

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

Кафедра Технические дисциплины
Направление подготовки 22.03.02 «Металлургия»
Направленность (профиль) «Обработка металлов и сплавов давлением»

Допускается к защите
Доцент с обяз. зав. кафедрой ТД
/Т.О. Сошина/
« ____ » _____ 2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему: «Влияние технологических параметров прямого прессования на
энергосиловые параметры процесса»

Студент Смольникова М.Э. / _____ /

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на _____ стр.
2. Графическая часть на _____ листах.

Руководитель Трофимов В.Н. / _____ /

Лысьва, 2020 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 57 страниц пояснительная записка формата А4, 45 рисунков, 30 формул, 10 литературных источников, три раздела состоящая из:

- общий раздел;
- технологический раздел;
- научно-технологическая часть.

Объект исследования – прямой процесс прессования стали 45 и меди М 1.

Цель работы: исследовать влияние технологических параметров прямого прессования на энергосиловые параметры процесса.

Для поставленной цели нужно решать следующие задачи:

- рассмотреть влияние параметров процесса прямого прессования на усилие прессования;
- разработать модель процесса прямого прессования в QFORM (сталь 45 и медь М 1);
- провести расчёты процесса прямого прессования.

В ходе выпускной квалификационной работы необходимо выполнить оформление демонстрационного стенда «Требования к оформлению и пример ВКР по направлению 22.03.02 Metallургия, профиль Обработка металлов давлением» (четыре стенда формата А1). (ПРИЛОЖЕНИЕ А)

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|--------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 - Р | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 2 |

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

α_m – действительный угол канонического канала матрицы;

α_p – расчетный угол канонического канала матрицы;

$h_{y.z.p}$ – действительная и расчетная высота упругой зоны у матрицы;

D_n – расчетный начальный диаметр заготовки, т.е. диаметр ее после распрессовки в контейнере, равный внутреннему диаметру контейнера;

D_k – наружный диаметр выпрессованного прутка или трубы;

$T_{кр}$ – нормальная сила на пресс-шайбе, необходимая для преодоления элементарных сил трения $dT_{кр}$ заготовки о стенки контейнера и о часть иглы, находящейся в контейнере;

$F_{T.кр}$ – поверхность трения заготовки о стенки контейнера;

$\tau_{кр}, \tau_m, \tau_{II}$ – среднее значение напряжения контактного трения соответственно на пресс-шайбе и на боковых поверхностях контейнера, обжимающей части пластической зоны и пояска;

$f_{k.кр}$ – коэффициент трения;

$K_{кр}, K_{m.\sigma}$ – среднее значение напряжения пластического сдвига прессуемого металла в его состоянии соответственно у боковой поверхности контейнера и боковой поверхности в обжимающей части пластической зоны;

L_n – длина заготовки после распрессовки;

$K_{m.n}$ – напряжения пластического сдвига прессуемого металла в его состоянии соответственно в начале и конце обжимной части пластической зоны и среднее значение в пределах пластической зоны;

$\sigma_{в.м.н}$ – предел прочности при статических испытаниях прессуемого металла в начальной стадии, т.е. на входной поверхности давления;

T_m – нормальная сила на пресс-шайбе, необходимая для преодоления элементарных сил трения dT_m , возникающих на боковой поверхности обжимающей части пластической зоны;

U_{II} – скорость входа металла в обжимающую часть пластической зоны;

R_M – нормальная сила на пресс-шайбе, необходимая для осуществления основной деформации без учета контактного трения, т.е. суммирующая элементарных, активных сил, приложенных к поверхности давления матрицы в осевом направлении в предположении отсутствия контактного трения.

T_{Π} – нормальная сила на пресс-шайбе, необходимая для преодоления элементарных сил трения dT_{Π} , выпрессованного изделия о калибрующий пояс и иглу, находящийся в пояске;

μ –вытяжка;

$F_{T,\Pi}$ – поверхность трения калибрующего пояса канала матрицы, включая поверхность иглы, находящейся в пояске (если она есть);

$T_{\text{ш}}$ – нормальная сила на пресс-шайбе, необходимая для преодоления элементарных сил трения $dT_{\text{ш}}$ прессуемого металла о пресс-шайбу;

P – полное давление прессуемого металла на пресс-шайбу и пуансон;

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 - ОИС | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 4 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 6 |
| 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ | 7 |
| 1.1 Виды прессования | 7 |
| 1.2 Инструмент для прессования..... | 8 |
| 1.3 Прямой способ прессования | 10 |
| 1.4 Характеристика материала..... | 14 |
| 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ПРЕССОВАНИЯ В QFORM 18 | |
| 2.1 Процесс прессования с углом канала 60° без скругленных кромок, материал сталь 45 | 19 |
| 2.2 Процесс прессования с углом канала 60° со скругленными кромками, материал сталь 45 | 22 |
| 2.3 Процесс прессования с углом канала 120° без скругленных кромок, материал сталь 45 | 26 |
| 2.4 Процесс прессования с углом канала 120° со скругленными кромками, материал сталь 45 | 29 |
| 2.5 Процесс прессования с углом канала 60° без скругленных кромок, материал медь М 1 | 33 |
| 2.6 Процесс прессования с углом канала 60° со скругленными кромками, материал медь М 1 | 36 |
| 2.7 Процесс прессования с углом канала 120° без скругленных кромок, материал медь М 1 | 40 |
| 2.8 Процесс прессования с углом канала 120° со скругленными кромками, материал медь М 1 | 44 |
| 3 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ | 48 |
| 3.1 Аналитическое определение составляющих полного давления прессования..... | 48 |
| 3.2 Сравнительный анализ прямого прессования..... | 56 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 60 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ | 61 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 62 |

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 - ПЗС | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 5 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В настоящее время в России и в других промышленных странах, проводят исследование для повышения качества прессовой продукции с минимальными затратами на производство.

История становления и развития металлургии непрерывно связана с процессами обработки металлов давлением, без использования металла немислим современный мир. Наиболее ранним способом была ковка, также волочение и штамповка является древнейшим способом обработки металлов давлением.

В середине 18 века, крупным изобретением является прессование металлов. Первый гидравлический пресс был изобретен в Англии Т. Баром.

Выдавливание металла из замкнутой полости при помощи устройства оказалось наиболее экономичным и простым способом, для получения профилей, труб, проволок и т.д.

В России в конце 19 века, появились механические прессы, для прямого прессования свинцовых труб. Гидравлические прессы появились в начале 20 века в г. Ленинград на заводе «Красный Выборжец» и на заводе в г. Кольчугино по обработке цветных металлов.

Первый гидравлический пресс для прямого прессования был изготовлен в середине 30 годов, а в начале 40 годов был разработан процесс обратного прессования.

Целью работы является изучить влияние технологических параметров прямого прессования на энергосиловые параметры процесса.

Для поставленной цели нужно решать следующие **задачи**:

- рассмотреть влияние параметров процесса прямого прессования на усилие прессования;
- разработать модель процесса прямого прессования в QFORM (сталь 45 и медь М 1);
- провести расчёты процесса прямого прессования.

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|---------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 - ВВ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 6 |

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ

Прессование – это процесс обработки металлов давлением, во время которой металл выдавливается из замкнутого объема, через отверстие в матрицу.

1.1 Виды прессования

Основными разновидностями процесса прессования являются прессование с прямым и с обратным истечением.

Прямое прессование

Этот процесс применяют при прессовании сплошных и полых профилей.

Схема процесса приведена на рисунке 1.1. Металл выдавливается из замкнутого объема так, что пресс-шайба пуансоном перемещается относительно стенок контейнера при отсутствии перемещения матрицы относительно стенок. При этом перемещаться в пространстве может как контейнер, так и пуансон. При прессовании с прямым истечением заготовка перемещается относительно стенок контейнера и на контактной поверхности появляются силы трения, затрудняющие её перемещение.

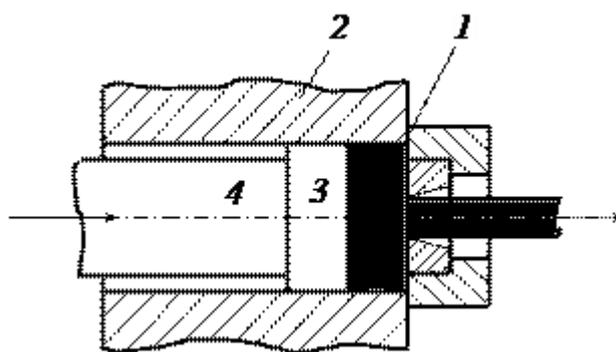


Рисунок 1.1.1 – Прямое прессование: 1 – металл; 2- контейнер; 3- пресс-шайба; 4- пуансон.

Обратное прессование

Прессование с обратным истечением используется при производстве относительных коротких сплошных и полых профилей (рисунок 1.2).

Матрица перемещается пуансоном относительно стенок контейнера. При этом перемещаться в пространстве может как контейнер, так и пуансон.

При прессовании с обратным истечением заготовка относительно стенок контейнера не перемещается, за исключением небольшого объема вблизи матрицы. Поэтому влияние трения на усилие прессования и течение металла в этом процессе значительно меньше, чем при прессовании с прямым истечением.

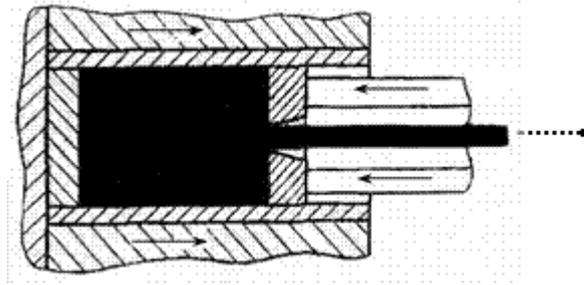


Рисунок 1.1.2 - Прессование с обратным истечением

1.2 Инструмент для прессования

Технологический прессовый инструмент функционирует в условиях высоких давлений, частых перемен температуры, достигающей крупных значений и абразивного износа. Поэтому механизм обязан обладать значительную устойчивость, а также постоянство размеров, от этого зависит точность пресс-изделий, и обеспечивает высокое качество.

Прессовочный механизм состоит из следующих элементов: контейнер, втулки контейнера, пресс-штемпеля, пресс-шайбы, матрицы, иглы (оправки).

Контейнер предполагает собою металлической пустой полый цилиндр.

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|------------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 – ОР.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 8 |

В полости данного цилиндра вводится втулка с цилиндрической либо круглой полостью соответственно форме прессуемой заготовки. Втулка подвергается активным силовым и температурным воздействием. Поэтому она быстро изнашивается, и ее делают сменной.

Пресс-штемпель – сплошной металлический цилиндр с утолщением в 1 конце для крепления на подвижном элементе системы пресса, передающем давление на прессуемую сталь.

Пресс-шайба – металлический небольшой непрерывный или полый цилиндр (при использовании круглого контейнера), соприкасающийся с прессуемым металлом и дающие влияние от пресс-штемпеля. Внешние размеры поперечного сечения пресс-шайбы в 1-5 миллиметров меньше размеров полости втулки контейнера и несколько больше пресс-штемпеля.

Матрицы, какие считаются главной составляющей прессового инструмента, формирующей заданное пресс-изделие, могут быть простыми и комбинированными.

Иглы и оправки используются только лишь при прессовании полых профилей. Иглы считаются инструментом с целью прошивки, т.е. извлечения полости в сплошных заготовках; оправки предназначаются с целью формообразования полости в пресс-изделии. Для прессования профилей с круглой полостью используют оправки цилиндрические (с незначительным углом наклона образующей к оси) и цилиндро-конические.

Матрица - главная часть прессового инструмента, предполагает собою стальной диск с прорезанным в нем каналом по форме профиля, что устанавливается в передней части контейнера и замыкает его полость с заготовкой. Диаметр матрицы находится в зависимости от размеров контейнера и заготовки, толщину рассчитывают, отталкиваясь от технологических соображений. Основные элементы матрицы: зеркало или входная часть, рабочий канал, поясок, выходная часть. [3]

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|------------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 – ОР.ПЗ | Лист |
| | | | | | | 9 |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | |

1.3 Прямой способ прессования

Прессование с прямым истечением в настоящее время применяют наиболее широко.

К основным областям применения процесса относят:

- изготовление профилей и труб сложной формы, особенно из металлов и сплавов, прессуемых с высокими скоростями истечения;
- изготовление полуфабрикатов сложной геометрии и повышенной точности;
- производство тонких нитей, из металлов, имеющих низкую прочность и трудно поддающихся волочению;
- среднее и мелкосерийное производство, а так же обработка хрупких металлов и сплавов.

Преимущество:

- увеличение пластичности металла и, как следствие, вероятность осуществлять прессование с большими деформациями и получать пресс - изделия различной и сложной конфигурации поперечного сечения за один переход;
- прессование хрупких и труднообрабатываемых металлов и сплавов;
- сравнительно высокая точность геометрии пресс-изделий;
- вероятность быстрого перевода процесса с прессования 1-ого типа профиля надругой путем замены в основном только матрицы, а поэтому высокая мобильность процесса.

Недостатки:

- относительно низкий выход годного металла, что обуславливается потребностью оставлять пресс-остаток и устранять концевую обрезь на пресс - изделиях;

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|------------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 – ОР.ПЗ | Лист |
| | | | | | | 10 |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | |

- высокая неравномерность деформации, а также структуры и механических свойств металла по длине и поперечному сечению пресс-изделий;
- ограниченная скорость истечения при прессовании определенных сплавов, в частности высокопрочных алюминиевых;
- высокая цена инструмента и в ряде случаев относительно невысокая его стойкость.

Усилие прямого прессования

Усилием прессования - давление, которое необходимо для выдавливания металла из контейнера через отверстие матрицы.

Усилие прессования зависит от следующих факторов:

- свойств металла;
- размер заготовки;
- степени деформации;
- температура;
- скорости деформации;
- формы матрицы;
- состояния поверхности инструмента;
- смазки.

Свойства металлов:

- металлы и сплавы требуют незначительных усилий прессования (алюминий, магний и сплавы ЛС59-1, Л63 и др.);
- тяжело прессуемые (ЛО70-1, Л80, латуни Л68, дуралюмины и др.)

Температура металла и инструмента

Воздействие уровня нагрева заготовок на усилие прессования понятно из того, что при более высоких температурах предел прочности металлов уменьшается, таким образом, потребуется и меньшее усилие для деформации.

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|------------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 – ОР.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 11 |

Мало нагретые заготовки прессуются с трудом, и манометр показывает резкое увеличение давления. В таких ситуациях вся заготовка или значительная его часть остается не до конца прессованным. Перегретые заготовки прессуются легче, и манометр показывает незначительное давление.

Холодный либо мало нагретый инструмент охлаждает заготовку, из-за этого увеличивается его прочность, и усилие прессования.

Степень деформации

Усилие прессования располагается в прямой зависимости от вытяжки либо степени обжатия. Чем больше вытяжка, тем больше потребуется усилие прессования.

Длина заготовки

При прямом прессовании заготовка перемещается в контейнере с большим трением об его стенки. На преодоление трения затрачивается конкретное усилие, которое зависит от длины заготовки. Чем больше усилие, тем длиннее заготовка. По мере прессования металла, т. е. уменьшения длины заготовки, силы трения понижаются, также уменьшается усилие прессования. К концу процесса, если металл успевает остыть и от заготовки остается незначительная его часть, течение металла от стенок контейнера к отверстию в матрице усложняется, и усилие, поэтому возрастает.

Форма матриц

По профилю отверстие матрицы делят:

- конические (рисунок 1.3 а);
- плоские (рисунок 1.3 б).

В плоской матрице торец, контактирующий с передним торцом заготовки, называется зеркалом. Имеются и другие формы задней части матриц, представляющие в основном переходными между плоскими и коническими, но их используют значительно реже. Подавляющую часть алюминиевых профилей прессуют через плоские матрицы. В процессе

прессования на плоских матрицах образовывается большая мертвая зона, что препятствует проникновению разных повреждений в пресс-изделие. При прессовании через конические матрицы объем мертвой зоны существенно снижается и она не задерживает продвижение через матрицу в пресс-изделие разных загрязнений с поверхности заготовки.

Если прессование идет со смазкой, в таком случае коническая матрица обеспечивает наилучшую сохранность смазочного слоя на всем пути продвижения прессуемого металла — с контейнера вплоть до выхода из канала матрицы. Поэтому прессование со смазкой ведут обычно на матрицах, у которых образующая заходной конической воронки, строго говоря, повторяет форму границы, отделяющей мертвую зону от пластически деформируемого металла заготовки.

При этом образование мертвой зоны полностью исключается и частицы металла, которые входят в незначительные заторможенные объемы при прессовании через обычную коническую матрицу и могут быть вовлечены потоком движущегося металла в слои пресс-изделий, создавая тем самым поверхностные дефекты.

По количеству каналов матрицы делят: одноканальные (больше всего используют для прессования профилей сложной конфигурации и крупных сечений); многоканальные (для прессования профилей более простых сечений и на прессах минимальных усилий).

