

УДК 62-294.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПЕРЕТЯЖНОГО РЕБРА НА ТРЕБУЕМУЮ СИЛУ ПРИЖИМА И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ШТАМПА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КРИВОЙ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Кайбаров Андрей Платонович

*Магистр 1 года,
кафедра «Технологии обработки давлением»
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Алимов Артем Игоревич,
ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»*

Ключевые слова: *Диаграмма предельных деформаций (Forming limit diagram), кривая предельных деформаций (Forming limit curve), штамп FLD (FLD stamp), метод Наказимы (Nakajima test), метод Марчиньяка (Marciniak test).*

Аннотация: *В работе исследовано влияние формы перетяжного ребра на силу прижима, при которой будет происходить формовка образца. Разработан экспериментальный штамп для построения диаграммы предельных деформаций с пневматическим прижимом, позволяющий проводить испытание листовых материалов толщиной от 0,3 до 4 мм.*

Структура:

1. Введение.
2. ISO 12004-2
3. Патентный поиск по штампам, возможные варианты прижима, ребер и т.д.
4. Исследование формы перетяжного ребра на силу прижима
5. Конструкция штампа и описание

Диаграмма предельных деформаций (FLD)

Прогнозирование дефектообразования с практической точки зрения позволяет с достаточной точностью определить степень формоизменения данного материала, при которой не возникают какие-либо дефекты. В производстве эта возможность является крайне важной. С ее помощью можно спроектировать технологический процесс с наименьшим количеством переходов и с наибольшим коэффициентом использования материала. Такой технологический процесс ведет к экономии материала на изготовление самой детали, на изготовление инструментов, необходимых для изготовления этой детали, и на количество металлообрабатывающего оборудования.

Одним из способов определения допустимой деформации для листовых материалов является использование диаграммы предельных деформаций (FLD), которая представляет собой диаграмму, состоящую из различных областей. По оси абсцисс откладываются минимальные главные деформации, по оси ординат – минимальные. На рисунке 1 представлена диаграмма предельных деформаций.

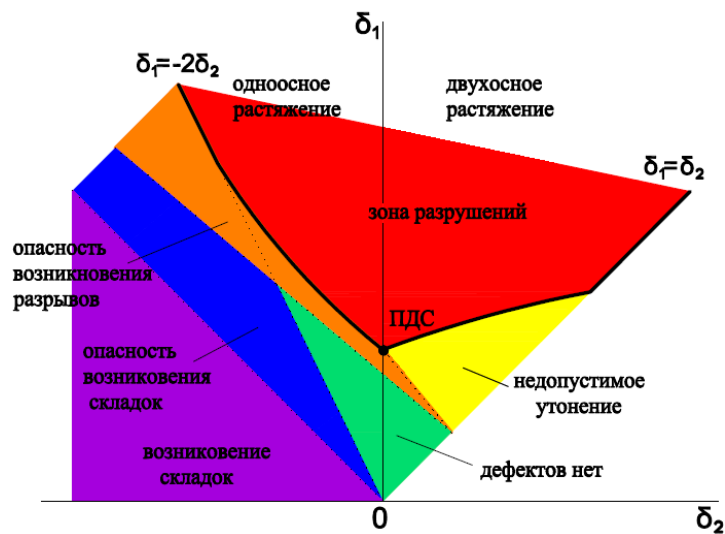


Рис. 1. Диаграмма предельных деформаций

Кривая предельных деформаций (FLC) разделяет область образования трещин от безопасной области в зависимости от формы заготовки и типа операции. Область положительных главных минимальных деформаций соответствует двухосному растяжению, область отрицательных – одноосному растяжению. Случаи при которых минимальные главные деформации равны нулю, соответствуют плоскому деформированному состоянию. Форма и расположение кривой предельных деформаций уникальна для каждого материала. Диаграмма предельных деформаций действительна в тех случаях, когда отношение главных пластических деформаций постоянно в течение всего процесса деформации, то есть деформация является монотонной. Значимость данного недостатка показана на рисунке 2, на которой изображена FLC для 15 разных путей предварительной деформации. Первая часть пунктирной линии обозначает путь предварительной деформации, вторая часть пунктирной линии ведет к FLC, соответствующей данной предварительной деформации.

