину прокатного инструмента, тем самым снизив нагрузку траверсы на отвод.

Пятый этап состоит из механической обработки на двухшпиндельных торцовочных станках. Отвод устанавливают в специальное приспособление и торцуют кромки с обеих сторон для последующего соединения с трубами путем сварки. Необходимо изготовить самоцентрирующимся приспособление для обработки, тем самым снизив получения брака на последнем этапе производства.

Заключение

В диссертации даны следующие рекомендации для повышения качества крутоизогнутых отводов. Необходимо четко проанализировать тип производства и дальнейшую выпускаемую продукцию.

Качество получаемых изделий напрямую зависит от технологии производства и оборудования. Расположение оборудования в рамках одного цеха повлечет к уменьшению брака. Следует также уделить внимание на хранение заготовок, их положение в процессе производства на разных этапах.

В первой и второй главе были проведены анализ разработок в получении крутоизогнутых отводов и отводов, в частности. Даны их характеристики и способы применения.

В третьем пункте был расчет реального произвольна и получения данных при помощи программы интегрированной в компас 3D APM FEM. Также была выдвинута теория о повышения производительности линии.

В четвертой главе представлен один из способов предотвращения образований разрывов и гофр в точках максимального нагружения при увеличении скорости и (или) не соблюдения технологии производства.

Список использованных источников

1. Братухин, А.Г. Современные технологии авиастроения: учебное пособие / А.Г. Братухин, Ю.Л. Иванов. - М.: Машиностроение. - 1999. - 832 с.
2. Марьин, Б.М. Изготовление трубопроводов гидрогазовых систем летательных аппаратов / Б.М. Марьин и [др.]; - М.: Машиностроение, 1998. - 400 с.
3. Николенко Кирилл Анатольевич Совершенствование процесса формообразования толстостенных крутоизогнутых отводов.
4. PSK Group - полезный и познавательный портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://psk-group.su/znacheniya/cto-znacit-krutoizognutyi-otvod> . – Дата доступа: 24.02.2023.
5. Patenton сборник патентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patenton.ru> – Дата доступа: 01.012.2022.
6. Курс лекций по дисциплине «Технологические процессы в машиностроении» / Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова – Магнитогорск: МГТУ, 2015. – 56 с
7. Компания «Армстрой» : кат. продукции. – [https://armstroy-nn.ru/useful_info/article/stalnye-otvody-vidy-i-primeneni/].– [Б. м. : б. и., б. г.].
8. ООО «ТД «НХИ-Групп»: кат. продукции. [https://tdnhi.ru/articles/vidy_stalnyh_otvodov_i_ih_pri/].– [Б. м. : б. и., б. г.].
9. Руководство Пользователя АРМ FEM, Система прочностного анализа для КОМПАС-3D, Научно-технический центр «АПМ» 141070, Россия, Московская область, г. Королёв, Октябрьский бульвар 14, оф. 6
10. Опарин В. И. Ткаченко Г.П., Лукьянов В.П.. Механизация производства химической и нефтяной аппаратуры. М., «Машиностроение», 1973, 120 с.
11. Горский А.И.. Иванов-Емин Е. Б.. Кареновский А. И. Определение допускаемых напряжений при расчетах на прочность. НИИмаш, М., 1974.
12. Методические указания к лабораторным работам «Проектирование заготовок из круглого стального проката.»/ «Самарский Государственный технический университет» - Самара: СГТУ, 2007.