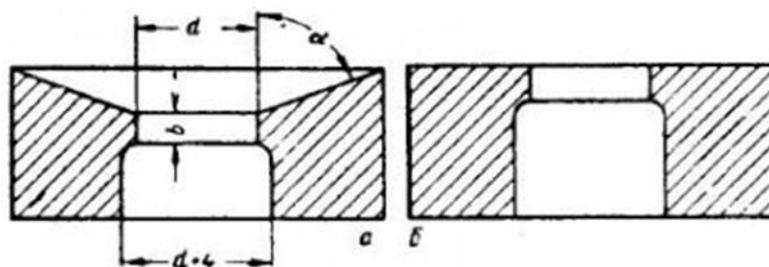


Рисунок 1.3.1 – Основные виды прессовых матриц: а – каноническая; б – плоская.

На усилие прессования влияет длина рабочего пояса b матрицы (рисунок 1.3.1); чем он меньше, тем меньшее требуется усилие прессования.

Состояние поверхности инструмента

При прямом прессовании металл под большим давлением движется по стенке контейнера. Сильно сработанная поверхность контейнера мешает перемещению металла, тем самым вызывая необходимость приложения дополнительного усилия. При хорошо отшлифованной плоскости контейнера требуемое усилие прессования существенно уменьшается.

Применение смазки, снижая требуемое усилие прессования, дает возможность прессовать металл при невысокой температуре и с повышенными скоростями.

Смазки

Единственный недостаток из наиболее существенных прямого прессования — вредное действие сил трения можно существенно уменьшить при использовании смазки. Смазку наносят на стенки контейнера либо в плоскость заготовки — в зависимости от условий процесса и вида смазки. Снижение сил трения способствует сокращению неравномерности деформации и требуемого давления прессования.

Это дает возможность сократить начальную температуру нагрева заготовок и прессовать их при более высоких скоростях истечения. Последнее важно для прессования заготовок труднодеформируемых алюминиевых сплавов, у которых скорость истечения не слишком велика.

Прессование со смазкой, кроме того делает лучше высококачественные свойства пресс-изделий - уменьшается неровность структуры и свойств по поперечному сечению, увеличивается устойчивость размеров.

1.4 Характеристика материала

Сталь 45

На производство поставляется огромное количество разных сталей, которые характеризуются своими определенными свойствами. Примером

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|------------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 – ОР.ЗП | Лист |
| | | | | | | 14 |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | |

можно назвать материал сталь 45, который получил широкое применение. Эта сталь характеризуется определенными эксплуатационными качествами, которые стоит рассматривать. Марка характеризуется сравнительно низкой ценой, а расшифровка марки стали определяет широкое ее распространение.

Химический состав

Во много эксплуатационные и другие качества определяются химическим составом. Это связано с тем, что некоторые элементы способны существенно повысить прочность, другие увеличивают хрупкость. Химический состав стали 45 характеризуется присутствием следующих элементов:

- железо (Fe) — до 97%;
- углерод (C) — от 0,42% до 0,5%;
- кремний (Si) — от 0,17% до 0,37%;
- хром (Cr) — до 0,25%;
- марганец (Mn) — от 0,5% до 0,8%;
- никель (Ni) – до 0,25%;
- медь (Cu) – до 0,25%;
- фосфор (P) – до 0,035%;
- сера (S) - до 0,04%;
- мышьяк (As)- до 0,8%.

Свойства материала

Механические свойства стали 45 определяют обширное распространение данного металла. Концентрация углерода составляет 0,45%, другие примеси весьма незначительны. Это во многом определяет следующие свойства:

Плотность стали 45 или удельный вес составляет 7826 кг/м³. Из-за этого обеспечивается низкий коэффициент получаемых изделий, но легкими их не назовешь. Плотность может незначительно различаться в зависимости от химического состава.

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|------------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 – ОР.ЗП | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 15 |

Очень часто ведется поставка заготовок после термической обработки. Она значительно увеличивает прочность поверхности. Этот момент также определяет то, что прочность стали 45 в состоянии поставки способен варьировать в достаточно крупном диапазоне. [10]

Медь М 1

Благодаря антикоррозийным свойствам, стабильности к агрессивным средам и легкости обработки медь – единственный из цветных металлов, более распространенных в промышленности. Материал обладает оптимальной плотностью 8,92 г/см³, значительной электропроводностью и теплопроводностью. У меди М 1 качества обусловлены высокой чистотой сплава, в котором содержание примесей незначительно.

Химический состав меди М 1:

- свинца (Pb) – до 0,005%;
- железа (Fe) – до 0,005%;
- кислорода (O) – до 0,05%;
- серы (S) – не более 0,004%;
- цинка (Zn) – до 0,004%;
- мышьяка (As) – не более 0,002%;
- никеля (Ni) – до 0,002%;
- сурьмы (Sb) – не более 0,002%;
- олова (Sn) – не более 0,002%;
- висмута (Bi) – до 0,001%;
- медь (Cu) — min 99.9%.

Свойства материала

Раскисленная медь М 1 противится коррозии, в том числе в стандартных атмосферных условиях, под влиянием морской и пресной воды, агрессивных сред. Поэтому медная труба М1 зачастую используют для конструкций,

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|------------------|------|
| | | | | | ВКР.2020 – ОР.ЗП | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 16 |

агрегатов и механизмов, трудящихся в трудных обстоятельствах. Только в аммиаке и сернистых газах материал недостаточно устойчив.[10]

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-ОР.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 17 |

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ПРЕССОВАНИЯ В QFORM

QForm- это программа, созданная российскими разработчиками, для моделирования процессов обработки металлов давлением,ковки, штамповки и прессования металла.

Главная отличительная черта программы QForm – расчет больших пластических деформаций.

Область практического применения программы QForm:

- технологические процессы, связанные с формоизменением металлических заготовок;
- металлургическое производство и заготовительное производство в машиностроении.

Цель компьютерного моделирования программы – это проверка технологической оснастки и технологических характеристик.

Преимущество QForm – реализованные в программе инструменты дают возможность быстро, точно и детально описать моделируемый процесс; всесторонне исследовать вычисленные итоги.[6]

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 18 |

2.1 Процесс прессования с углом канала 60° без скругленных кромок, материал сталь 45

Материал заготовки – Сталь 45

Размер заготовки диаметр – 100 мм

Длина заготовки – 400 мм

Диаметр прутка после прессования – 30 мм

Тип оборудования – Гидравлический пресс с усилием 50 МН

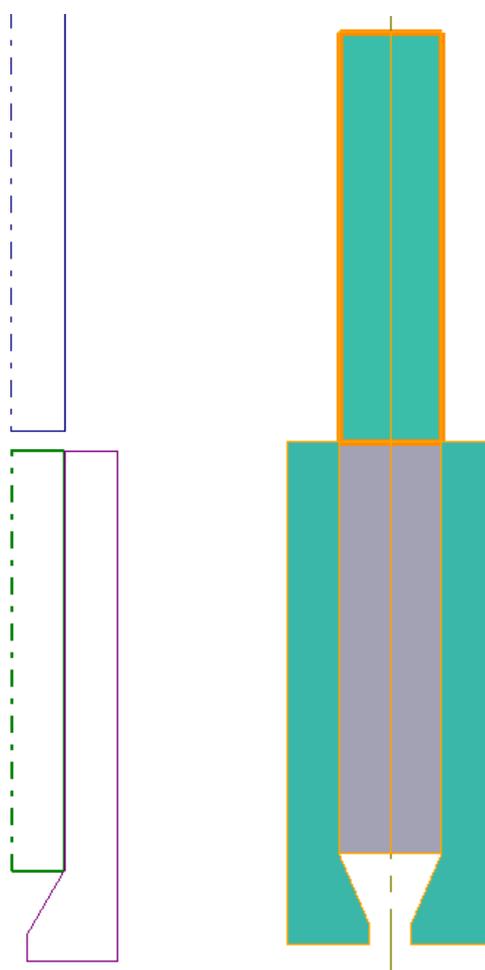
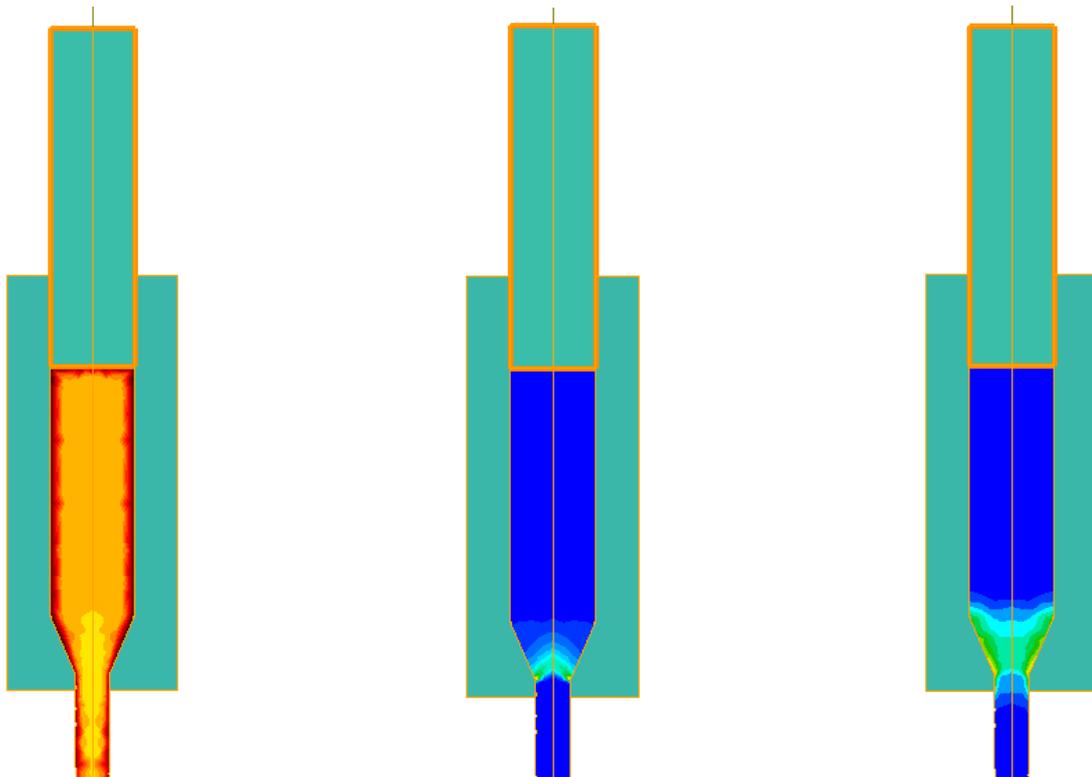


Рисунок 2.1.1 – Схема заготовки и инструмента в начальном положении

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 19 |

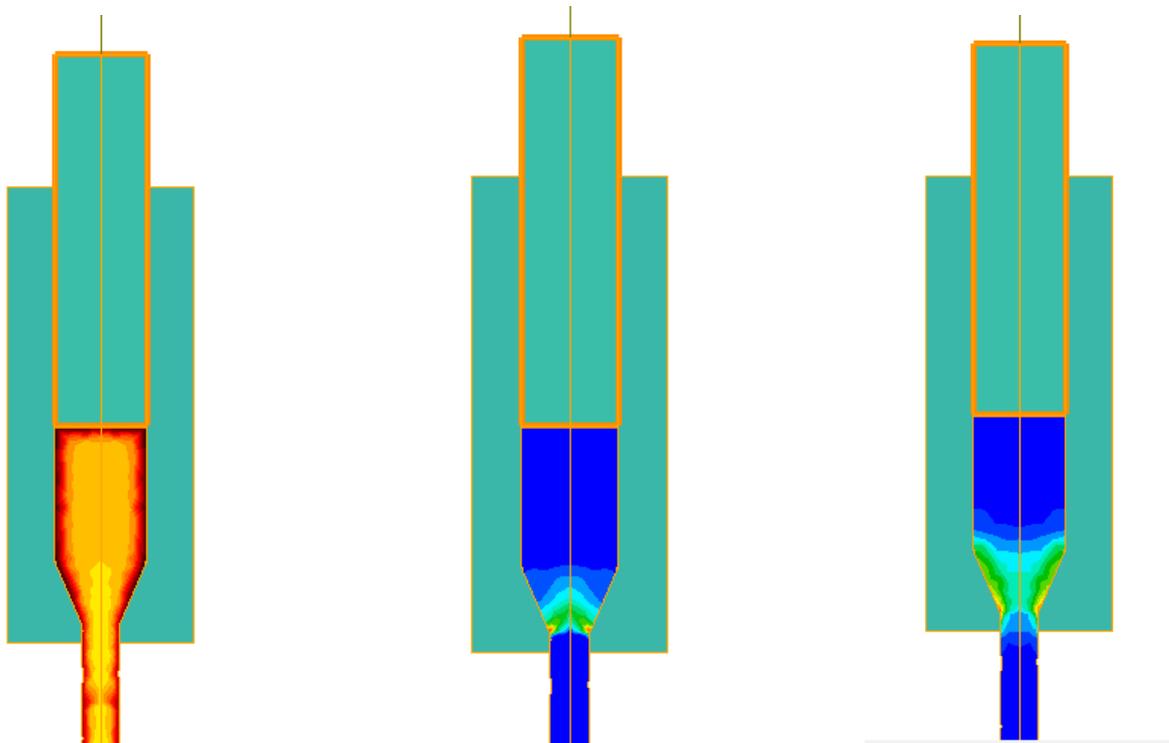


Температура

Скорость деформации

Интенсивность напряжений

Рисунок 2.1.2 – Начальная стадия прессования



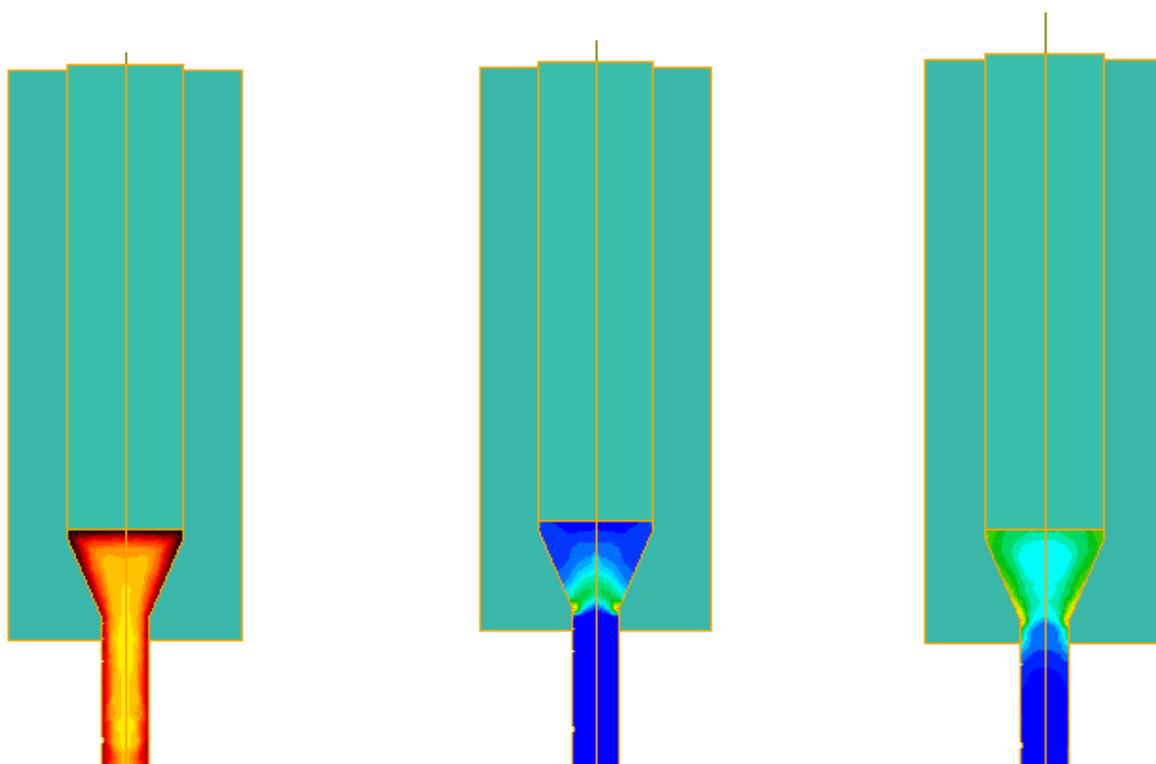
Температура

Скорость деформации

Интенсивность напряжений

Рисунок 2.1.3 – Промежуточный этап процесса

| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |



Температура

Скорость деформации

Интенсивность напряжений

Рисунок 2.1.4 – Окончательный этап процесса

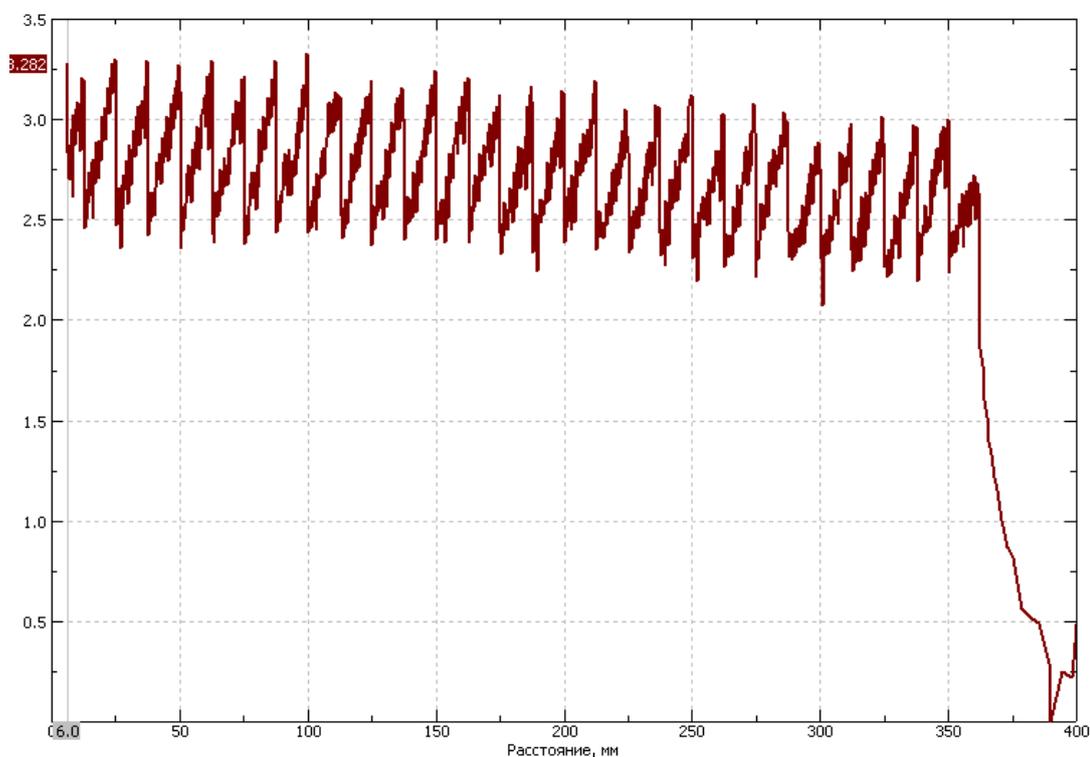


Рисунок 2.1.5 – График усилия прессования в зависимости от хода пуансона

| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |

В начале прессования максимальная температура 1226 градусов, минимальная температура 700 градусов, скорость деформации 19 м/с - скорость перемещения пуансона, интенсивность напряжений 224,6 МПа. В конце прессования максимальная температура 1221 градус, минимальная температура 622 градусов, скорость деформации 18 м/с, интенсивность напряжений 281 МПа. Из графика усилия прессования в зависимости от хода пуансона (рисунок 2.1.5) видно, что средний коэффициент напряжённости равен 3,2.