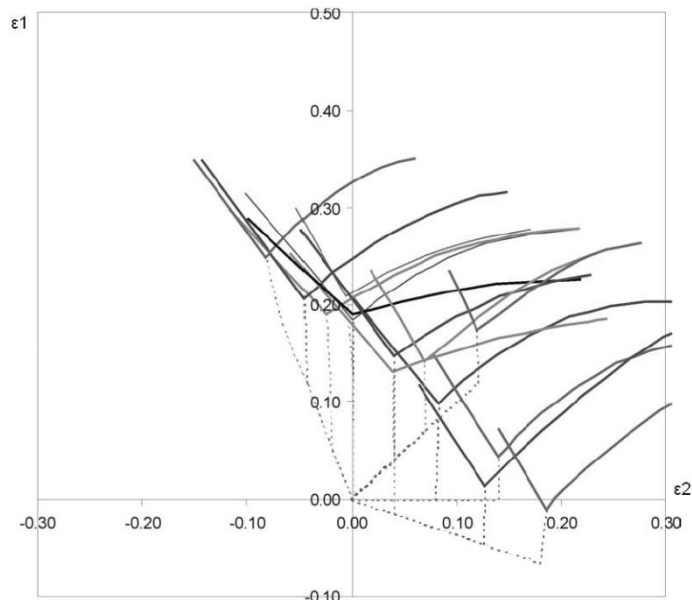


Рис. 2. Зависимость FLC от пути предварительного деформирования

В заключение можно сказать, что FLD применима только для определенных операций листовой штамповки, таким как формовка, вытяжка, гибка, обжим, раздача. В этих операциях изменение деформаций является монотонным, а напряженное состояние плоским. Использование FLD для других листовых операций может привести к неверным результатам.

Методика построения FLD

Построение кривой предельных деформаций строится на основании стандарта ISO 12004-2. Построение FLD осуществляется двумя основными методами: методом Наказимы и методом Марчиньяка. Для точного определения точек FLC необходимо практически полностью устранить трение между пуансоном и заготовкой.

Для обоих методов используется одна из следующих заготовок: круглая заготовка с параллельной галтелью по центру; круглая заготовка с круглыми вырезами по краям (применительно к двухосному растяжению); прямоугольная заготовка (для материалов с повышенной пластичностью). Примеры выполнения заготовок представлены на рисунке 3. Меняя ширину галтели, радиус выреза либо ширину заготовки получают различные деформированные состояния, различные деформированные состояния дают различные точки на кривой предельных деформаций.

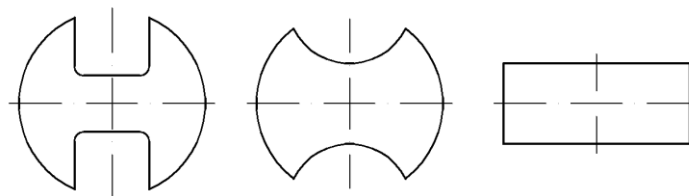


Рис. 3. Используемые заготовки

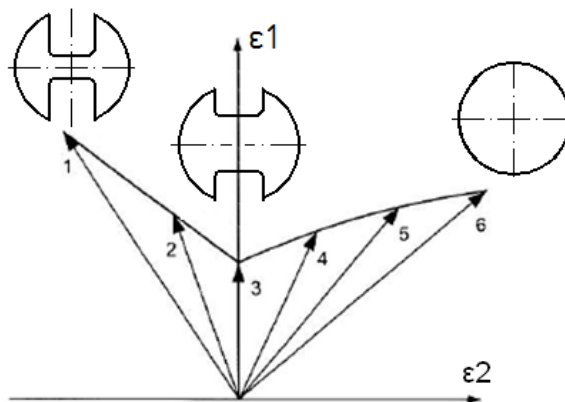


Рис. 4. Деформированные состояния в зависимости от ширины галтели заготовки

Для определения величин деформаций на заготовку наносят измерительную сетку в виде квадратов, кругов или точек. Сетка должна иметь сильный контраст на фоне заготовки и наносится так, чтобы заготовка не имела каких-либо повреждений или микроструктурных изменений. Возможные варианты нанесения сетки на заготовку: электрохимический, фотохимический, нанесение краски.

