электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Применение математического моделирования методом конечных элементов для совершенствования процессов объемной штамповки деталей из цветных сплавов

12, декабрь 2014

Сомкина А. С., Власов А. В.

УДК: 621.77

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
annasomkina@mail.ru

Введение

При разработке технологического процесса объемной штамповки технологу необходимо решить целый ряд сложных задач, связанных с определением форм и размеров инструмента, числа технологических переходов, предотвращении технологических отказов, определению сил деформирования и нагрузок на инструмент. Традиционный подход к разработке технологических процессов объемной штамповки заключается в использовании практических рекомендаций, основанных на опыте разработки, а также эмпирических зависимостей и аналитических формул [1,2]. Такой подход, однако, часто приводит к необходимости доводки штамповой оснастки после ее изготовления. Современные методы проектирования технологических процессов базируются на математическом моделировании процесса течения металла, что позволяет избежать существенных ошибок, сократить время разработки и внедрения технологического процесса.

1. Постановка задачи исследования

Объектом исследования является технологический процесс штамповки корпуса смесителя из латуни ЛС59-1, разработанный на одном из предприятий с использованием традиционной методики проектирования. Чертеж поковки представлен на рисунке 1.

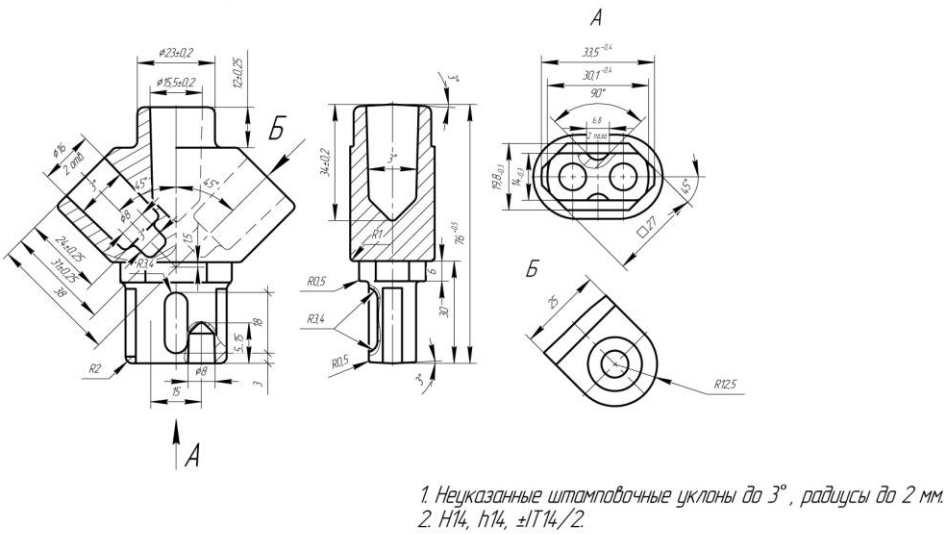


Рис. 1. Чертеж поковки корпуса смесителя

После внедрения технологического процесса в производство оказалось, что в поковке возникают следующие дефекты (рис. 2):

- трещины по краям поковки в местах предположительной закупорки углов штампа смазкой;
- незаполнения по периметру поковки;
- дефекты прутка, вскрываемые при штамповке;
- незаполнения, вызванные различной скоростью движения пуансонов и вскрываемые при механической обработке.

Штамповка осуществлялась на специальном кривошипном прессе, снабженном модулем субпрессов, позволяющих получить боковые полости в поковке. Кинематическая схема модуля субпрессов представлена на рисунке 3.

На первом этапе штамповки движется только верхняя полуматрица, на втором вместе с ней движется нижняя полуматрица, закрепленная на подвижном столе. Движение подвижного стола приводит в действие прошивочные пуансоны.

Предварительный анализ показал, что указанные дефекты являются следствием ошибок при проектировании штамповой оснастки и согласования моментов начала движения и скоростей прошивочных пуансонов, и основного ползуна пресса. Поставлена задача с помощью математического моделирования технологического процесса выявить факторы, влияющие на возникновение дефектов, определить оптимальный скорости движения пуансонов и отыскать такую геометрию формообразующего инструмента, которая бы исключила появление дефектов. Моделирование процесса штамповки проводилось в программном комплексе DeForm-3D [3].