2.2 Процесс прессования с углом канала 60° со скругленными кромками, материал сталь 45

Материал заготовки – Сталь 45

Размер заготовки диаметр – 100 мм

Длина заготовки – 400 мм

Диаметр прутка после прессования – 30 мм

Тип оборудования – Гидравлический пресс с усилием 50 МН

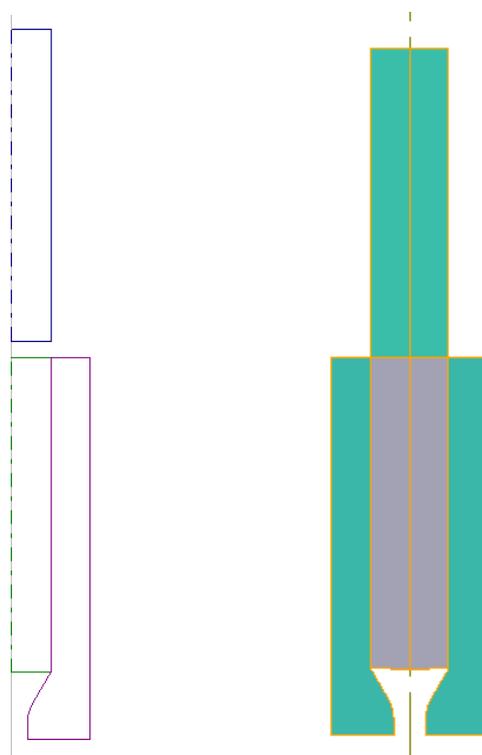
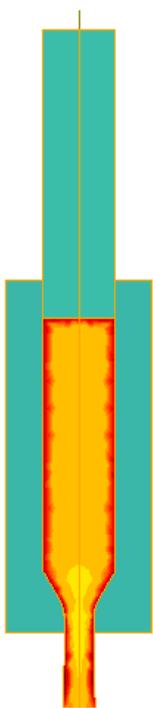
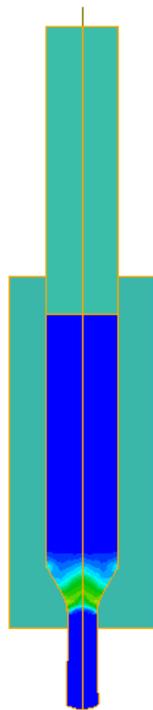


Рисунок 2.2.1 – Схема заготовки и инструмента в начальном положении

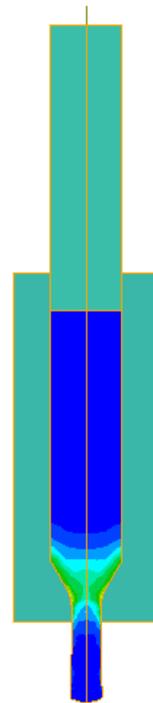
| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 22 |



Температура

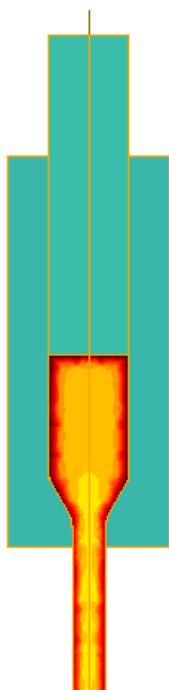


Скорость деформации

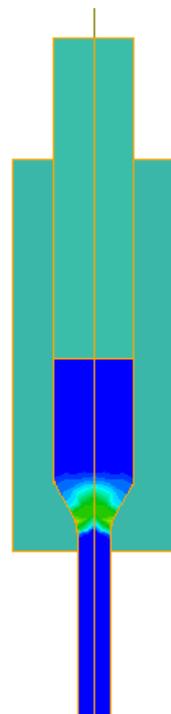


Интен. напряжений

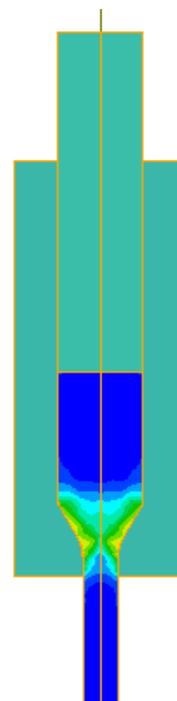
Рисунок 2.2.2 – Начальная стадия прессования



Температура



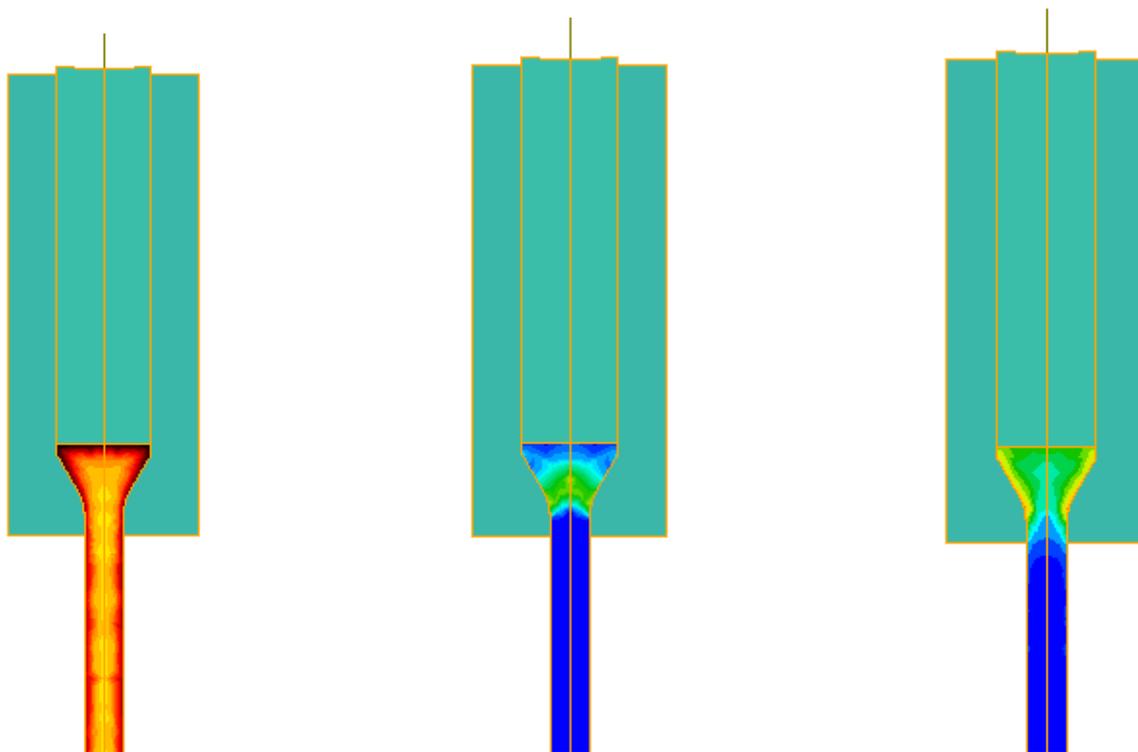
Скорость деформации



Интен. напряжений

Рисунок 2.2.3 – Промежуточный этап

| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |



Температура

Скорость деформации

Интен. напряжений

Рисунок 2.2.4 – Окончание процесса

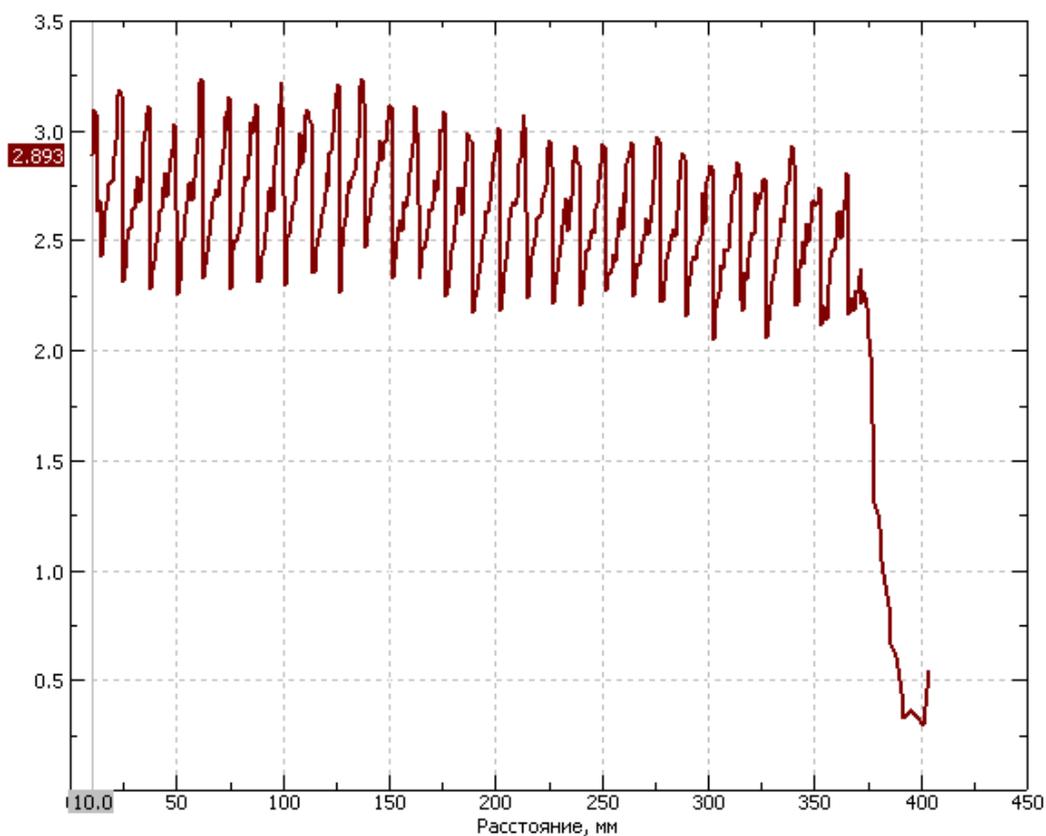


Рисунок 2.2.5 – График усилия прессования в зависимости от хода пуансона

В начале прессования максимальная температура 1227 градусов, минимальная температура 608 градусов, скорость деформации 9,35 м/с- скорость перемещения пуансона, интенсивность напряжений 226,47 МПа. В конце прессования максимальная температура 1227 градусов, минимальная температура 608 градусов, скорость деформации 9м/с, интенсивность напряжений 226 МПа. Из графика усилия прессования в зависимости от хода пуансона (рисунок 2.2.5) видно, что средний коэффициент напряжённости равен 2,89. Из автоматических расчётов в QFORM видно, что напряжение в матрице со скругленными кромками меньше, чем в матрице без скругленных кромок.

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 25 |

2.3 Процесс прессования с углом канала 120° без скругленных кромок, материал сталь 45

Материал заготовки – Сталь 45

Размер заготовки диаметр – 100 мм

Длина заготовки – 400 мм

Диаметр прутка после прессования – 30 мм

Тип оборудования – Гидравлический пресс с усилием 50 МН

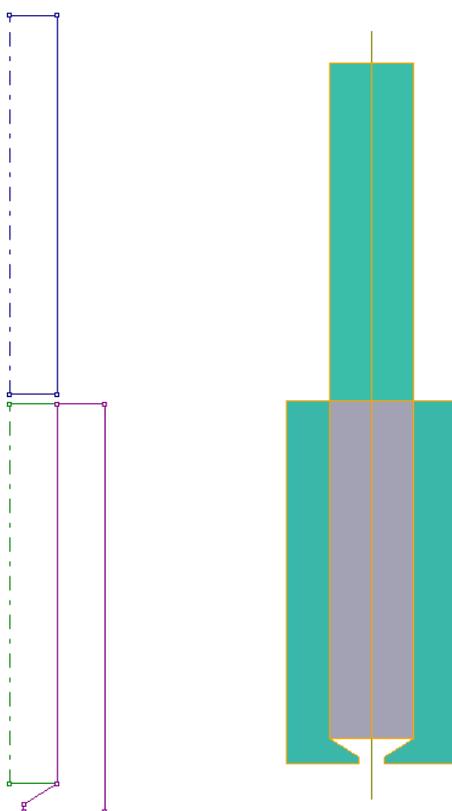
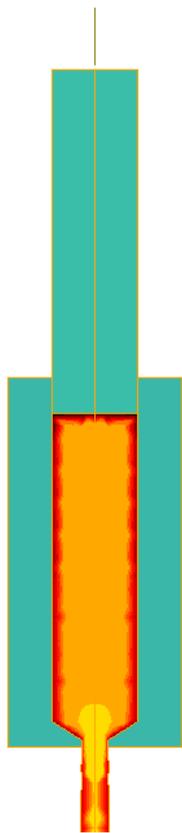
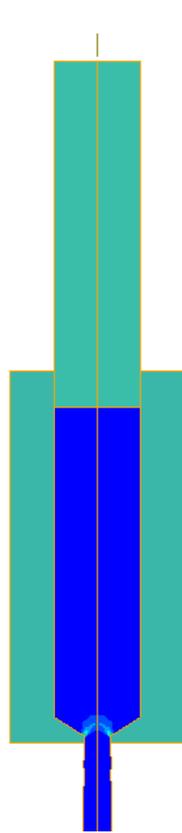


Рисунок 2.3.1 – Схема заготовки и инструмента в начальном положении

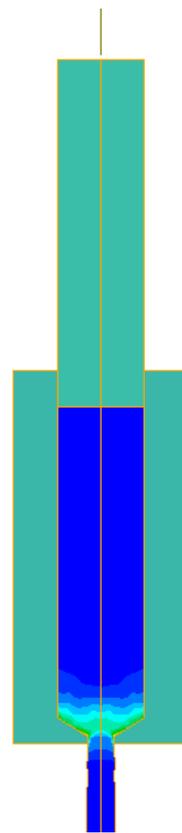
| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 26 |



Температура

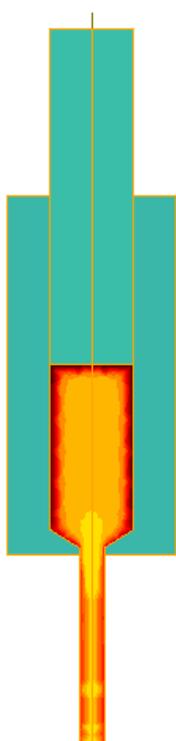


Скорость деформации

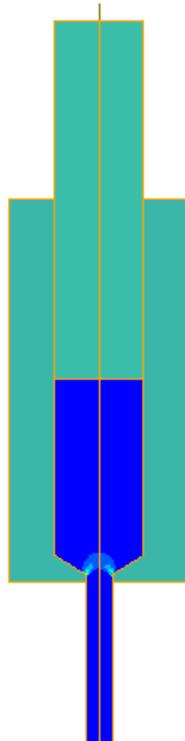


Интен. напряжений

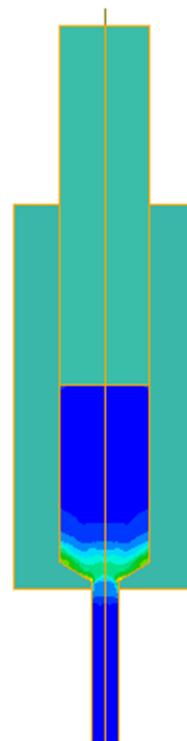
Рисунок 2.3.2 – Начальная стадия прессования