Метод Наказимы основывается на применении полусферического пуансона для деформации заготовки и на использовании многослойной смазки между пуансоном и заготовкой. Для одной FLC используется одна конкретная многослойная смазка.

Испытание считается успешным, если трещина образовывается на расстоянии не более 15% диаметра пуансона от вершины полусферы. Используемая оснастка с рекомендуемыми размерами представлена на рисунке 5.

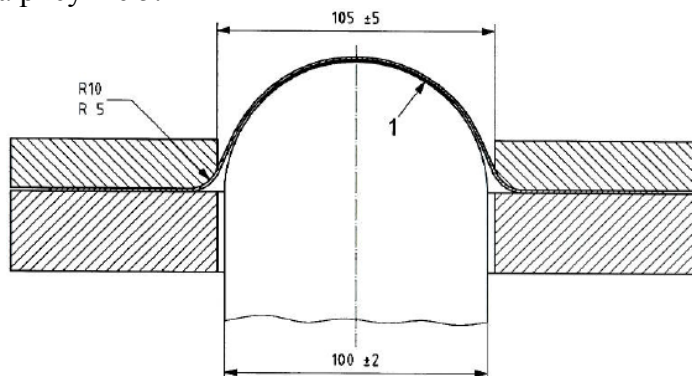


Рис. 5. Оснастка, используемая в методе Наказимы

В методе Марчиньяка для того, чтобы предотвратить контакт между заготовкой и плоской поверхностью пуансона, необходимо использовать подкладную заготовку (рисунок 6). Подкладная заготовка должна быть вырезана из материала как минимум такой же пластичности, как и материал испытуемой заготовки. Разрыв подкладной заготовки не должен возникнуть до образования трещины исследуемого материала. Минимальная толщина заготовки примерно равна 80% толщины исследуемого материала, используется одна или более заготовок. Наружный диаметр подкладной заготовки должен быть равен диаметру испытуемого образца.

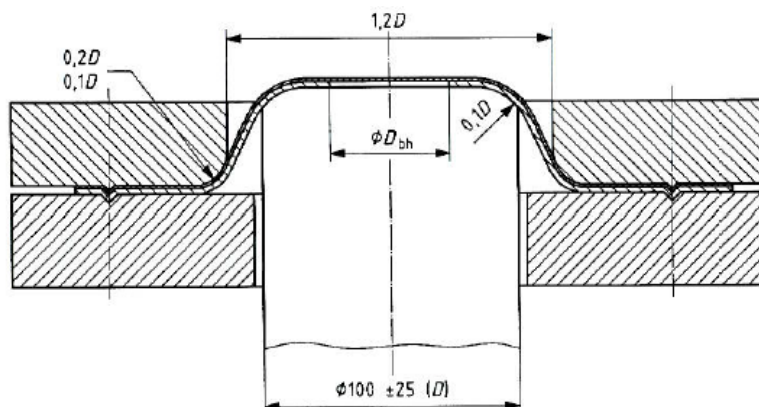


Рис. 6. Оснастка, используемая в методе Марчиньяка

Подкладная заготовка должна иметь центральное отверстие диаметром D_{bh} (обычно 32...34 мм), которое центрируется по отношению к пуансону. Это отверстие должно иметь качество достаточное для предотвращения образования преждевременной трещины. Конечный диаметр отверстия до разрыва заготовки должен остаться меньше диаметра плоской части пуансона.

Также рекомендуется использовать подкладную заготовку с повышенной шероховатостью на той поверхности, которая соприкасается с исследуемой заготовкой. Соответственно никакой смазки между подкладной и исследуемой заготовками не допускается. Однако, она необходима на поверхности контакта между заготовками и пуансоном и прижимом.