Незаполнения по периметру поковки

Дефекты прутка

Трещины

Рис. 2. Дефекты, возникающие при штамповке

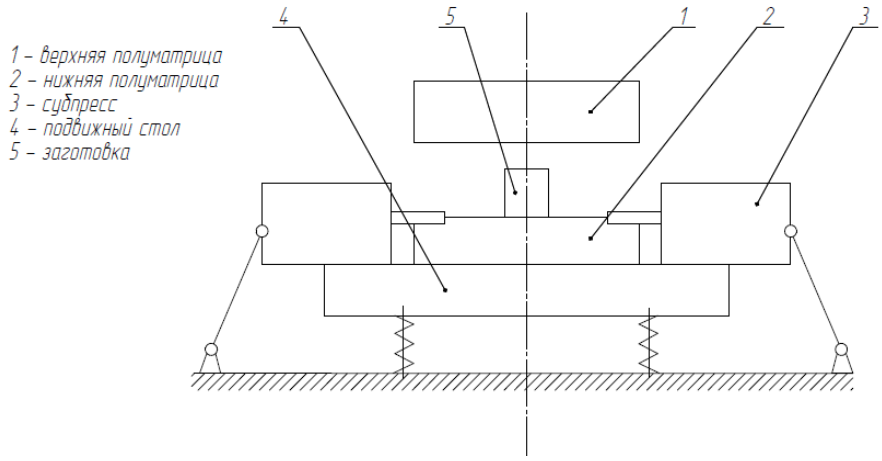


Рис. 3. Кинематическая схема модуля субпрессов

2. Разработка математической модели

При моделировании использовалась схема, показанная на рисунке 4.

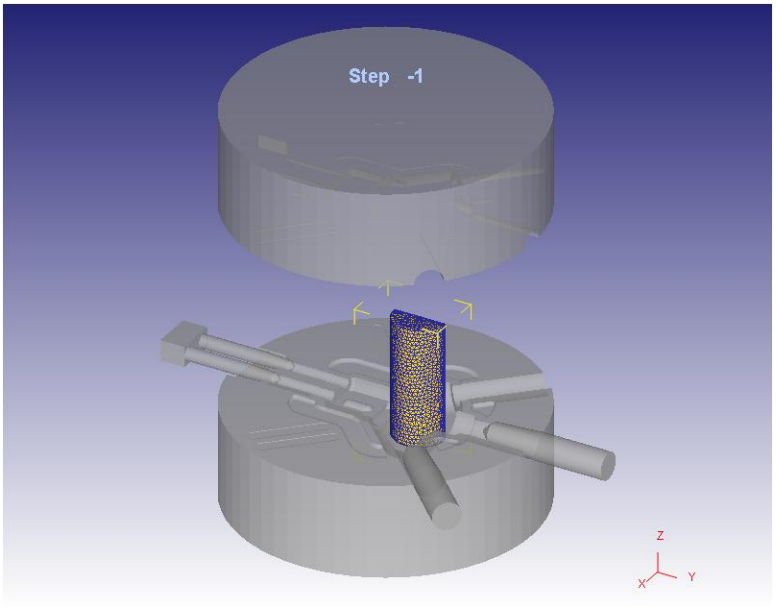


Рис. 4. Схема процесса штамповки

Так как рассматриваемая поковка имеет плоскость симметрии, то в процессе моделирования использовалась половина цилиндрической заготовки, что позволило повысить количество конечных элементов, а также точность расчета.

В качестве материала заготовки был выбран аналог латуни ЛС59-1 материал из библиотеки программы DeForm-3D CuZn40Pb2. Реологическая модель содержит кривые упрочнения материала при различных скоростях деформации и температурах. Начальное количество конечных элементов 20000.

Движение верхней полуматрицы задается в программе DeForm-3D через параметры кривошипного пресса:

- число ходов ползуна;
- величина хода ползуна;
- величина хода деформирования.

Поскольку определить зависимость движения прошивочных пуансонов от угла поворота пресса не представляется возможным, то движение пуансонов определяется заданием постоянной скорости и направляющего вектора. Данное допущение не влияет на процесс штамповки и позволяет наблюдать картину, приближенную к реальности.

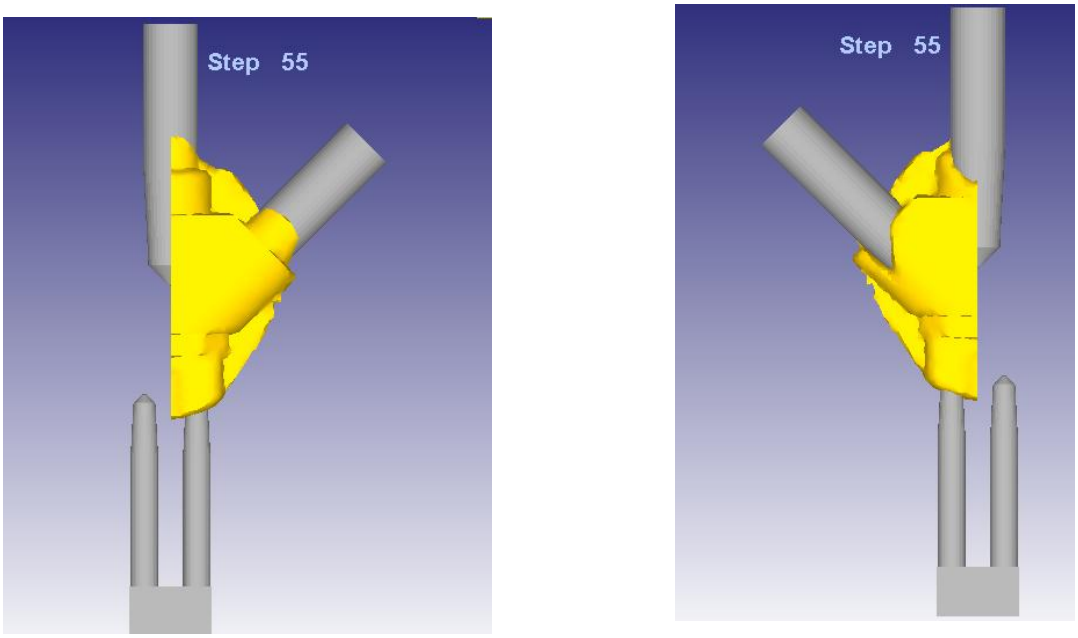
Процесс штамповки с использованием модуля субпрессов можно разбить на две части: первая - осадка заготовки, которая происходит до полного смыкания полуматриц, вторая - прошивка отверстий и окончательное заполнение полости штампа.