Температура



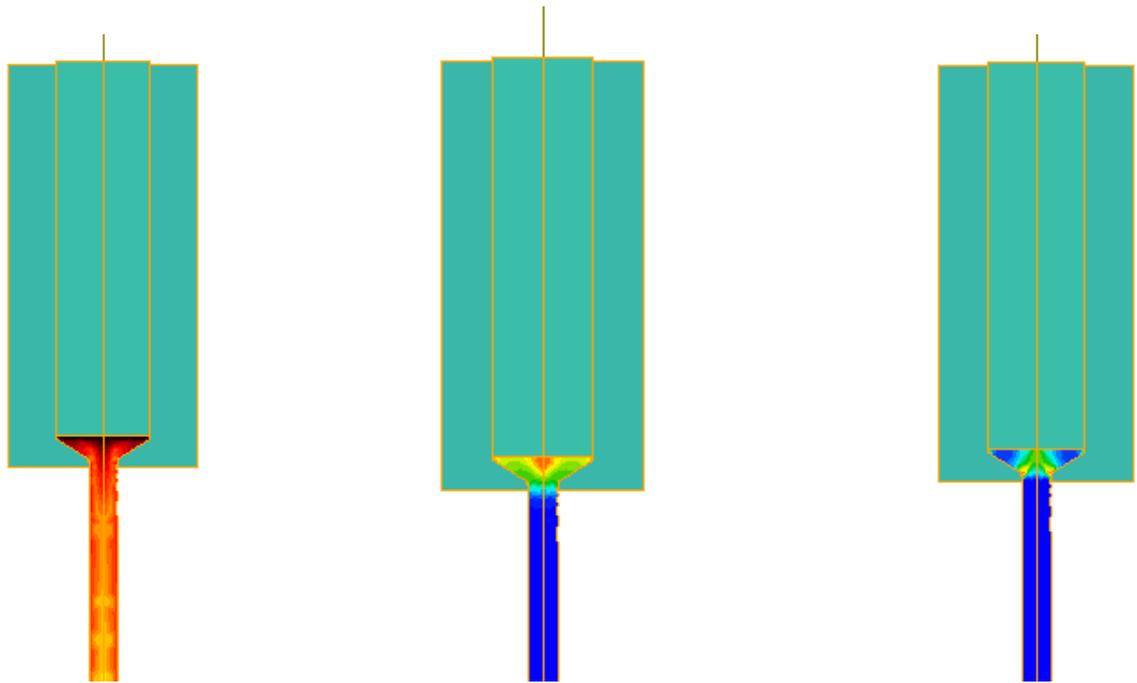
Скорость деформации



Интен. напряжений

| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |

Рисунок 2.3.3 – Промежуточный этап



Температура

Скорость деформации

Интен. напряжений

Рисунок 2.3.4 – Окончание процесса

Инструмент 1 1.31.05.20 - Усилие, МН

Инструмент 1 1.31.05.20 - Уси

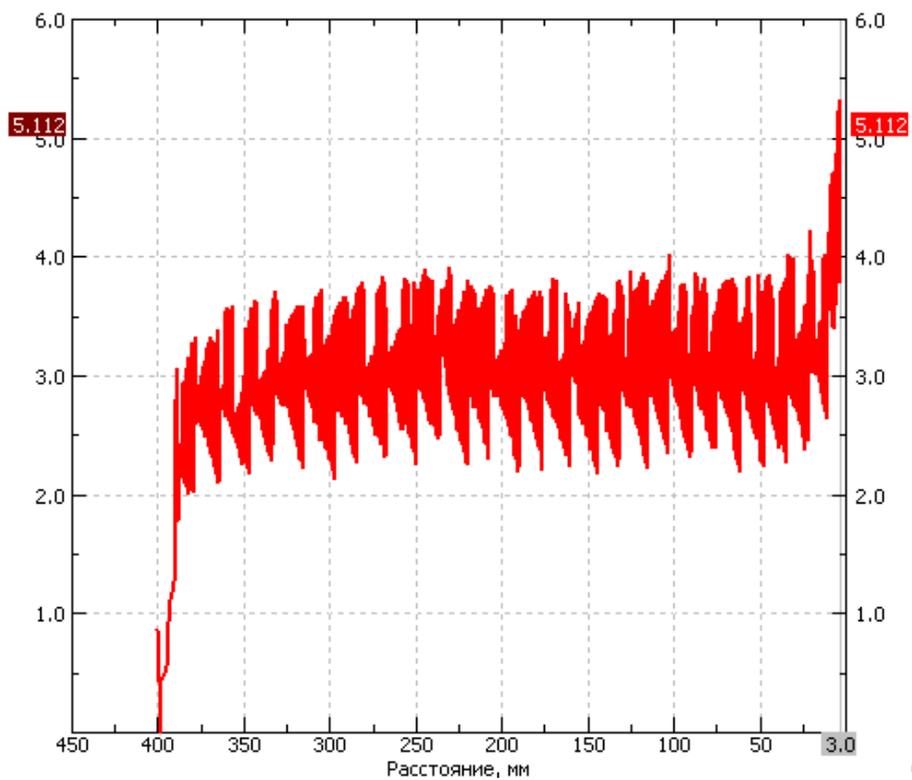


Рисунок 2.3.5 – График усилия прессования в зависимости от хода пуансона

| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |

ВКР.2020-ВВ

Лист

28

В начале прессования максимальная температура 1236 градусов, минимальная температура 631 градусов, скорость деформации 13,2 м/с, интенсивность напряжений 289,8 МПа. В конце прессования максимальная температура 1217 градусов, минимальная температура 640,7 градусов, скорость деформации 34,3 м/с, интенсивность напряжений 311,7 МПа. Из графика усилия прессования в зависимости от хода пуансона (рисунок 2.3.5) видно, что средний коэффициент напряжённости равен 5,1.

2.4 Процесс прессования с углом канала 120° со скругленными кромками, материал сталь 45

Материал заготовки – Сталь 45

Размер заготовки диаметр – 100 мм

Длина заготовки – 400 мм

Диаметр прутка после прессования – 30 мм

Тип оборудования – Гидравлический пресс с усилием 50 МН

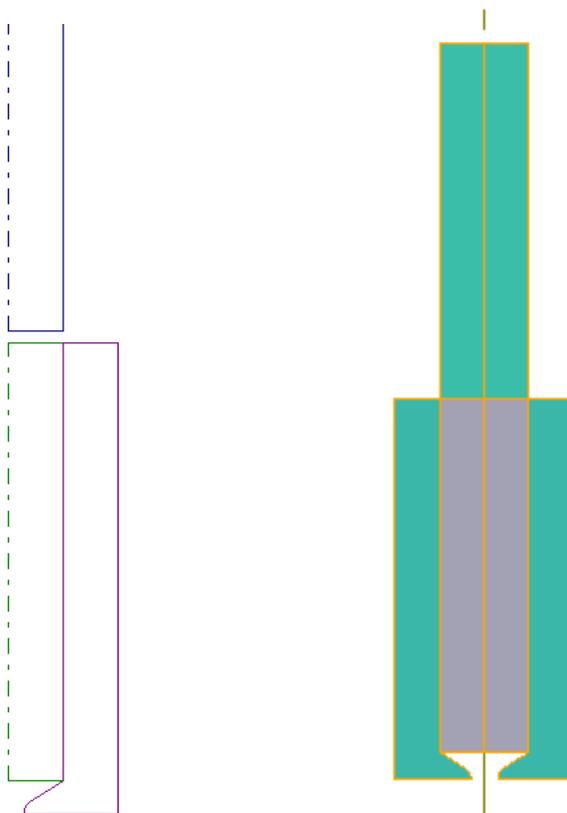
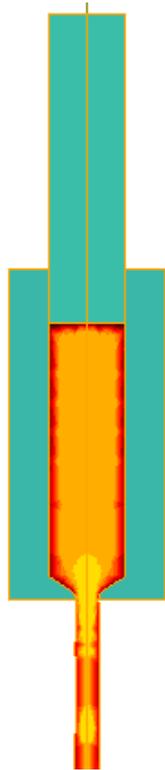
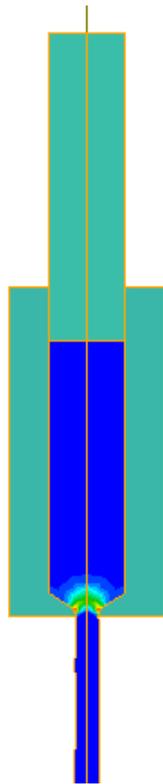


Рисунок 2.4.1 – Схема заготовки и инструмента в начальном положении

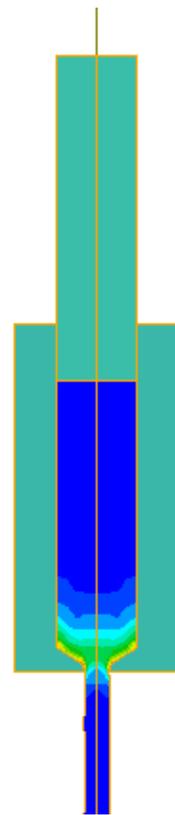
| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 29 |



Температура

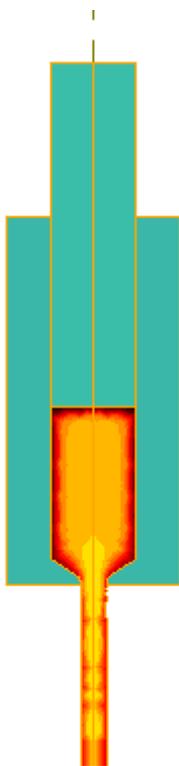


Скорость деформации

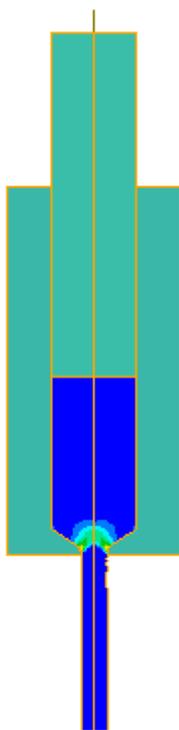


Интен. напряжений

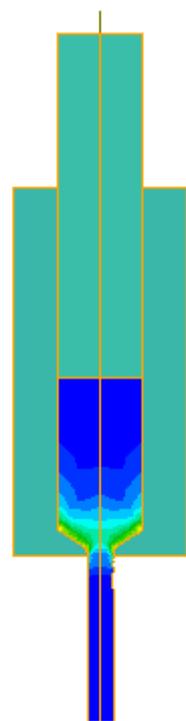
Рисунок 2.4.2 - Начальная стадия прессования



Температура



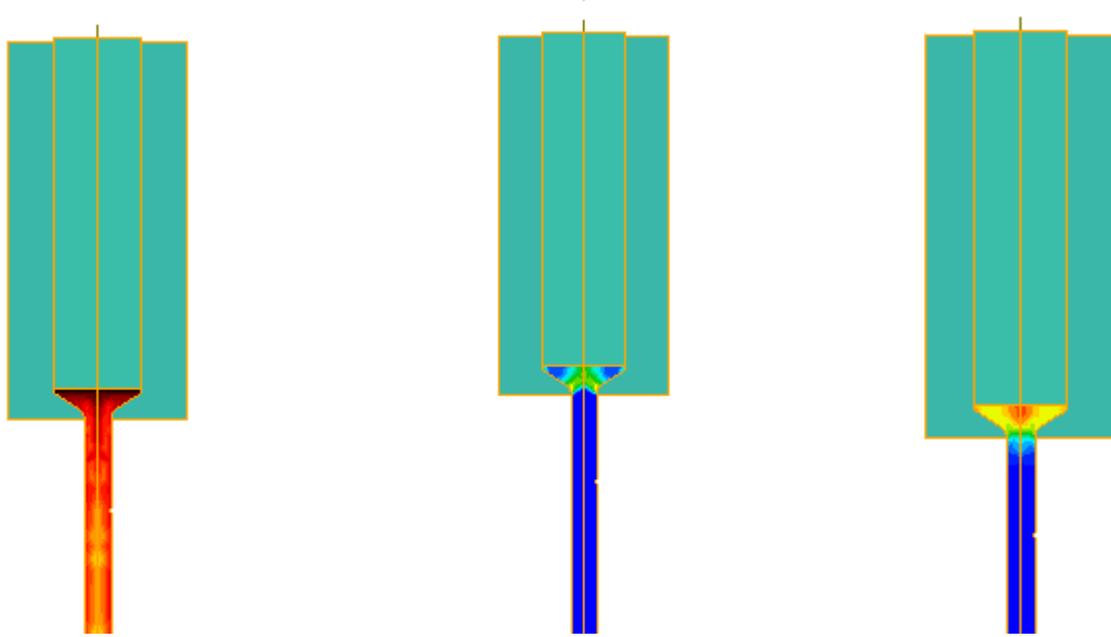
Скорость деформации



Интен. напряжений

| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |

Рисунок 2.4.3 – Промежуточный этап



Температура

Скорость деформации

Интен. напряжений

Рисунок 2.4.4 – Окончание процесса

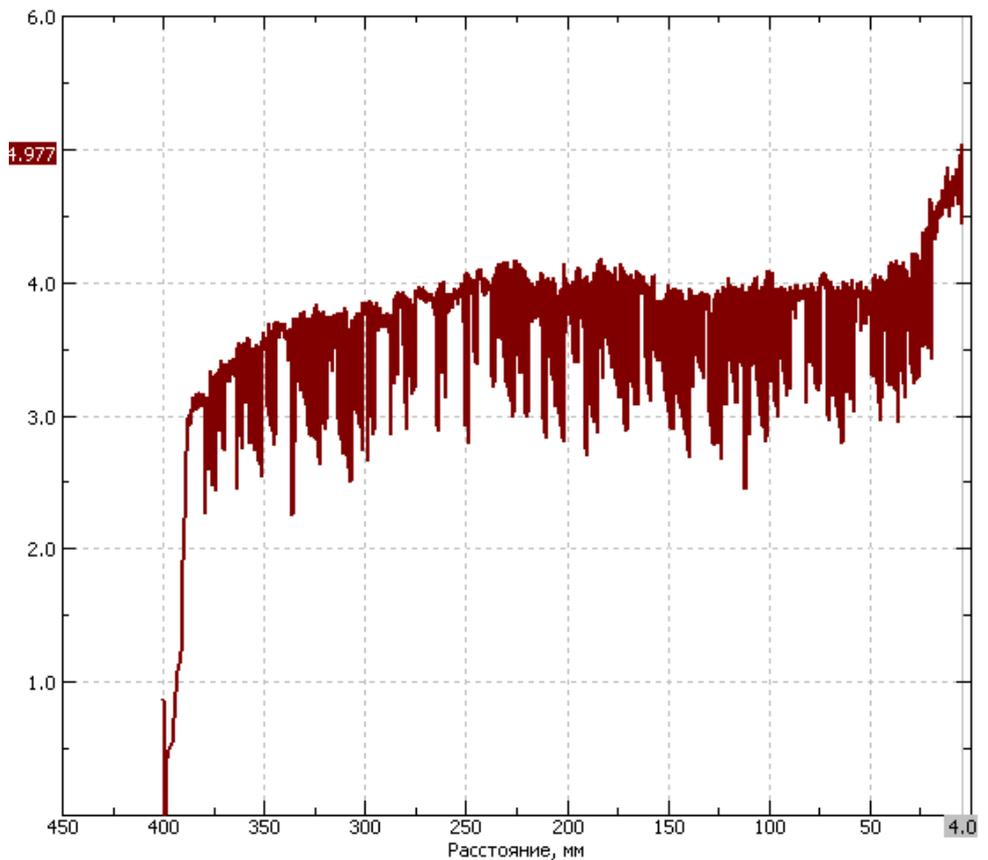


Рисунок 2.4.5 – График усилия прессования в зависимости от хода пунсона

В начале прессования максимальная температура 1237 градусов, минимальная температура 688 градусов, скорость деформации 30,9м/с, интенсивность напряжений 227,5 МПа. В конце прессования максимальная температура 1219 градусов, минимальная температура 626 градусов, скорость деформации 26,8 м/с, интенсивность напряжений 29,7 МПа. Из графика усилия прессования в зависимости от хода пуансона (рисунок 2.4.5) видно, что средний коэффициент напряжённости равен 4,9 . Из автоматических расчётов в QFORM видно, что напряжение в матрице со скругленными кромками меньше, чем в матрице без скругленных кромок.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|--------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ Документа</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 32 |