Опыт считается успешно проведенным, если трещина возникает в плоской части заготовки в области отверстия подкладной заготовки.

Конструирование штампа

Стандарт ISO 12004-2 выполняет пояснения проведение опыта и расчета предельных деформаций, но при этом не содержит точных указаний по изготовлению штамповой оснастки. В связи с этим был проведен литературно-патентный обзор на предмет штамповой оснастки для построения FLD. Один из возможных способов выполнения штампа, представлен на рисунке 7. Данный штамп относится к зарубежным патентам с номером публикации US 20130152706 под авторством Ki Ju, Jun Beom LEE, Yong Kyun Cho. Патент имеет следующее название: «Оснастка для получения диаграммы предельных деформаций».

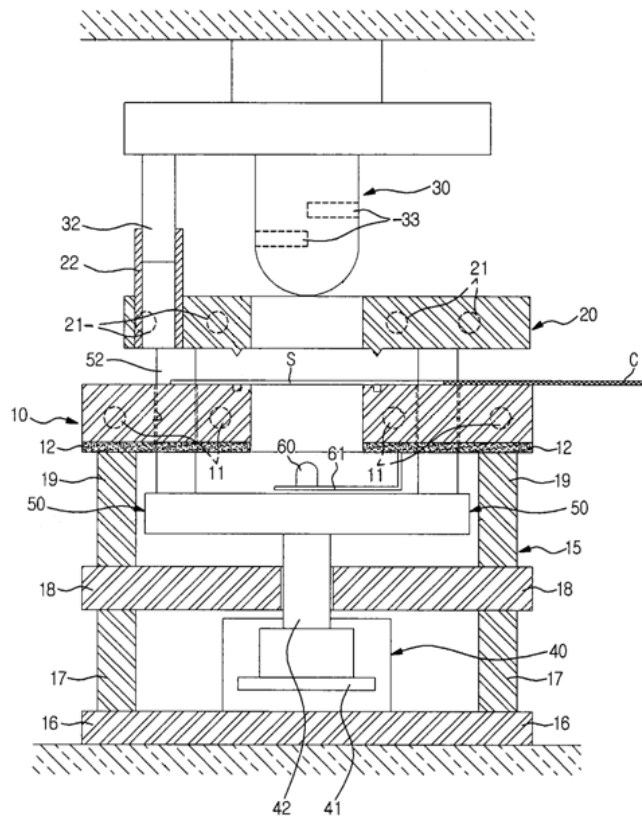


Рис. 7. Штамп патента US 20130152706

Деформирование заготовки происходит за счет пуансона 30 и матрицы 10. Пуансон имеет форму полусферы и движется вертикально вниз. Заготовка S кладется на матрицу 10 и в момент начала деформирования прижимается прижимом 20, имеющего гидравлический привод 40. Передача движения от гидравлического цилиндра 41 к прижиму 20 выполняется за счет штока 42 и траверсы 50. Для того, чтобы заготовка не затягивалась в матрицу используются перетяжные ребра на прижиме. Центрирование пуансона по отношению к матрице производится направляющей колонкой 32 и втулкой 22. Камера 60 для съемки заготовки располагается на специальной подставке 61. Данный патент подразумевает проведение опыта с нагревом заготовки с помощью индуктора С. Нагрев матрицы производится нагревательным устройством 11, пуансона – 33, прижима 21. Для избегания нагрева нижних опор 19, 18, 17 и 16 между ними подкладывается термоизолятор 12.

К недостаткам данного штампа можно отнести его большие размеры по высоте и ширине, нагромождение конструкции гидравлическим приводом для выполнения прижима заготовки и большое количество нагревательных устройств. В нашем случае проведения опыта

выполняется без нагрева заготовок, следовательно, использование нагревательных частотных катушек не имеет смысла.

На рисунке 8 представлен другой вариант выполнения штампа. Данный штамп используется для определения диаграммы предельных деформаций при различных скоростях деформирования. В отличие от предыдущего штампа, этот обладает меньшими габаритными размерами и не имеет нагревательных устройств. Прижим же в данном случае осуществляется вручную за счет стягивания прижимной плиты и нижней плиты шестью болтами. Такой вариант выполнения прижима является не достаточно удобным и надежным.