Первый этап происходит при зафиксированном подвижном столе. Движется только верхняя полуматрица. Процесс осадки заготовки прекращается, когда полуматрицы смыкаются. На втором этапе при полном смыкании полуматриц за счет опускания подвижного стола приводятся в действие прошивные пуансоны, и происходит прошивка отверстий и полное заполнение полости штампа. Так как полуматрицы сомкнуты, то при моделировании процесса считаем их неподвижными, а движение пуансонов задаем с помощью направляющих косинусов.

3. Определение оптимальной скорости движения наметочных пуансонов

На первом этапе исследования была предпринята попытка проанализировать возможность выполнения технологического процесса на другом технологическом оборудовании, в частности на специализированном гидравлическом прессе.

При моделировании процесса штамповки было выявлено, что заполнение нижней и верхней полуматриц происходит несимметрично (рис. 5), причем на заполняемость влияют такие параметры как величина скорости движения пуансонов и момент начала внедрения пуансонов в тело поковки (рис. 6).



а) б)

Рис. 1. Заполняемость полуматриц: а) верхней полуматрицы; б) нижней полуматрицы

Для обеспечения лучшей заполняемости необходимо чтобы пуансоны внедрялись в тело поковки как можно позже. Также лучше, чтобы центральный пуансон входил в поковку раньше, чем боковые.

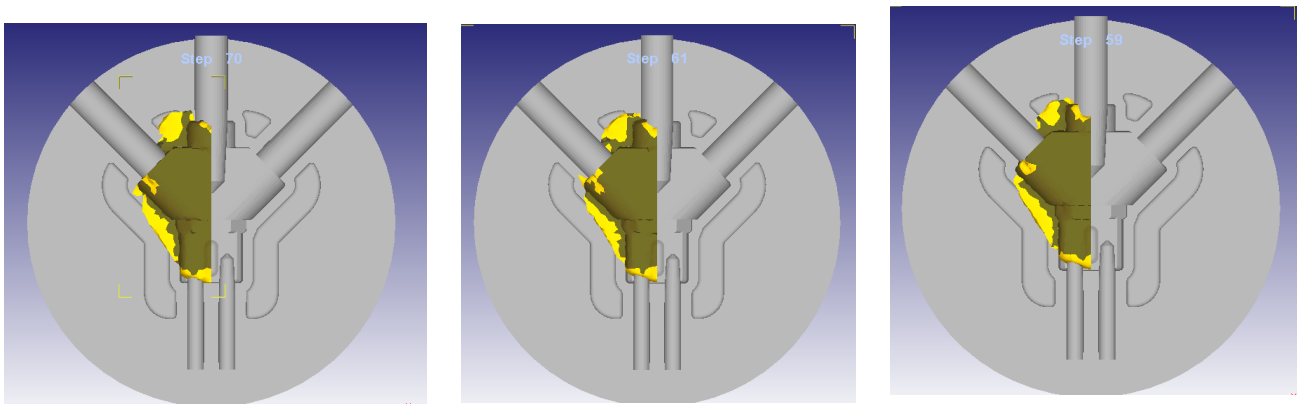
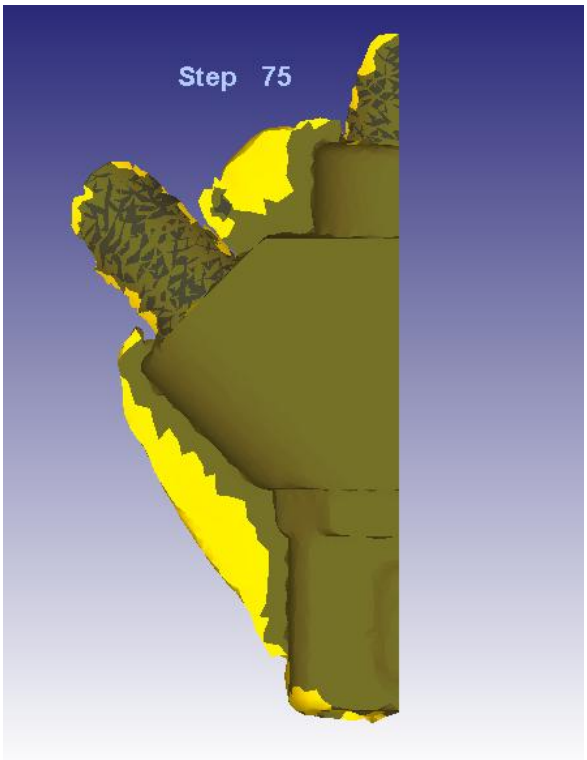
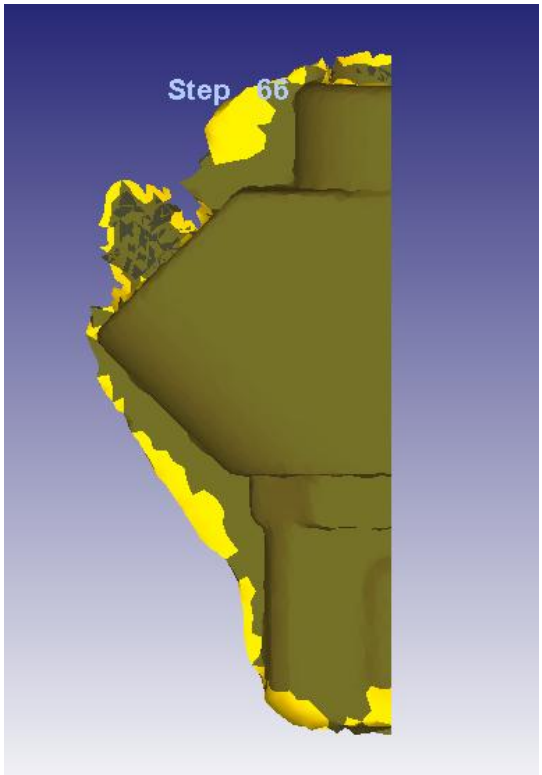