2.5 Процесс прессования с углом канала 60° без скругленных кромок, материал медь М 1

Материал заготовки – Медь М 1

Размер заготовки диаметр – 100 мм

Длина заготовки – 400 мм

Диаметр прутка после прессования – 30 мм

Тип оборудования – Гидравлический пресс с усилием 50 МН

Смазка – Мыльная вода

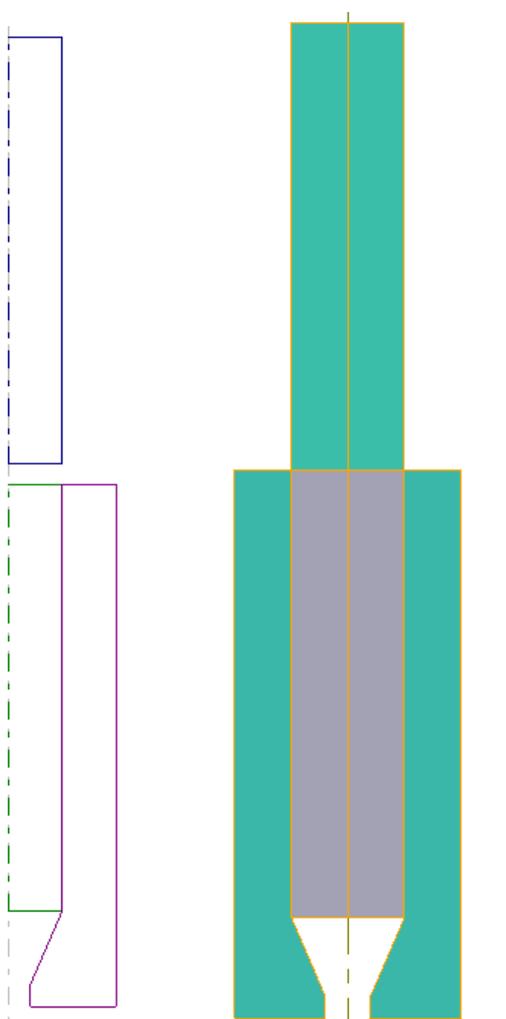
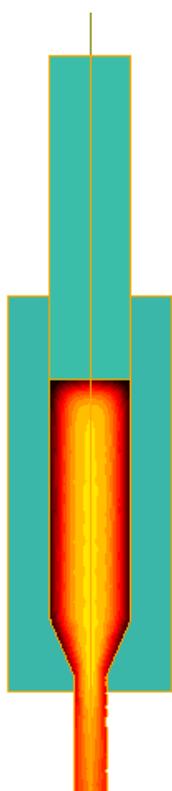
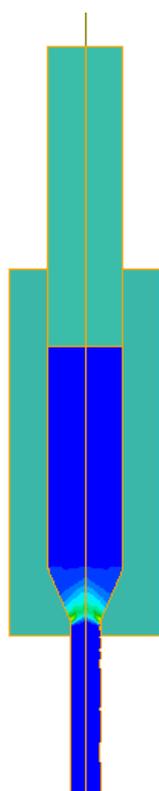


Рисунок 2.5.1 – Схема заготовки и инструмента в начальном положении

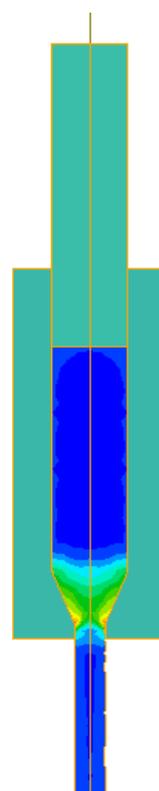
| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 33 |



Температура

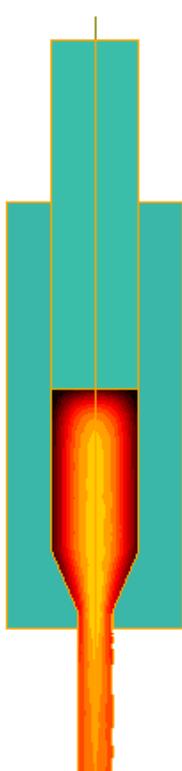


Скорость деформации

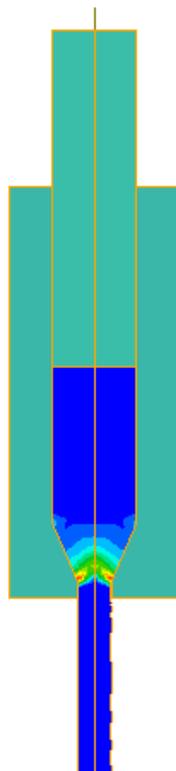


Интен. напряжений

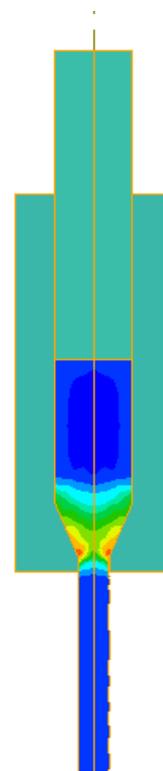
Рисунок 2.5.2 – Начальная стадия прессования



Температура



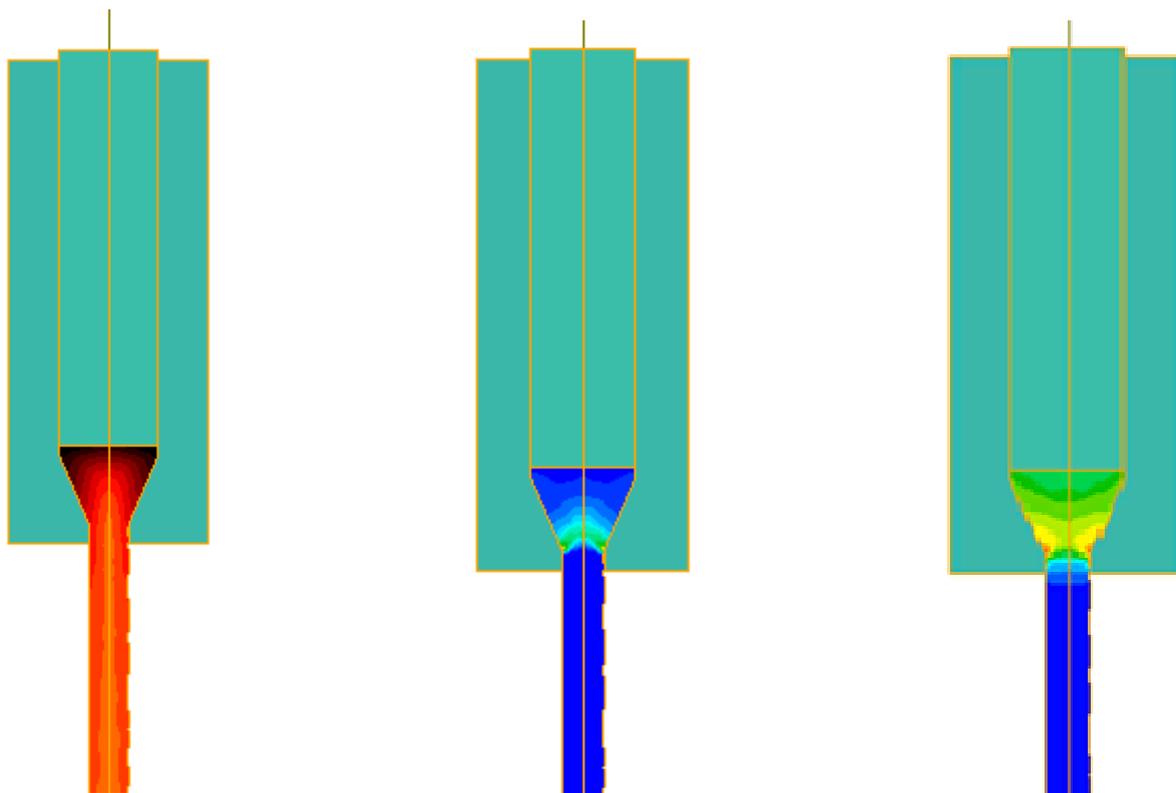
Скорость деформации



Интен. напряжений

| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |

Рисунок 2.5.3 – Промежуточный этап

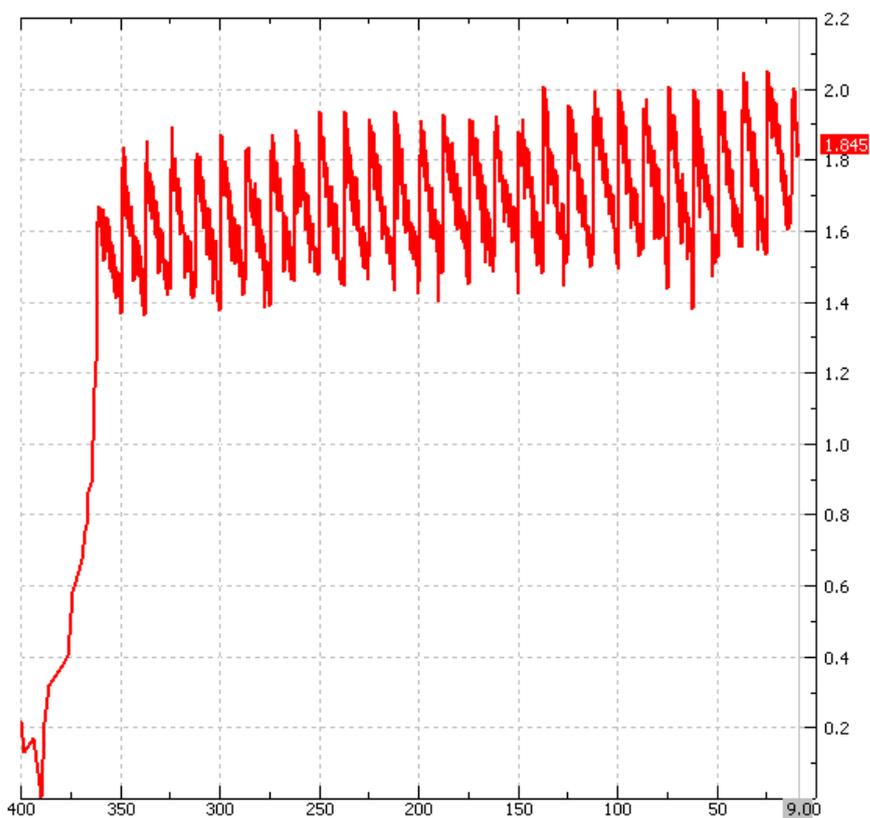


Температура

Скорость деформации

Интен. напряжений

Рисунок 2.5.4 – Окончание процесса



| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |

ВКР.2020-СЧ.ПЗ

Лист

35

Рисунок 2.5.5 – График усилия прессования в зависимости от хода пуансона

В начале прессования максимальная температура 873,6 градусов, минимальная температура 607 градусов, скорость деформации 17,2 м/с, интенсивность напряжений 121 МПа. В конце прессования максимальная температура 786,9 градусов, минимальная температура 561,5 градусов, скорость деформации 18,7 м/с, интенсивность напряжений 128,9 МПа. Из графика усилия прессования в зависимости от хода пуансона (рисунок 2.5.5) видно, что средний коэффициент напряжённости равен 1,845.

2.6 Процесс прессования с углом канала 60° со скругленными кромками, материал медь М 1

Материал заготовки – Медь М 1

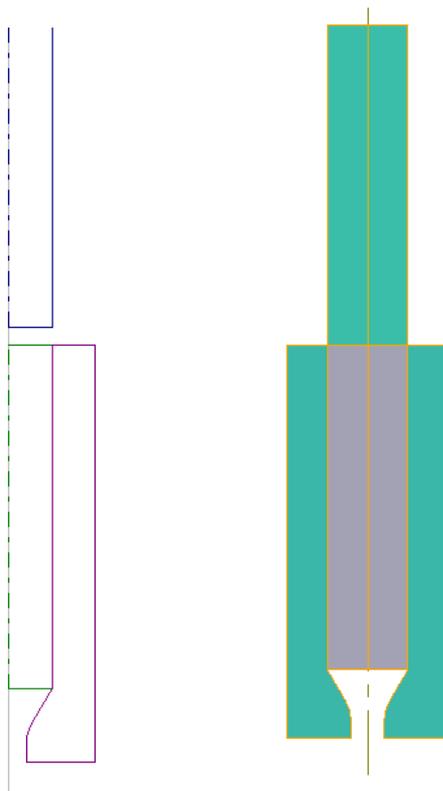
Размер заготовки диаметр – 100 мм

Длина заготовки – 400 мм

Диаметр прутка после прессования – 30 мм

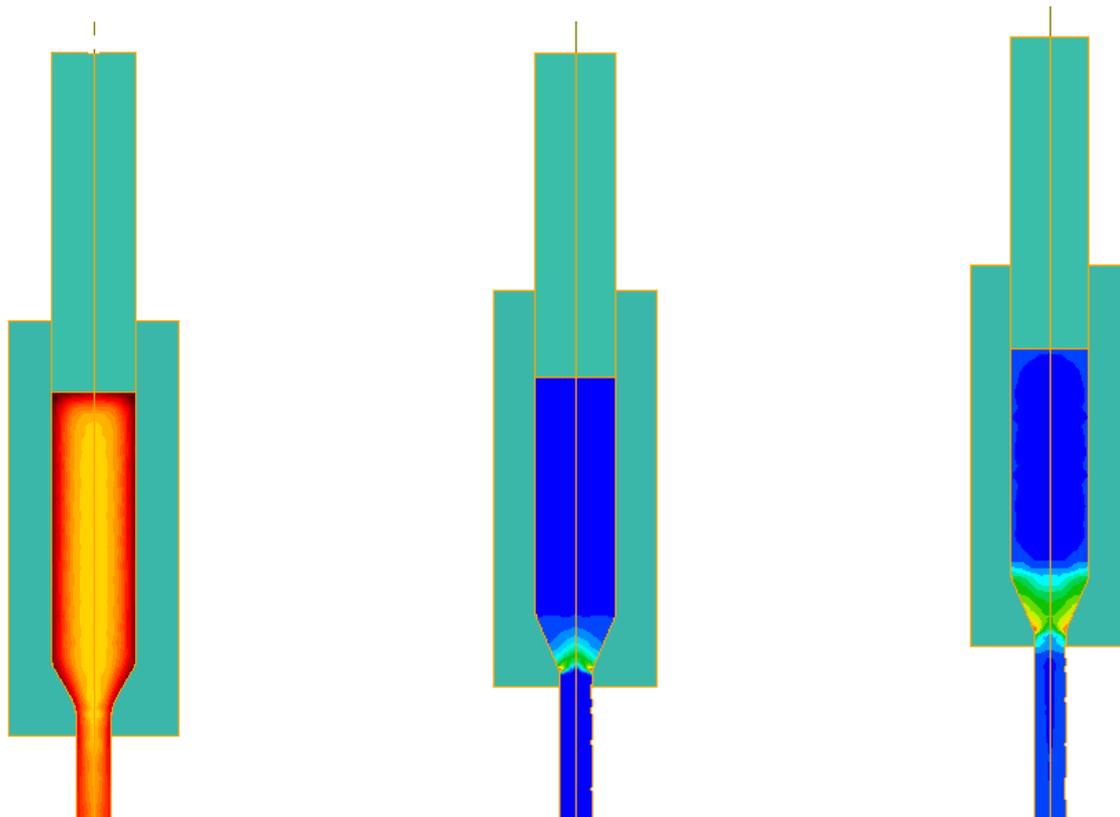
Тип оборудования – Гидравлический пресс с усилием 50 МН