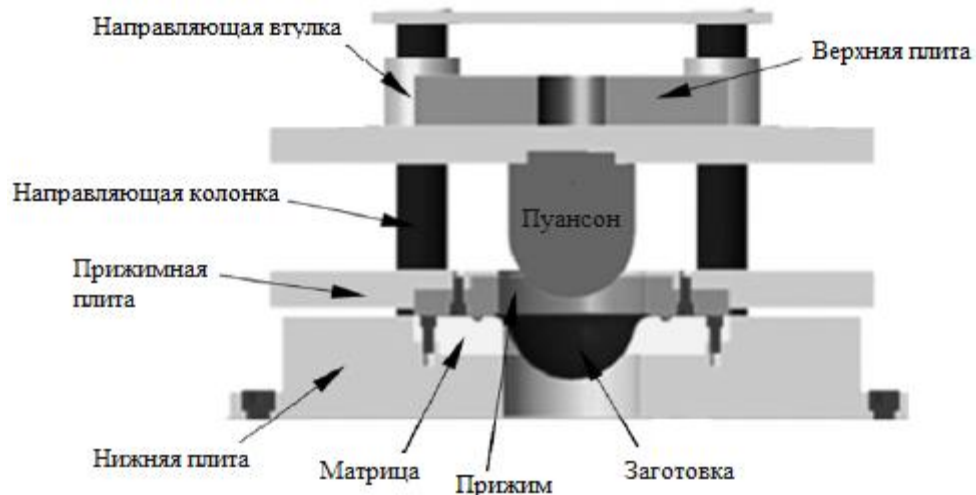


Рис. 8. Штамп с высокой скоростью деформирования

На основании двух вариантов выполнения экспериментальной оснастки, принимается решение выполнения штампа, схожего со вторым вариантом. Отличие будет заключаться в использовании приводного прижима, по аналогии с первым штампом. Прижим будет иметь пневматический привод и располагаться на верхней плите. Такой вариант исполнения позволит варьировать силу прижима, не увеличивая габаритные размеры штампа.

Одним из ключевых особенностей штампа является перетяжное ребро, необходимое для предотвращения затягивания фланца в процессе протекания формовки. Необходимо установить форму и размеры перетяжного ребра и силу прижима. Для установления этих параметров было проведено несколько расчетов в программном комплексе Autoform v 5.2.

Для того чтобы расчет можно было считать успешным, фланец заготовки не должен затягиваться в матрицу. В качестве материала заготовок используем сталь DX52D с наружным диаметром 180 мм и толщиной 2,5 мм. Эта заготовка имеет наибольшую толщину, допустимую стандартом ISO 12004-2 и наибольшую величину сопротивления деформирования в библиотеке материалов Autoform.

Для подбора наиболее подходящей формы перетяжного ребра и величины давления прижима, проводится исследование. Целью данного исследования является определение формы перетяжного ребра и давления, при котором затягивание заготовки в матрицу будет минимальным. Степень затягивания материала определяется по наружному диаметру заготовки после окончания операции формовки (Рисунок 9). Виды профилей перетяжных ребер выбираются из библиотеки программного комплекса Autoform и представлены на рисунке 10. Основные размеры перетяжных ребер выбирались по рекомендациям справочника Семенова[5].