Рис. 2. Незаполняемость при различном значении скорости движения пуансонов

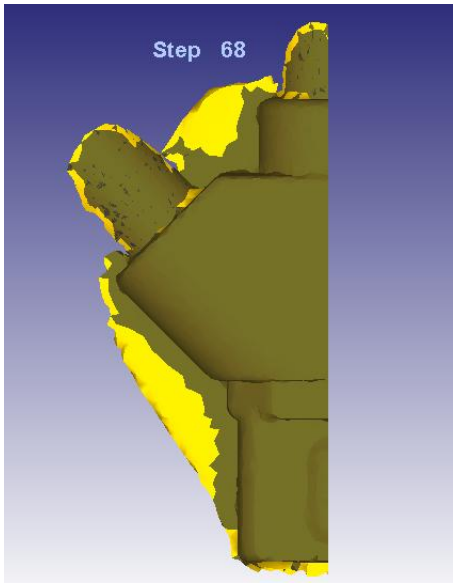
Было смоделировано несколько различных вариантов, в которых менялись скорости движения пуансонов, проходимые расстояния и моменты внедрения в тело поковки. Результаты подбора скоростей движения представлены на рисунке 7 и в таблице 1.



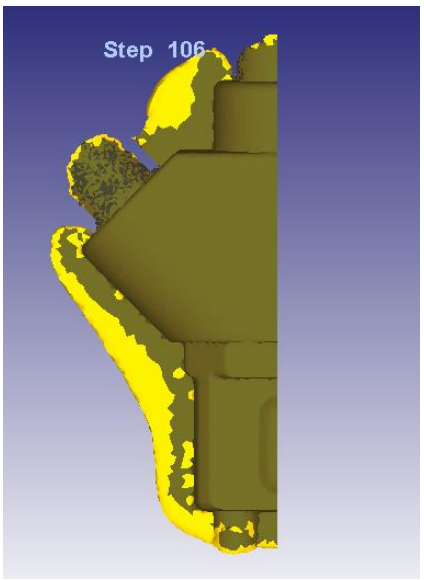
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Определение оптимальных скоростей движения пуансонов

Таблица 1 Скорости движения пуансонов

Номер рисунка	Центральный пуансон	Боковой пуансон	Центральный двойной пуансон
7а	600 мм/с	600 мм/с	600 мм/с
7б	600 мм/с	600 мм/с	550 мм/с
7в	725 мм/с	725 мм/с	650 мм/с
7г	750 мм/с	700 мм/с	650 мм/с

Оптимальное заполнение было выявлено при скоростях движения пуансонов, соответствующих рисунку 7г. Однако скорость движения пуансонов оказалась очень большой для обеспечения ее с помощью гидравлического привода, поэтому процесс был смоделирован для движения пуансонов с помощью субпрессов.

4. Подбор геометрических параметров полуматриц при использовании субпрессов

При внедрении пуансонов в тело поковки между пуансонами и полуматрицами не остается зазора (пуансоны конической частью полностью входят в тело поковки). При этом металлу проще течь в область, которая расположена над пуансоном, а не заполнять углы поковки. При затекании металла на пуансоны в конечный момент процесса штамповки начинается деформирование облоя, которое может привести к браку и даже к заклиниванию пресса (рис. 8).