Смазка – Мыльная вода



| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 36 |

Рисунок 2.6.1 – Схема заготовки и инструмента в начальном положении

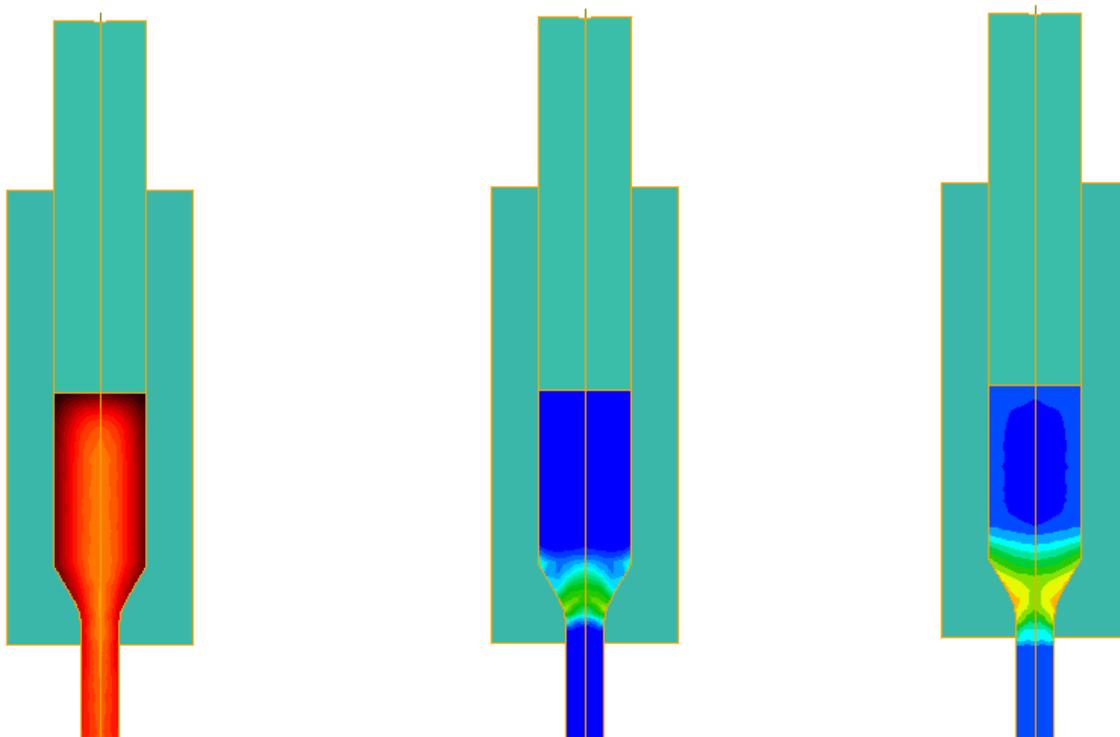


Температура

Скорость деформации

Интен. напряжений

Рисунок 2.6.2 – Начальная стадия прессования



| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |

ВКР.2020-СЧ.ПЗ

Лист

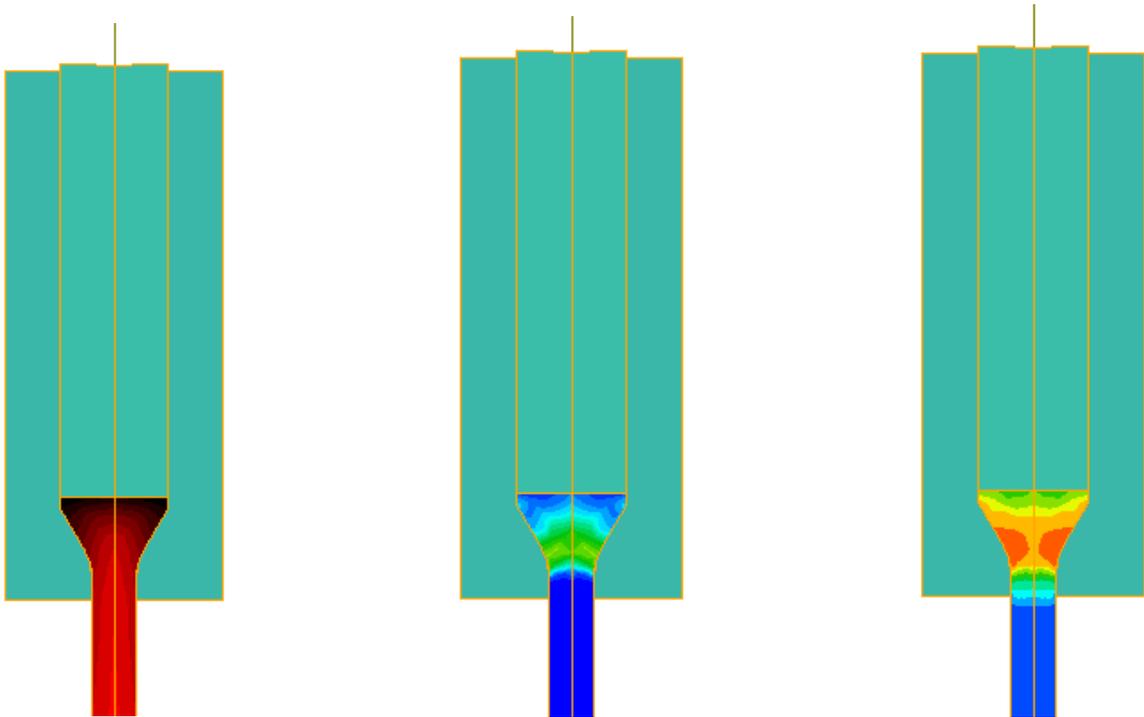
37

Температура

Скорость деформации

Интенсивность напряжений

Рисунок 2.6.3 – Промежуточный этап

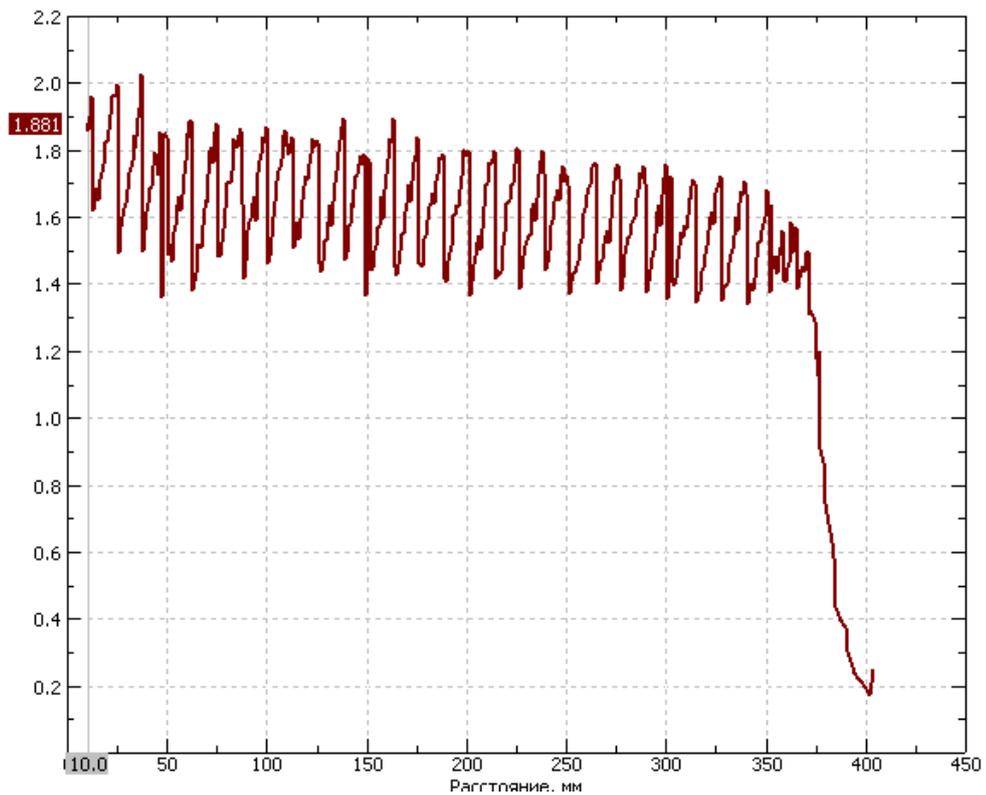


Температура

Скорость деформации

Интенсивность напряжений

Рисунок 2.6.4 – Окончание процесса



| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |

ВКР.2020-СЧ.ПЗ

Лист

38

Рисунок 2.6.5 – График усилия прессования в зависимости от хода пунсона

В начале прессования максимальная температура 889 градусов, минимальная температура 559,9 градусов, скорость деформации 9,3 м/с, интенсивность напряжений 109 МПа. В конце прессования максимальная температура 889 градусов, минимальная температура 559 градусов, скорость деформации 9,3 м/с, интенсивность напряжений 109 МПа. Из графика усилия прессования в зависимости от хода пуансона (рисунок 2.6.5) видно, что средний коэффициент напряжённости равен 1,881. Из автоматических расчётов в QFORM видно, что напряжение в матрице со скругленными кромками меньше, чем в матрице без скругленных кромок.

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 39 |

2.7 Процесс прессования с углом канала 120° без скругленных кромок, материал медь М 1

Материал заготовки – Медь М 1

Размер заготовки диаметр – 100 мм

Длина заготовки – 400 мм

Диаметр прутка после прессования – 30 мм

Тип оборудования – Гидравлический пресс с усилием 50 МН

Смазка – Мыльная вода

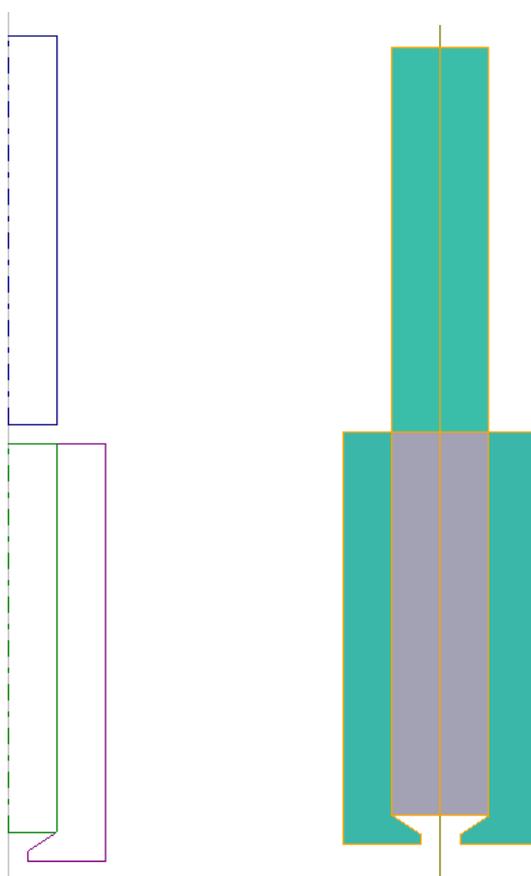
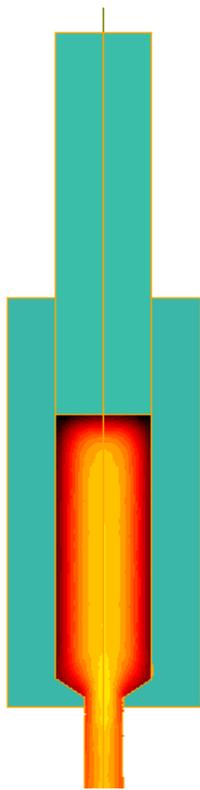
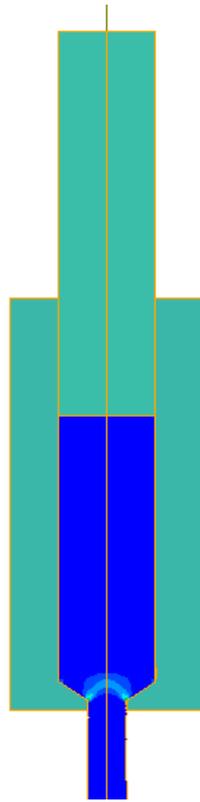


Рисунок 2.7.1 – Схема заготовки и инструмента в начальном положении

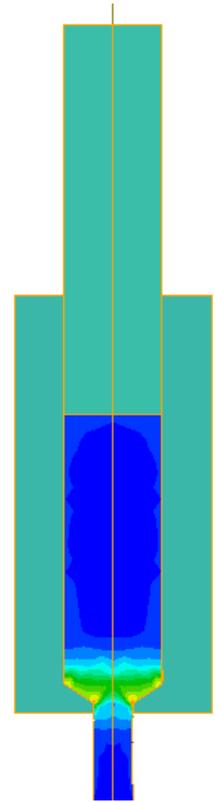
| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 40 |



Температура

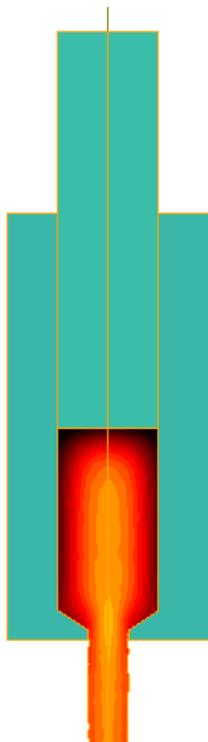


Скорость деформации

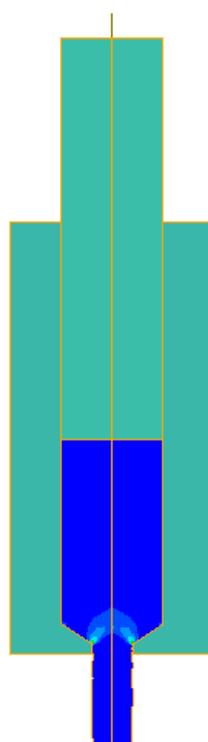


Интенсивность напряжений

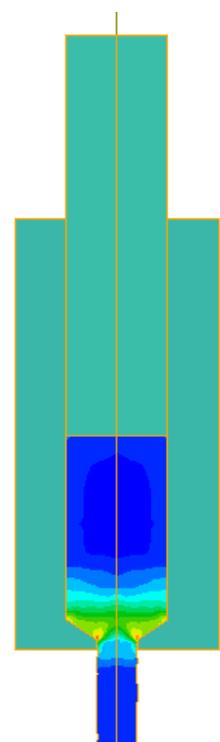
Рисунок 2.7.2– Начальная стадия прессования



Температура



Скорость деформации



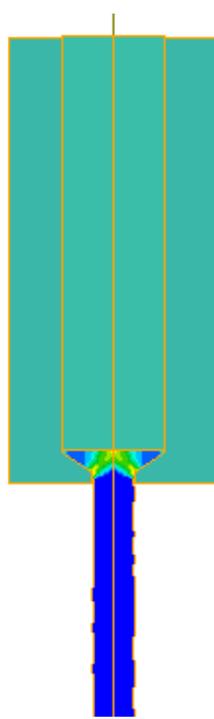
Интенсивность напряжений

Рисунок 2.7.3 – Промежуточный этап

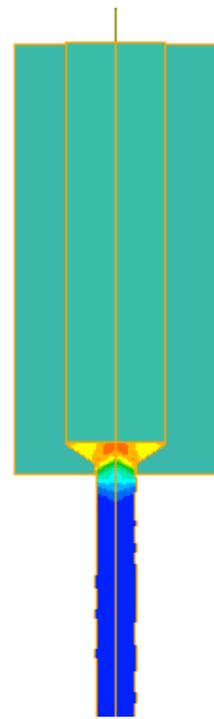
| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |



Температура



Скорость деформации



Интенсивность напряжений

Рисунок 2.7.4 – Окончание процесса

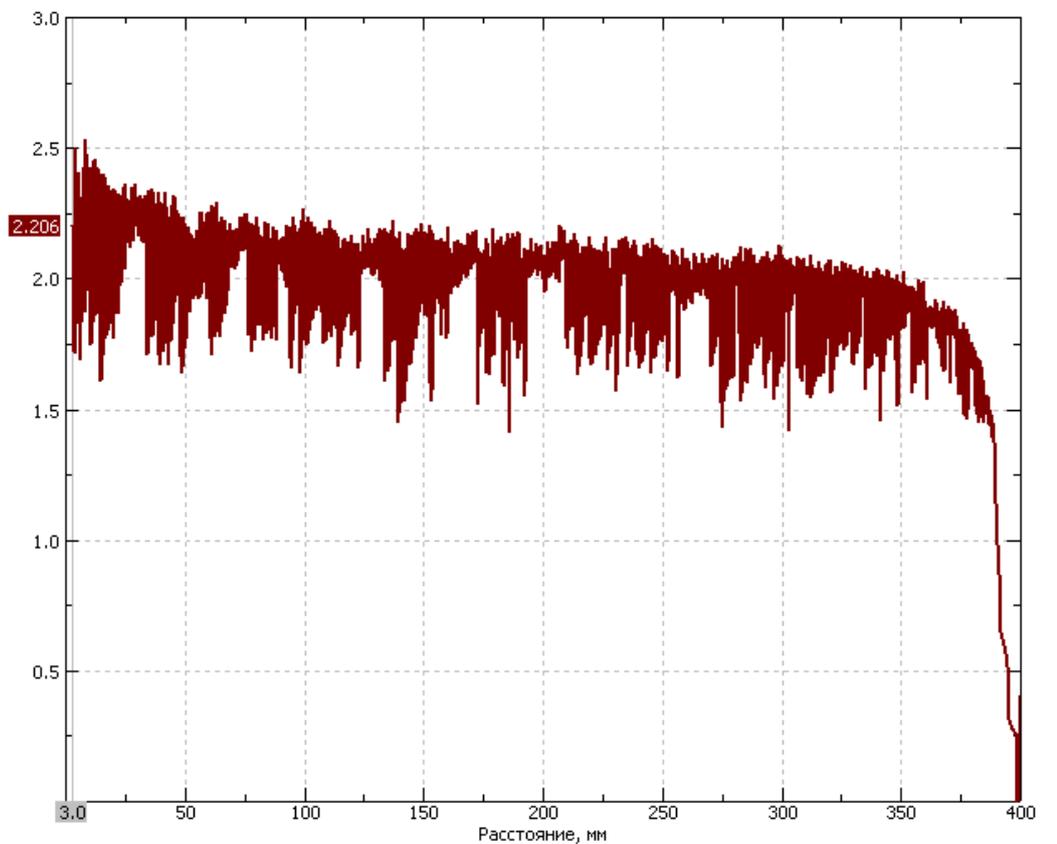


Рисунок 2.7.5 – График усилия прессования в зависимости от хода пуансона

| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |

В начале прессования максимальная температура 875,4 градусов, минимальная температура 578 градусов, скорость деформации 17,7 м/с, интенсивность напряжений 139,5МПа. В конце прессования максимальная температура 851,3 градусов, минимальная температура 567 градусов, скорость деформации 21 м/с, интенсивность напряжений 145 МПа. Из графика усилия прессования в зависимости от хода пуансона (рисунок 2.7.5) видно, что средний коэффициент напряжённости равен 2,2.