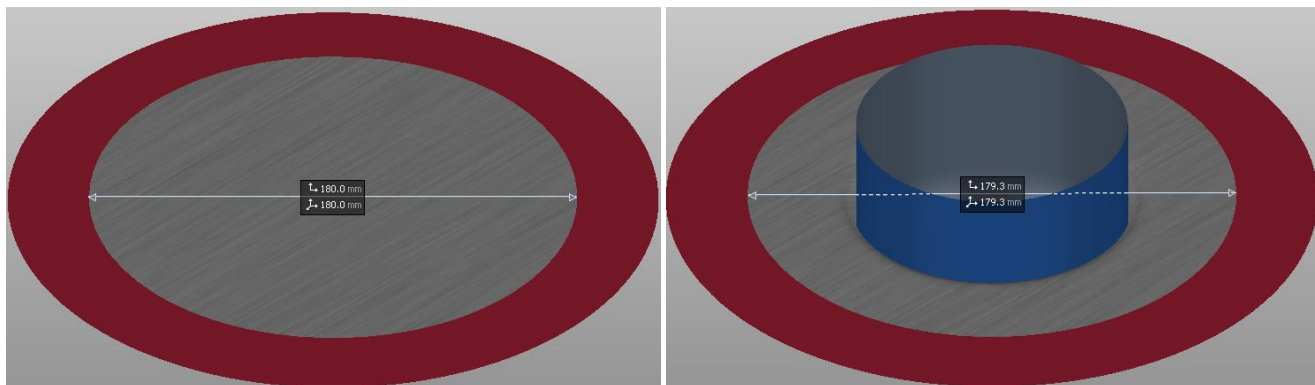


Рис. 9. Наружный диаметр заготовки до и после деформирования

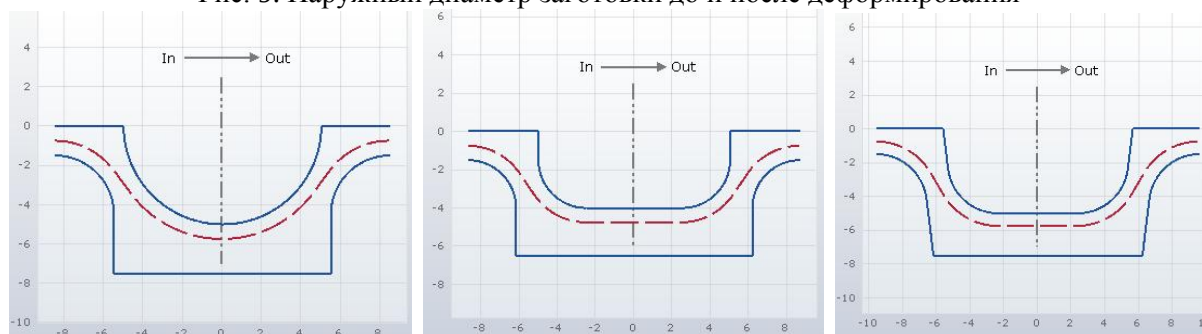


Рис. 10. Профили перетяжных ребер

Варьируемыми параметрами исследования являются профили перетяжного ребра и давление прижима заготовки. В таблице 1 представлена матрица проведения эксперимента. Первая строка определяет профиль перетяжного ребра, столбец перечисляет давления прижима.

Таблица 1. Наружные диаметры заготовок после формовки

Форма перетяжного ребра/давление	Полукруглое	Прямоугольное	Трапецеидальное
1 МПа	179,78 мм	179,88 мм	179,84 мм
2 МПа	179,75 мм	179,87 мм	179,85 мм
3 МПа	179,75 мм	179,87 мм	179,85 мм

Полученные диаметры заготовок для различных профилей перетяжных ребер и давлений прижима представлены в таблице 1. Наибольший наружный диаметр заготовки получается при прямоугольном перетяжном ребре и при самом низком давлении прижима в 1 МПа. Таким образом, данный вид перетяжного ребра является наиболее приемлемым вариантом для проведения эксперимента. Варианты с полукруглыми перетяжными ребрами являются менее подходящими, так как при таких перетяжных ребрах наблюдается наибольшее изменение наружного диаметра.