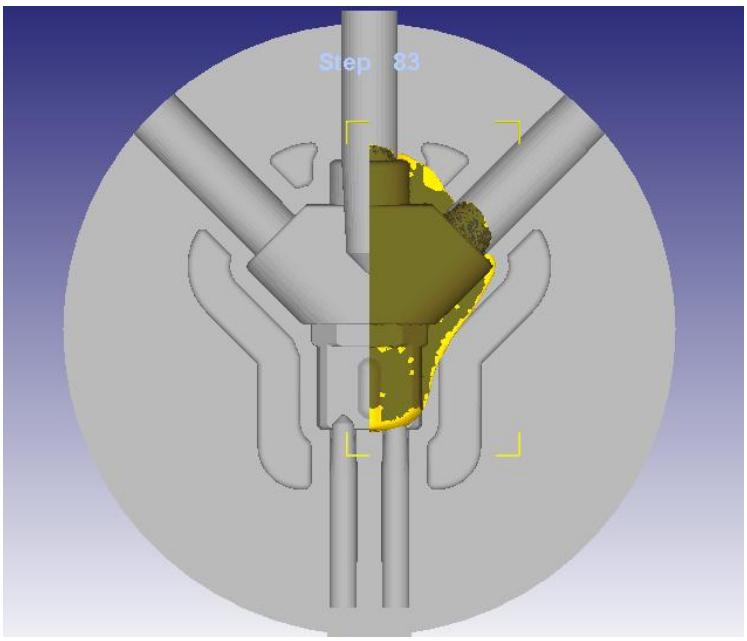


Рис. 8. Момент затекания облоя на пуансоны

Для того, чтобы избежать поломки оборудования, необходимо обеспечить наличие зазора между пуансонами и полуматрицами в конечный момент деформирования.

С этой целью в полуматрицах были добавлены конические проточки с углом конуса 6º на длине 12 мм в местах движения боковых пуансонов (рис.9).

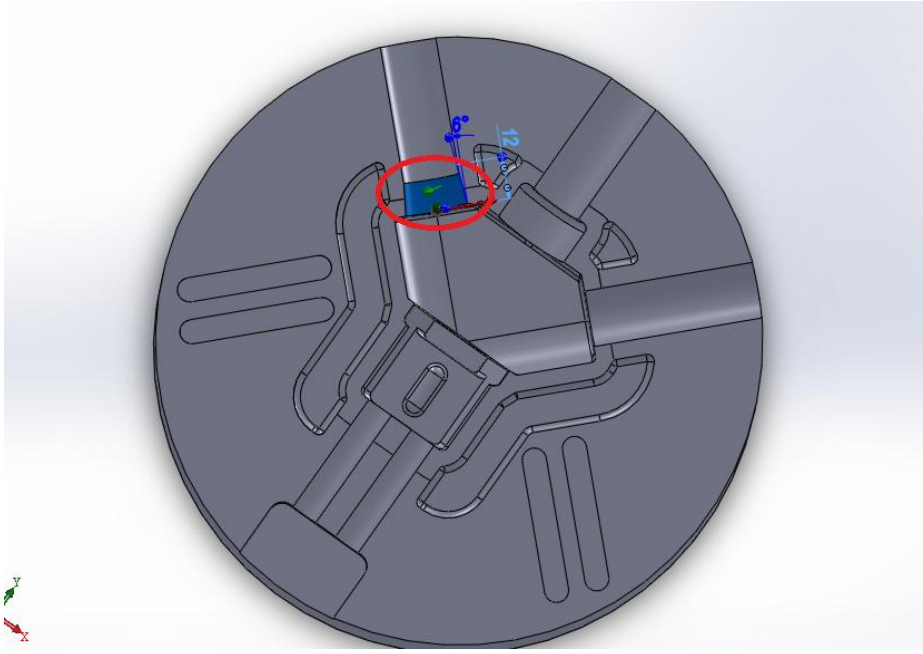


Рис. 9. Полуматрица с коническими проточками под боковые пуансоны

При моделировании процесса с указанными выше изменениями полностью не удалось предотвратить затекания металла на пуансоны: коническая полость оказалась слишком мала, а металл стал также затекать на центральный пуансон (рис. 10).