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 43 |

2.8 Процесс прессования с углом канала 120° со скругленными кромками, материал медь М 1

Материал заготовки – Медь М 1

Размер заготовки диаметр – 100 мм

Длина заготовки – 400 мм

Диаметр прутка после прессования – 30 мм

Тип оборудования – Гидравлический пресс с усилием 50 МН

Смазка – Мыльная вода

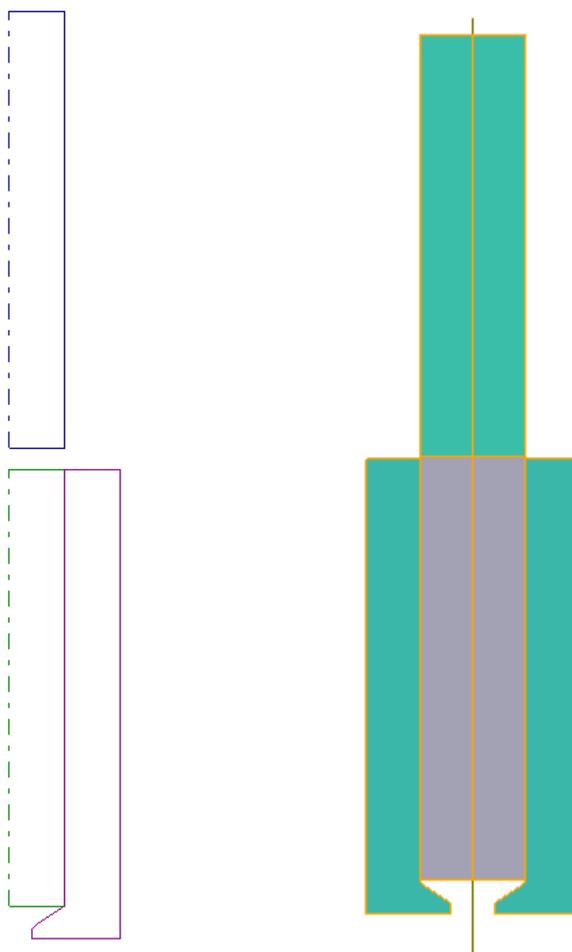
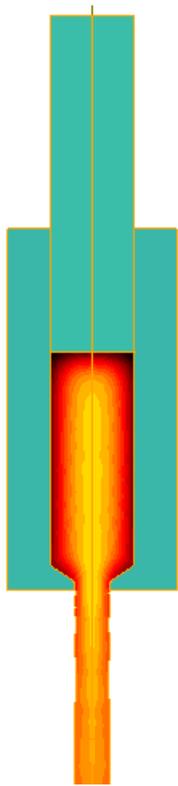
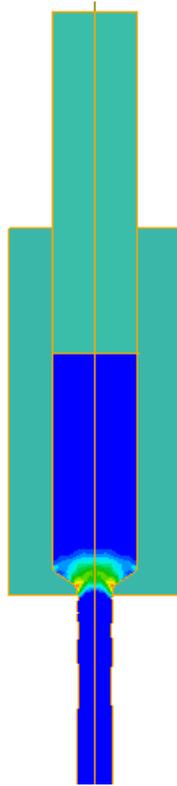


Рисунок 2.8.1 – Схема заготовки и инструмента в начальном положении

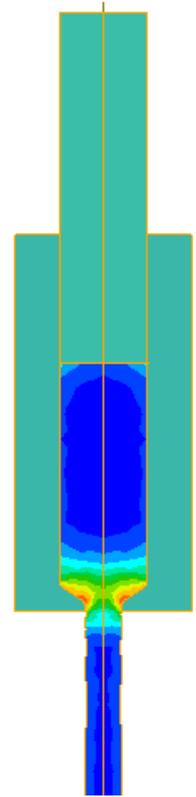
| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 44 |



Температура

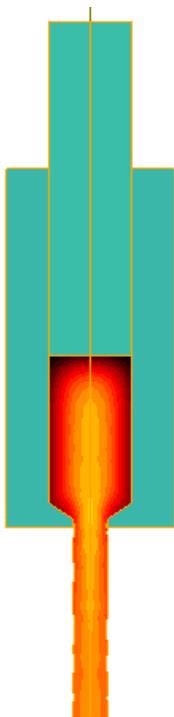


Скорость деформации

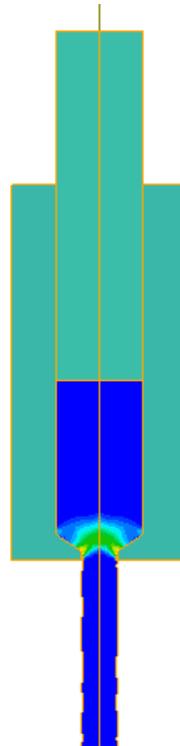


Интенсивность напряжений

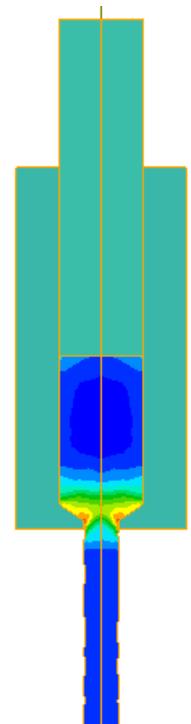
Рисунок 2.8.2 – Начальная стадия прессования



Температура



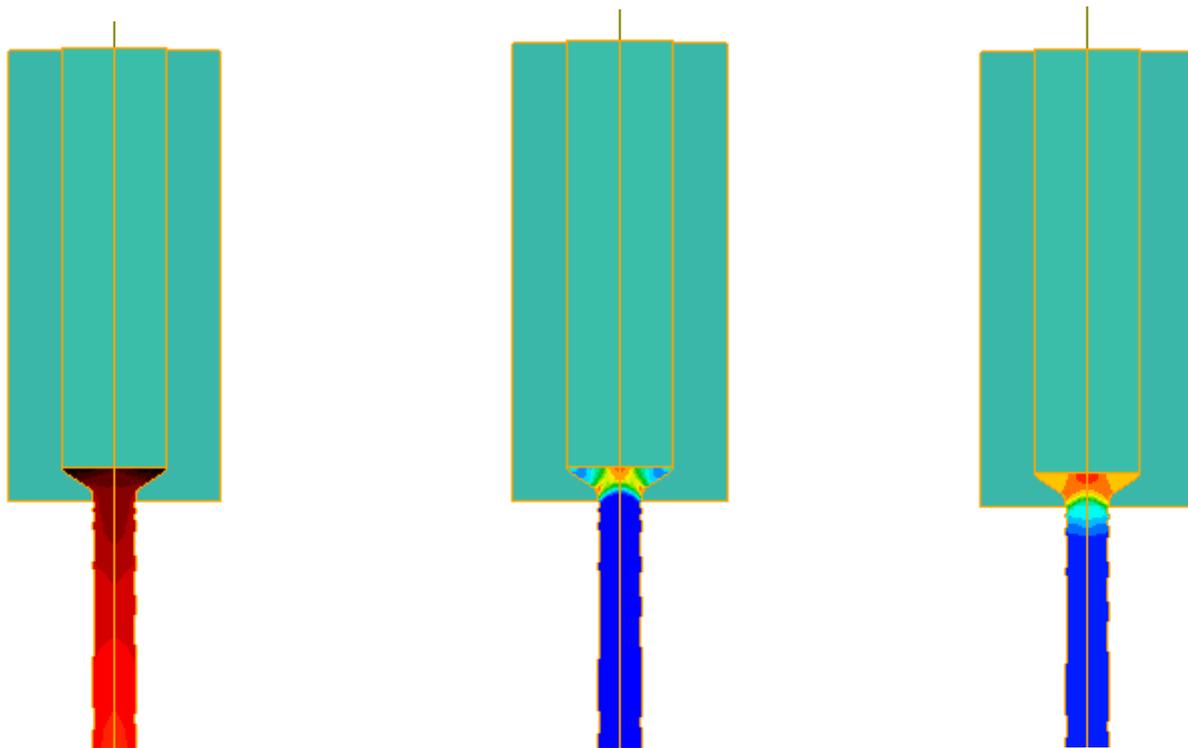
Скорость деформации



Интенсивность напряжений

Рисунок 2.8.3 – Промежуточный этап

| | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата |



Температура

Скорость деформации

Интенсивность напряжений

Рисунок 2.8.4 - Окончание процесса

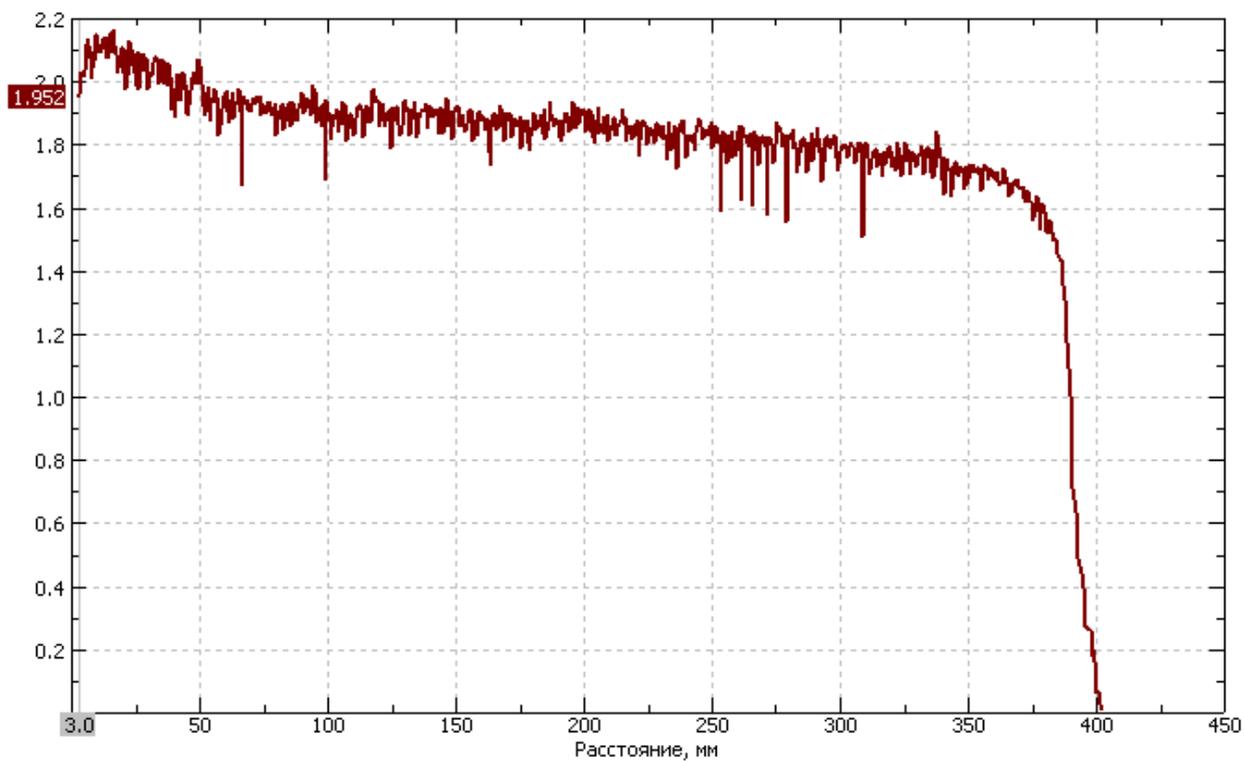


Рисунок 2.8.5 – График усилия прессования в зависимости от хода пуансона

В начале прессования максимальная температура 862 градусов, минимальная температура 572,9 градусов, скорость деформации 13,6 м/с, интенсивность напряжений 110,3 МПа. В конце прессования максимальная температура 832 градусов, минимальная температура 571 градусов, скорость деформации 14 м/с, интенсивность напряжений 134,6 МПа. Из графика усилия прессования в зависимости от хода пуансона (рисунок 2.8.5) видно, что средний коэффициент напряжённости равен 1,952. Из автоматических расчётов в QFORM видно, что напряжение в матрице со скруглением кромок меньше, чем в матрице без скругления кромок.

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-СЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 47 |

3 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Аналитическое определение составляющих полного давления прессования

Прессование с прямым истечением сплошного крупного профиля качественно охватывает все основные силовые условия процесса прессования

Одним из исходных условий, необходимых для силовых расчетов, являются форма и размеры пластической зоны.

За расчетные форму и размеры боковой поверхности обжимающей части пластической зоны при прессовании с прямым истечением крупного сплошного профиля через одноканальную матрицу приняты форма и размеры боковой поверхности усеченного конуса, т.е. при действительном угле α_m канала канонической матрицы меньше или равном 60° высота упругой зоны принимается равным 0, а расчетный угол α_p принимается равным действительному.[3]

При действительном угле канала, превышающей 60° за расчетные принимаются угол 60° и соответствующие расчётная высота упругой зоны и расчетная боковая поверхность канала, т.е.

$$\text{при } \alpha_m \leq 60^\circ \alpha_p = \alpha_m \text{ и } h_{\text{у.з.р.}} = 0;$$

$$\text{при } \alpha_m > 60^\circ \alpha_p = 60^\circ \text{ и}$$

$$h_{\text{у.з.р.}} = \frac{D_H - D_K}{2} (\text{ctg } 60^\circ - \text{ctg } \alpha_m) = \frac{D_H - D_K}{2} (0,58 - \text{ctg } \alpha_m). \quad (3.1.1)$$

$$h_{\text{у.з.р.}} = \left(\frac{100 - 30}{2} \right) * (0,58 - \text{ctg } 120^\circ) = 0$$

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-ИЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 48 |

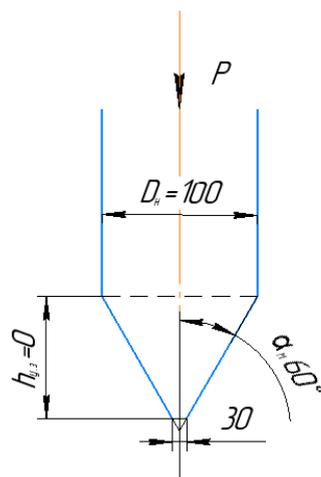


Рисунок 3.1.1 – Схема к определению расчетных форм и размеров боковой поверхности обжимающей части пластической зоны при прессовании с прямым истечением круглого сплошного профиля через одноканальную матрицу.

В практике прессования применяют или конические матрицы, как правило, с углом канала, не превышающий 60° , или плоские, так как силовые условия при матрицах с углом $\alpha > 60^\circ$ при прессовании без смазки почти аналогичны условиям при плоской матрице.

Нормальная сила на пресс-шайбе, необходимая для преодоления сил трения на боковой поверхности контейнера в начале установившегося процесса

Нормальная сила $T_{кр}$ на пресс-шайбе, необходимая для преодоления контактного трения на той части боковой поверхности, на которой смещается (скользит) заготовка, равняется произведению этой поверхности $F_{кр}$ на среднее значение напряжения трения $\tau_{кр}$ в пределах этой поверхности и определяется следующими выражениями.

При отсутствии иглы или трения об иглу в контейнере (если игла движется вместе с пуансоном)

$$T_{кр} = F_{\tau.кр} * \tau_{кр} = F_{\tau.кр} * f_{к.кр} * K_{кр}, \text{ где}$$

$$F_{кр} = \frac{\pi D_H}{4} \quad (3.1.2)$$

Коэффициент трения $f_{к.кр} = 0,25$

$$L_H = 400 \text{ мм}$$

При прессовании со смазкой $K_{кр} = K_{м.н.}$, т.е. считать одинаковыми состояния прессуемого материала внутри заготовки и на контактной поверхности, с контейнером, а $f_{к.кр} = 0,25$.

В отжимаемой части пластической зоны наблюдается большая неравномерность напряженного состояния, вызываемая следующими факторами:

- изменение деформируемого состояния по длине пластической зоны и соответствующим изменением упрочнения;
- процессом разупрочнения, связанным с длительностью пребывания металла в пластической зоне и его температурой;
- тепловым эффектом от деформации и контактного трения;
- тепловым влиянием среды, охлаждающей пластическую зону (инструмент, смазка и т.д.)

Эти факторы влияют на выбор значений коэффициента при определённой температуре.

Средний расчетной температурой можно считать среднее арифметическое значение температур металла в моменты начала процесса и выхода металла из пластической зоны.

В самой начальной стадии ламинарного течения расчетной t° можно считать t° металла при вводе его в контейнер.