Как уже было сказано выше, прижим имеет пневматический привод и крепится на верхней плите. По результатам расчета в программе Autoform, давление прижима принимается равным 1 МПа. Необходимо рассчитать давление пневматического привода, которое бы обеспечивала заданное давление на заготовку. Для начала определим площадь заготовки, на которое накладывается это давление и площадь поршня прижима:

$$S_{\text{заг}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{заг.нар}}^2 - D_{\text{заг.внутр}}^2) = \frac{\pi}{4} (180^2 - 105^2) = 16780 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{порш}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{порш.нар}} - D_{\text{порш.внутр}}) = \frac{\pi}{4} (150^2 - 52^2) = 15539 \text{ мм}$$

где $D_{\text{заг.нар}}$ – наружный диаметр заготовки, $D_{\text{заг.внутр}}$ – внутренний диаметр заготовки, $D_{\text{порш.нар}}$ – наружный диаметр поршня, $D_{\text{порш.внутр}}$ – внутренний поршня.

Далее определяем давление, действующее на поршень:

$$p_{\text{порш}} = p_{\text{приж}} \frac{S_{\text{заг}}}{S_{\text{порш}}} = 1 * \frac{16780}{15539} = 1,09 \text{ МПа}$$

Стандарт ISO 12004-2 предполагает использование камеры, для съемки заготовки в процессе деформирования. Камера располагается под заготовкой и для получения высококачественных кадров, необходимо выдерживать фокусное расстояние между камерой и заготовкой. Для этого выполняется специальная траверса, которая прикрепляется к верхней плите с помощью тяг. Таким образом, обеспечивается параллельное движение траверсы и верхней плиты. Регулировка фокусного расстояния осуществляется с помощью пазов, расположенных на тягах.

На рисунке 10 представлена схема штампа. Заготовка располагается на матрице 3, которая крепится к нижней плите 2 с помощью четырех болтов и центрируется двумя штифтами. За счет прижима 5 с перетяжным ребром 6 осуществляется прижим заготовки к матрице. Прижим заготовки происходит до момента начала деформирования заготовки. Деформирование происходит за счет пуансона 4 имеющего полусферическую форму. Пуансон крепится к верхней плите 1 с использованием установочного винта 9. За счет направляющих колонок 7 и втулок 8 выполняется центрирование плит относительно друг друга. Для лучшего визуального понимания конструкции штампа, приведена ее изометрия на рисунке 12.