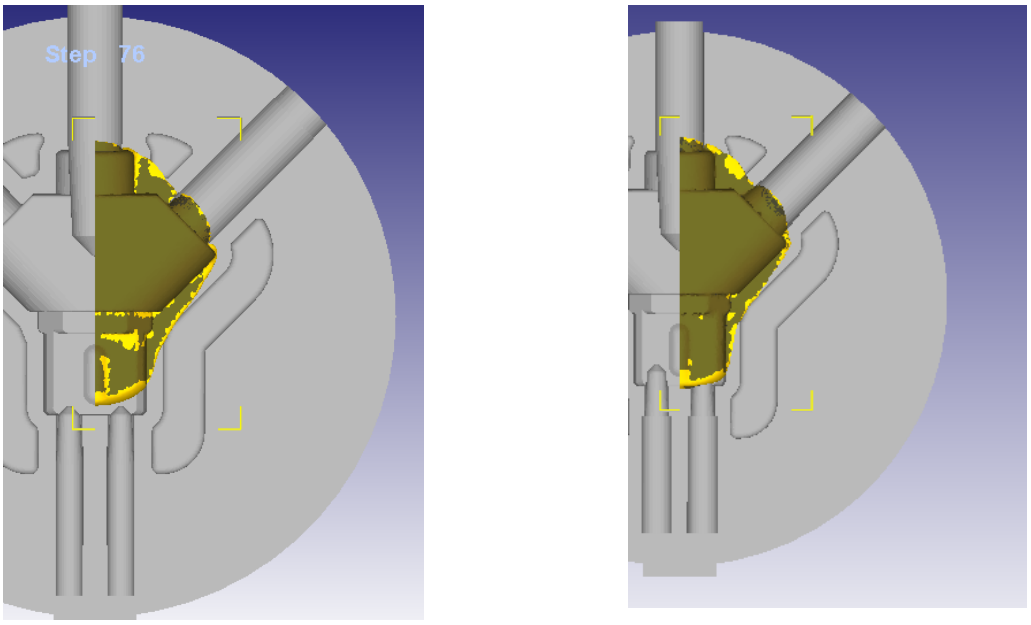


Рис. 40. Затекание металла при наличии конической полости

Анализ полученных результатов позволил построить гипотезу, что подобного брака можно избежать, если выполнить в полуматрицах цилиндрические проточки под боковыми и центральным пуансонами и увеличить конические проточки под боковыми пуансонами (рис. 11).

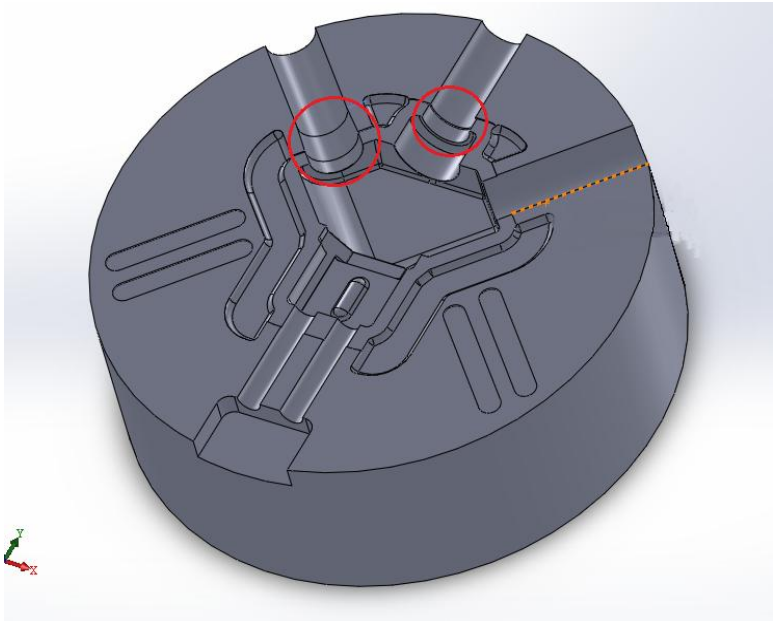


Рис. 11. Цилиндрическая проточка и конус на полуматрице

Моделирование со следующими параметрами: цилиндрическая проточка в полуматрицах длиной 3 мм (мостик облойной канавки) и коническая проточка с углом конуса 6º под боковыми и центральным пуансонами показало, что данные меры также не смогли полностью обеспечить хорошую заполняемость гравюры штампа, без затекания облоя на пуансоны и без его последующего деформирования (рис.12).