Соответственно выбранной t° выбирают величину $K_{м.н.}$ по испытанием при статическом сжатию с корректировкой на контактное трение.

$$K_{м.н.} \approx 0,5\delta_{в.н} \quad (3.1.3)$$

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-ИЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 50 |

где $\delta_{в.н}$ предел прочности статических испытаниях прессуемого металла в начальной стадии, т.е. на входной поверхности давления

$\delta_{в.н}$ для стали 45 = 600 МПа

$\delta_{в.н}$ для меди М 1 = 200 МПа

$K_{м.н} \approx 0,3$ для стали 45

$K_{м.н} \approx 0,1$ для меди М 1

$$F_{к.р} = \frac{3,14 \cdot 100^2}{4} = 7850 \text{ мм}^2 \quad (3.1.4)$$

Для стали

$$T_{кр} = 7850 \cdot 0,25 \cdot 0,3 = 589 \text{ Н} \quad (3.1.5)$$

Для меди М 1

$$T_{кр} = 7850 \cdot 0,25 \cdot 0,1 = 196,3 \text{ Н} \quad (3.1.6)$$

Нормальная сила на пресс-шайбе, необходимая для преодоления сил трения на боковой поверхности обжимающей части пластической зоны

Для определения силы T_m применяют уравнение мощностей, т.е. исходим из того, что работа и мощность активных и реактивных сил должны быть одинаковыми.

$U_{п}$ – скорость входа металла в обжимающую часть пластической зоны.

Активная мощность на преодоление трения на боковой поверхности матрицы (без пояска) равна $T_m \cdot U_{п}$

Для определения соответствующей реактивной мощности при прессовании крупного прутка из круглой заготовки через каноническую матрицу выделим в обжимающей части пластической зоны элементарный слой, находящийся на расстоянии x от выхода из нее (рисунок 45), образуемый двумя концентрическими сферическими поверхностями,

исходящимися одна от другой на расстоянии dl . Боковая поверхность этого элементарного слоя равна

$$dF_{Т.М} = \pi D_x dl = \pi D_x \frac{dx}{\cos \alpha} \quad (3.1.7)$$

Для стали 45

$$dF_{Т.М} = 3,14 * 65 * \frac{70}{\cos 30} = 16497 \text{ мм} \quad (3.1.8)$$

Для меди М 1

$$dF_{Т.М} = 3,14 * 65 * \frac{70}{\cos 60} = 28574 \text{ мм} \quad (3.1.9)$$

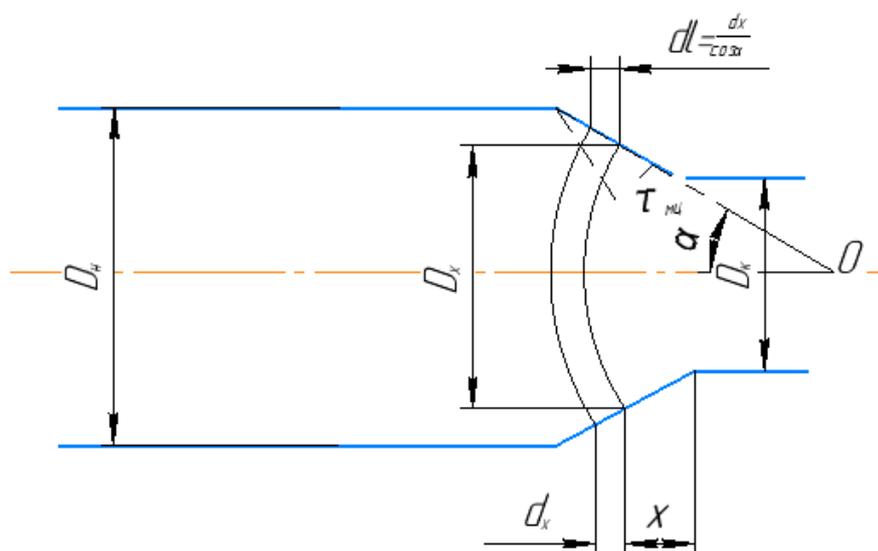


Рисунок 3.1.2 – Схема к определению составляющей T_M при прессовании круглого сплошного профиля через коническую матрицу

Считается, что торцовая поверхность обжимающей части и пластической зоны близка к сферической с центром в точке O .

Скорость движения всех частиц обжимающей части пластической зоны, расположенных на ее поперечных концентрирующих сферах, направлены к точке O и равны между собой.

Исходя из этого предположения и из условий неразрывности среды скорость движения U_x частиц рассматриваемого элементарного слоя в направлении к точке O равна:

$$U_x = U_{\Pi} * \frac{D_{H^2}}{D_x^2} \quad (3.1.10)$$

Исходя из принятого метода учета сил трения, полагаем

$$\tau_M = f_{к.м} * K_{м.σ} \quad (3.1.11)$$

Отсюда мощность реактивных сил трения на боковой поверхности элементарного слоя определяется

$$dN_x = \frac{\pi D_{H^2}}{2 \sin \alpha} * \frac{dD_x}{D_x} * f_{к.м} * K_{м.σ} * U_{\Pi} \quad (3.1.12)$$

Для стали 45

$$dN_x = \frac{3,14 * 100^2}{2 \sin 30^\circ} * \frac{65 * 5}{65} * 0,25 * 0,3 * 60 = 706500 \text{ H} \quad (3.1.13)$$

Для меди М 1

$$dN_x = \frac{3,14 * 100^2}{2 \sin 60^\circ} * \frac{65 * 5}{65} * 0,25 * 0,1 * 60 = 235500 \text{ H} \quad (3.1.14)$$

Суммируя мощность по всей боковой поверхности получаем

$$T_M = f_{к.м} * K_{м.σ} * \frac{\pi D_{H^2}}{4 \sin \alpha} \quad (3.1.15)$$

Для стали 45

$$T_M = 0,25 * 0,3 * \frac{3,14 * 100^2}{4 \sin 30^\circ} = 1177,5 \text{ H} \quad (3.1.16)$$

Для меди М 1

$$T_M = 1 * 0,1 * \frac{3,14 * 100^2}{4 \sin 60^\circ} = 906,5 \text{ H} \quad (3.1.17)$$

При $\alpha > 60^\circ$ трение на боковой поверхности обжимающей части пластической зоны является внутренним (максимальным)

$$f_{к.м} = 1.$$

Нормальная сила R_M на пресс-шайбе, необходимая для осуществления основной деформации без учета контактного трения

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|----------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-ИЧ.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 53 |

Работа сил трения на поверхности канала матрицы расходуется на образование тепла от контактного трения и образование дополнительных сдвигов продольных кольцевых слоев деформируемого металла, большая часть последней составляющей работы также преобразуется в тепло.

При определении силы R_M , считается, что процесс основной деформации происходит при взаимном перемещении кольцевых слоев деформируемого металла, которое осуществляется только в результате неравномерности деформации, вызываемой канонической формой обжимающей части пластической зоны.

$$R_M = \frac{1}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} * F_H * 2K_{M.C} \quad (3.1.18)$$

Для стали 45

$$R_M = 1,16 * 7850 * 2 * 0,3 = 5463,6 \text{ Н} \quad (3.1.19)$$

Для меди М 1

$$R_M = 1,36 * 7850 * 2 * 0,1 = 2135,2 \text{ Н} \quad (3.1.20)$$

Нормальная сила на пресс-шайбе необходимая для преодоления трения на поверхности калибрующего пояска

Сила, возникающая на калибрующем пояске, определяется

$$T_{\Pi} = \mu \tau_{\Pi} * F_{T.\Pi} \quad (3.1.21)$$

Из этого выражения следует, что сила T_{Π} в μ раз больше суммарной силы трения, возникающей на поверхности пояска. Это появляется от того, что силы трения, возникающие на пояске, создают силовой подпор, увеличивающий гидростатическое давление металла в канале матрицы и контейнере. Это увеличение повышает реактивное давление заготовки на прессовой инструмент, а так как поперечное сечение заготовки в μ раз

больше поперечного сечения пресс изделия, то соответственно увеличивается и нормальное давление на пресс-шайбу.

$$\tau_{\Pi} = f_{к.п} * K_{м.п} , \text{тогда}$$

$$T_{\Pi} = \mu * f_{к.п} * F_{Т.п} \quad (3.1.22)$$

Для стали 45

$$T_{\Pi} = 3,33 * 0,25 * 0,3 * 16497 = 4120 \text{ Н} \quad (3.1.23)$$

Для меди М 1

$$T_{\Pi} = 3,33 * 0,25 * 0,1 * 28574 = 2378,8 \text{ Н} \quad (3.1.24)$$

Нормальная сила на пресс-шайбе, необходимая для преодоления трения на ее контактной поверхности

Величина этой силы находится в прямой зависимости от средней скорости скольжения металла на пресс-шайбе, которая становится заметной лишь в конце ламинарного истечения. Поэтому при определении максимального полного давления на пресс-шайбу, возникающего в начале стадии ламинарного истечения, сила $T_{ш}$ не учитывается.[3]

Полное давление прессования

$$P = R_{м} + T_{к.р} + T_{м} + T_{\Pi} \quad (3.1.25)$$

Для стали 45:

$$P = 5463,6 + 589 + 1177,5 + 4120 = 11350,1 \text{ Н} \quad (3.1.26)$$

Для меди М 1:

$$P = 196,3 + 906,5 + 2135,2 + 2378,8 = 5616,8 \text{ Н} \quad (3.1.27)$$

Мощность, передаваемая пуансоном

$$N_{\Pi} = P * U_{\Pi} \quad (3.1.28)$$

Для стали 45:

$$N_{\Pi} = 11350,1 * 60 = 681006 \text{ Па} = 681 \text{ мПа} \quad (3.1.29)$$

Для меди М 1:

$$N_{\Pi} = 5616,8 * 40 = 337008 \text{ Па} = 337 \text{ мПа} \quad (3.1.30)$$

3.2 Сравнительный анализ прямого прессования

Температурно-скоростной режим прессования во многом зависит от силовых возможностей оборудования, прочностных свойства инструмента, пластичности материала, строения металла, структуры, пористости газов, примесей, условий прессования, природы материала, скорости прессования, температуры прессования, напряженного состояния материала.

С целью достижения максимальной производительности при прессовании применяют слитки или заготовки максимально возможного объема. Если нет специальных требований по геометрии, то применяют слитки цилиндрического вида. Цилиндрический слиток наиболее прост в изготовлении, потому что требует наиболее дешевой оснастки при литье.

Энергосиловые параметры прессования (напряжение, сила, мощность привода) зависят от длины слитка, поэтому уменьшение длины слитка и соответствующее увеличение диаметра приводят к повышению энергозатрат.

При прямом методе прессования увеличение длины слитка приводит к росту усилия прессования за счет повышения расхода энергии на преодоление трения на стенке контейнера. Растут также напряжения прессования и затраты энергии на осуществление процесса в целом

В то же время применение коротких слитков малоцелесообразно, поскольку часть слитка остается в контейнере в виде пресс-остатка. Чем короче слиток, тем большая часть металла составит возвратные отходы, тем ниже окажется выход годного.

Качество прессованных изделий и силовые условия прессования требуют ограничения длины слитка. При всех разновидностях прессования большая длина слитка связана с вероятностью заметного охлаждения слитка к концу прессования и со значительной неравномерностью свойств и структуры изделия. Большое охлаждение слитка может в конце процесса

вызвать повышение усилия прессования, что при ограниченных возможностях пресса приведет к недопрессовкам.

Размеры заготовки определяют качество пресс-изделий и технико-экономические показатели процесса. Чем больше диаметр и длина заготовки для прессования профиля определенного типоразмера, т.е. чем больше ее объем, тем больше длина профиля, получаемого из нее. Увеличение длины профиля позволяет уменьшить долю металла, уходящего в концевую обрезь, что способствует повышению выхода годного, поэтому всегда следует стремиться к увеличению объема заготовки.

Для обеспечения максимального выхода годного и минимального усилия прессования при определенном объеме заготовки более рационально увеличивать ее длину, чем диаметр. В данном случае лимитирующим фактором является не величина усилия прессования, а величина максимального удельного давления, поэтому при возможности прессования из нескольких контейнеров целесообразно применять контейнер минимального диаметра.

Выбор параметров прессового инструмента, в первую очередь матрицы, оказывает влияние на ряд технологических факторов, например на давление прессования, допустимую скорость истечения и ее неравномерность по сечению пресс-изделий, степень неравномерности деформации, на некоторые качественные показатели.

Интенсивность изменения поперечных сечений профиля канала по его длине определяется формой образующих поверхности канала. При плоских матрицах эта поверхность образуется границей между упругой и пластической зонами.

При конической матрице интенсивность изменения поперечных сечений определяется углом наклона образующей к оси канала α . Если угол α находится в оптимальной зоне, деформационные условия наиболее благоприятны. Существуют технические решения, в которых угол наклона

является переменной величиной вдоль оси прессования, т.е. продольный канал описан криволинейной образующей, что позволяет добиться более равномерной деформации и дополнительно снизить усилие прессования.

Прессование считается достаточно энергоемким процессом, поскольку большая доля работы затрачивается на преодоление трения на контактных поверхностях и дополнительные срезы металла на границах жестких и пластических зон.

При гидравлическом приводе прессов энергозатраты на прессование - это потери на преодоление гидравлических сопротивлений, сжатие жидкости, упругую деформацию трубопроводов. Энергоемкость нагрева зависит от теплофизических характеристик материала, разницы температур, массы заготовки и степени эффективности нагрева, оцениваемой коэффициентом полезного действия этого процесса .

Следует отметить, что при сравнении двух процессов одинаковый уровень энергозатрат совершенно не предполагает равенства затрат на энергоресурсы, поскольку различна стоимость различных видов энергии (электрическая, тепловая, полученная сжиганием топлива). Электрическую энергию принято считать наиболее дорогим видом энергии, но этот же вид часто используется с наибольшей эффективностью (с наиболее высоким КПД). При прессовании цветных металлов и сплавов наиболее часто используется электроэнергия как для привода прессов (механических и гидравлических), так и для нагрева заготовок (индукционный, сопротивлением)

Влияние скорости прессования на энергозатраты неоднозначно. С одной стороны, увеличение скорости прессования приводит к росту сопротивления деформации за счет явления скоростного упрочнения.

Таким образом увеличение скорости деформации в небольшом диапазоне оказывает слабое влияние на сопротивление деформации и энергозатраты.

Однако скорость деформации ощутимо влияет на время осуществления процесса прессования: при малой скорости велика опасность захлаживания заготовки, особенно при деформации металлов с относительно высокими температурами плавления и рекристаллизации (сплавы титана, меди, никеля и др.).

Следует отметить, что наилучшим процессом с точки зрения экономии энергии явился бы такой, в котором энергия деформации полностью использовалась бы на повышение температуры заготовки до величины, соответствующей высокой пластичности и низкому сопротивлению деформации. Этому мешает нестационарность прессования, особенно в начальной стадии. Действительно, для того чтобы повысить температуру заготовки за счет работы деформации, необходимо начать прессование, с другой стороны, начать процесс невозможно из-за низкой температуры и высокого значения сопротивления деформации. Выходом из создавшегося технического противоречия мог бы быть переход на полностью непрерывный процесс прессования.

Аналізу подвергнуты варианты прессования пресс-изделия диаметром 30 мм, длиной 400 мм с использованием контейнера диаметром 100 мм из двух сплавов – сталь 45 и медь М1. Матрица имеет углы 60° и 120°, со скруглёнными кромками и без скруглённых кромок.

В результате аналитического определения составляющих полного давления прессования выяснилось, что полное давление для прессования стали 45 в два раза больше, чем полное давление для прессования медного сплава М 1. Соответственно, мощность, передаваемая пуансоном при прессовании стали 45, также в два раза больше мощности, передаваемой пуансоном для прессования медного сплава М1.

Аналитические расчёты и графики выполненные в QFORM показали, что температурно-скоростной режим прессования во многом зависит от формы матрицы и сплава пресс-изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы при достижении цели получены следующие результаты:

- рассмотрены параметры процесса прямого прессования на усилие прессования;
- разработаны модели процесса прямого прессования стали 45 и медь М 1 в QFORM. Углы матрицы 60 и 120 градусов, со скруглёнными кромками и без скруглённых кромок;
- выполнены расчёты процесса прямого прессования;
- проведен анализ полученных результатов.

| | | | | | | |
|------|------|-------------|---------|------|---------------|------|
| | | | | | ВКР.2020-3.ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № Документа | Подпись | Дата | | 60 |

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов, 3-е изд., перераб. и доп. - М.: МИСИС, 1998. - 400 с., 1983 год
2. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов, Пер. с англ. - М.: Мир, 1972 г. - 406 с.
3. Перлин И.Л. Теория прессования металлов. М.: Металлургия, 1964 – 174 с.
4. Третьяков Зюзин Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением. – М.: Металлургия, 1973 г. – 224 с.
5. Логинов Ю.Н. Прессование как метод интенсивной деформации металлов и сплавов. Екатеринбург, 2016 г.-156 с.
6. Документация QForm Программа для моделирования процессов обработки металлов давлением. Версия 9. Начало работы часть 1.
7. Документация QForm Программа для моделирования процессов обработки металлов давлением. Версия 9. Руководство пользователя часть 2.
8. Документация QForm Программа для моделирования процессов обработки металлов давлением. Версия 9. Учебный курс на примерах часть 3.
9. Документация QForm Программа для моделирования процессов обработки металлов давлением. Версия 9. Теоретические основы часть 4.
10. Марочник металла <http://metallicheckiy-portal.ru>