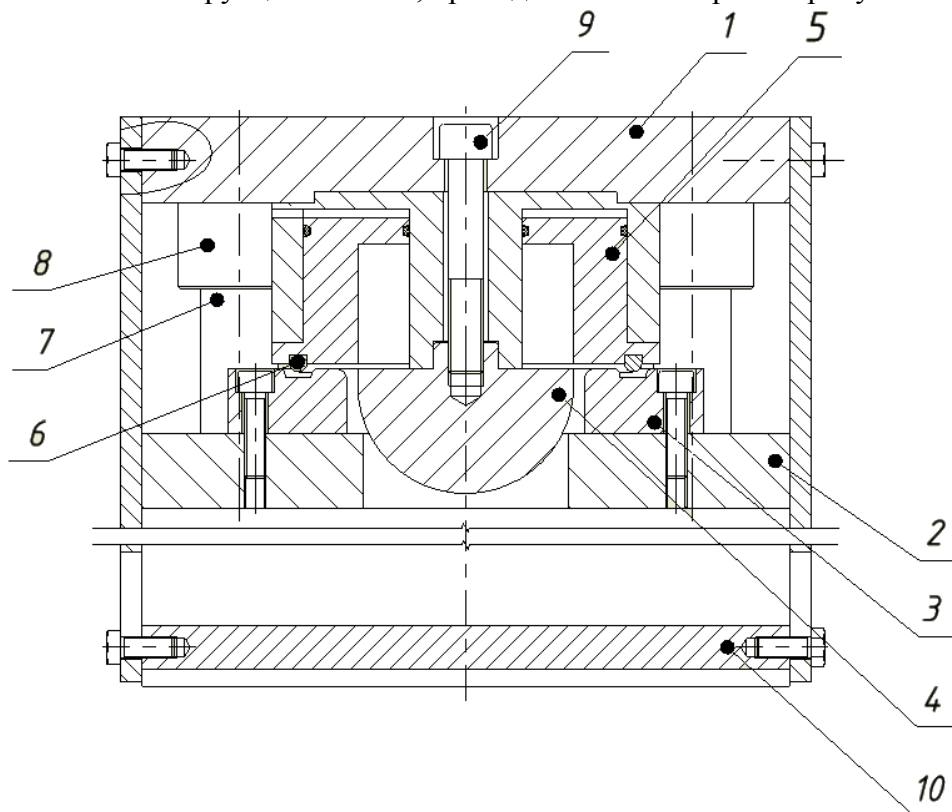


Рис. 11. Чертеж штампа

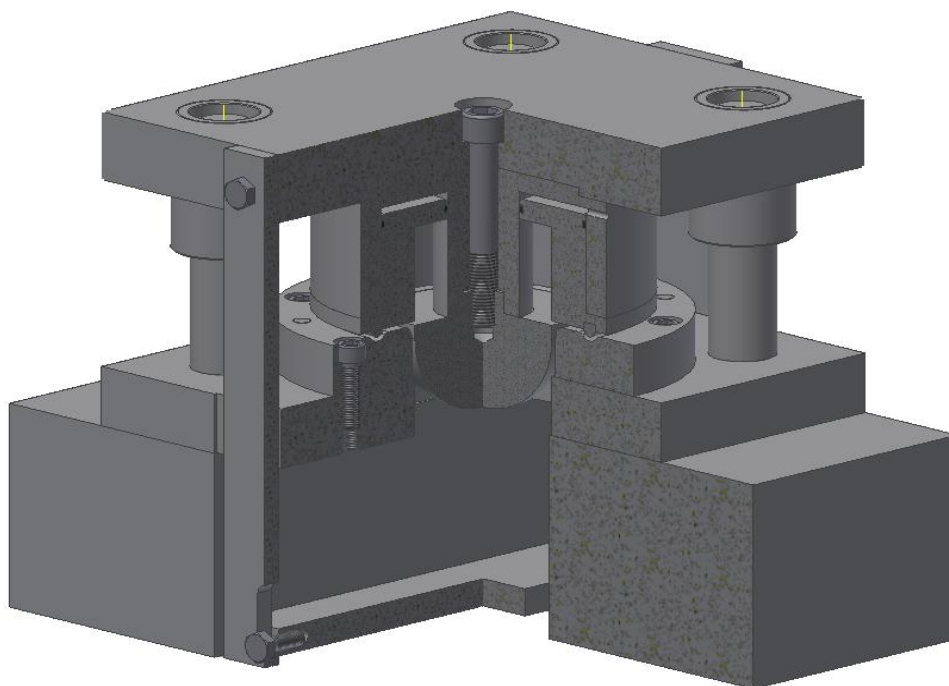


Рис. 12. Изометрия штампа

По результатам литературно-патентного обзора, разработана методика проведения опыта для построения диаграммы предельных деформаций в соответствии со стандартом ISO 12004-2. Выявлены два основных способа проведения опыта: метод Наказимы и метод Марчиньяка. Благодаря патентному обзору существующих схем штампа для построения FLD, был сконструирован формовочный штамп простого действия. Проведено исследование на предмет поиска наиболее подходящего профиля перетяжного ребра и давления прижима. Данный штамп обеспечивает проведение опыта, предусмотренного стандартом ISO 12004-2.

Литература

1. Thomas B. Stoughton, Xinhai Zhu. Review of theoretical models of the strain-based FLD and their relevance to the stress-based FLD // International Journal of Plasticity 20 – 2004 – P. 1463-1486.
2. ISO 12004-2:2008. Metallic materials – Sheet and strip – Determination of forming-limit curves. Part 2: Determination of forming-limit-curves in the laboratory.
3. Ki Ju Nam, Jun Beom LEE, Yong Kyun Cho. Tester apparatus for obtaining forming limit diagram. Patent No. US 20130152706 A1.
4. S.B.Kim, H. Huh, H.H. Bok, M.B Moon. Forming limit diagram of auto-body steel sheets for high-speed sheet metal forming // Journal of Material Processing Technology 211 – 2011 – P. 851-862.
5. Семенов Е.И. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4 Листовая штамповка/Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985 – 1987. – 544 с.:ил.