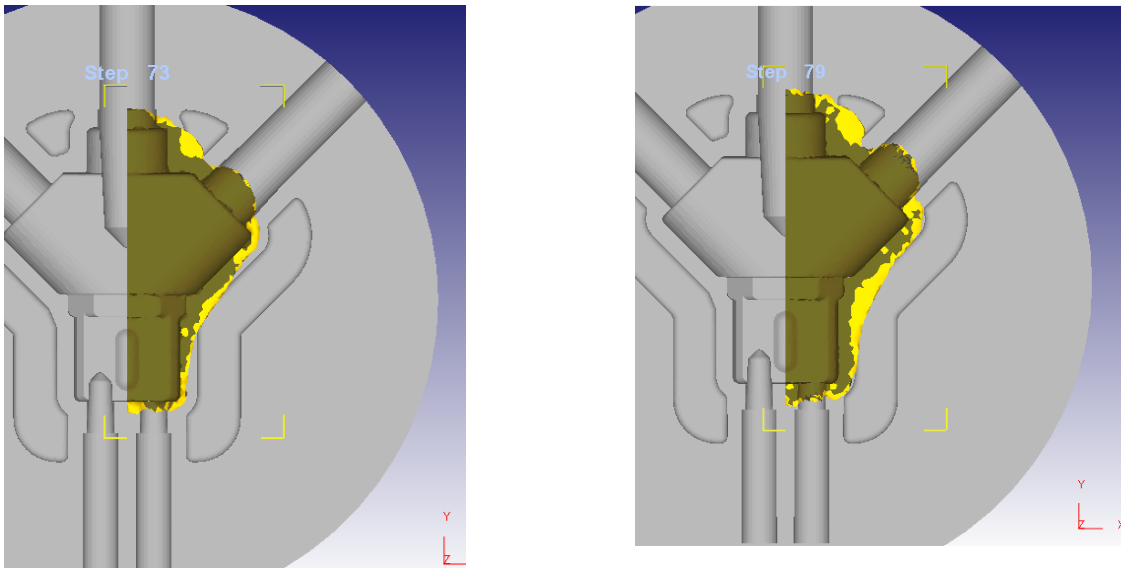
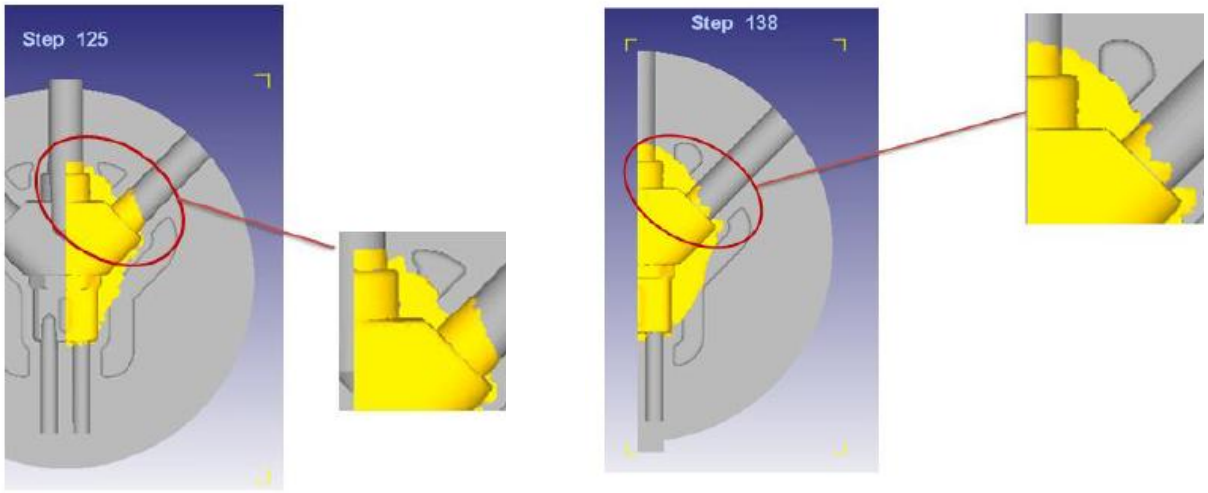


Рис. 52. Затекание металла на пуансоны

При исходной геометрии штампа конфигурация облойного мостика такова, что металл упирается в облойный мостик, это мешает его плавному течению и приводит к образованию дефектов поковки. Для того чтобы избежать образования таких дефектов, была изменена конфигурация облойного мостика, что привело к более плавному течению металла (рис. 13).



а) б)

Рис.6. Распределение металла в месте облойного мостика: а) – исходная геометрия ручья; б) – после изменения конфигурации

Для получения бездефектной поковки в местах под боковые пуансоны была выполнена цилиндрическая проточка (рис.14), которая позволила беспрепятственно течь металлу без образования зажимов и трещин (рис.15).

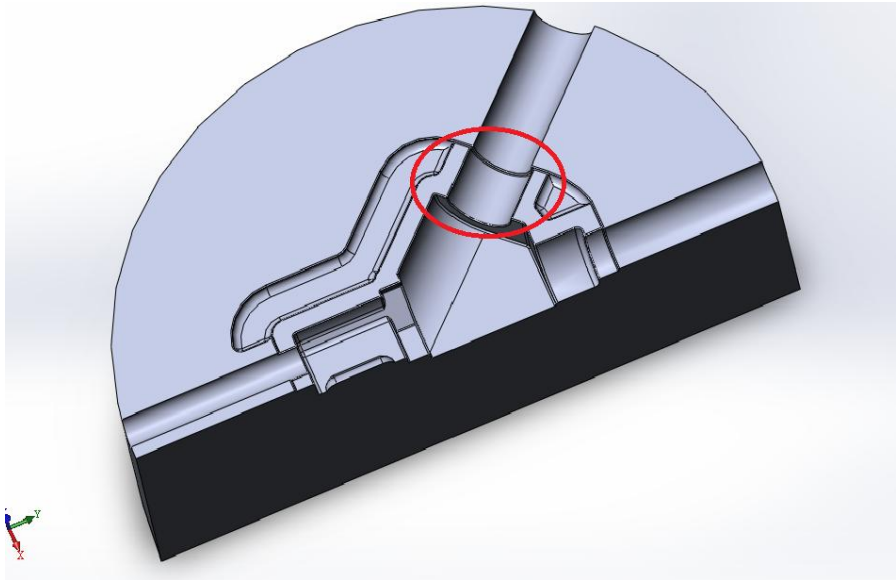


Рис.14. Полуматрица с цилиндрическими проточками под пуансонами

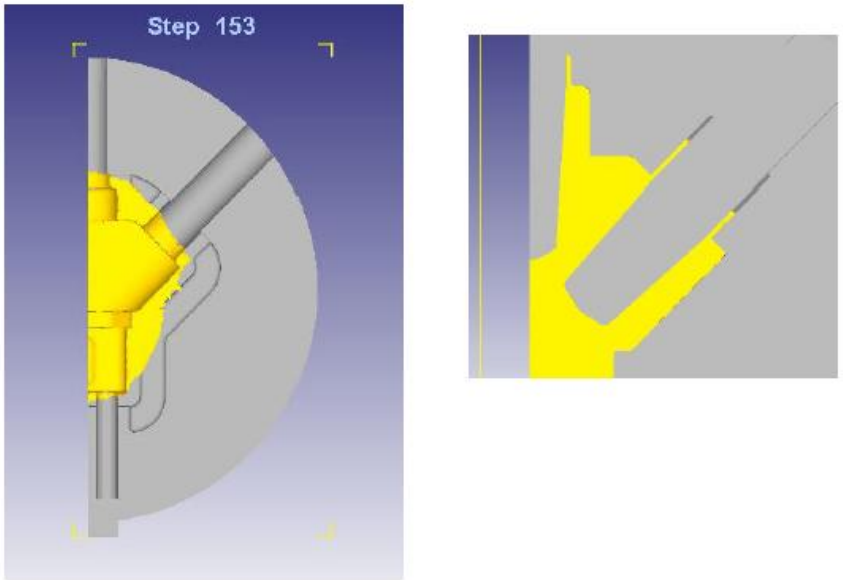


Рис. 7. Распределение металла в полуматрице с цилиндрическими проточками.

В результате моделирования была получена поковка с бездефектной структурой (рис.16).

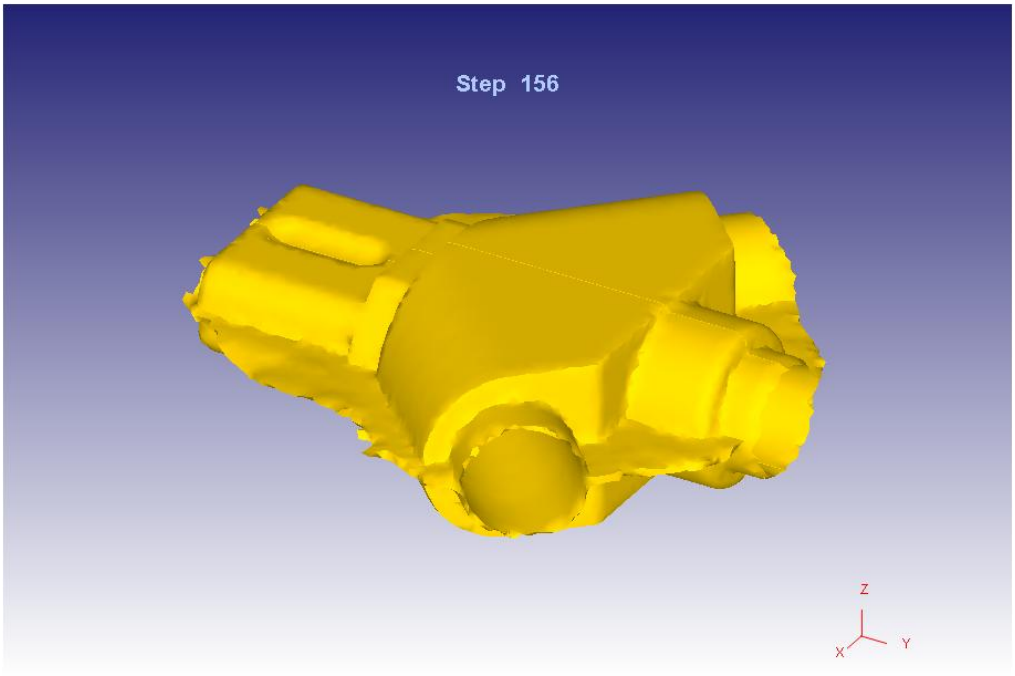


Рис.16. Поковка

Заключение

В результате проведенного моделирования в программном комплексе DeForm-3D был исследован технологический процесс штамповки, выявлены параметры, влияющие на образование трещин и предложены пути устранения получаемых дефектов. Были подобраны скорости движения наметочных пуансонов, обеспечивающие оптимальное прохождение технологического процесса, а также предложены пути изменения геометрии штамповой оснастки, для изготовления более качественных поковок.

Список литературы

1. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 2. Горячая объемная штамповка. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Е.И.Семенова. - М.: Машиностроение, 2010. 720 с.: ил.
2. М. В. Сторожев, П. И. Середин, С. Б. Кирсанова. Технология ковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов. – М.: Высшая школа, 1967.
3. Kobayashi S., Oh S. I., Altan T. Metal forming and the finite element method. Oxford, 1989, 378 p.