

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СФЕРОДВИЖНОЙ ШТАМПОВКИ В QFORM 3D

Койдан И.М.

МГТУ им. Н.Э.Баумана

Кафедра "Технологии обработки металлов давлением"

Научный руководитель: к.т.н., Гладков Ю.А.

Процесс сферодвижной штамповки, представляет собой одну из разновидностей обработки металлов давлением и сводится к изменению формы заготовки в соответствии с требуемыми очертаниями изделия путём периодического обжатия рабочими органами, совершающими относительно оси заготовки радиальное и вращательное движение, осевое и вращательное движение. Заготовка при этом может оставаться неподвижной или совершать вращательное движение. При этом происходит две деформации сжатия и одна растяжения.

Отличительной особенностью процессов сферодвижной штамповки является локальная зона пластической деформации при холодном, полугорячем и горячем деформировании.

Такие процессы имеют существенные преимущества по сравнению с традиционными методами штамповки: значительное снижение силы деформирования до 20...25 раз (рис.1); получение поковок с большим отношением диаметра к высоте (более 20); расширение области рационального использования холодных деформационных процессов для получения точных заготовок и готовых изделий, при этом существенно снижается материалоемкость производства и уменьшается объем механической обработки; возможность получения деталей, штамповка которых обычными методами невозможна либо затруднена из-за опасности разрушения инструмента.

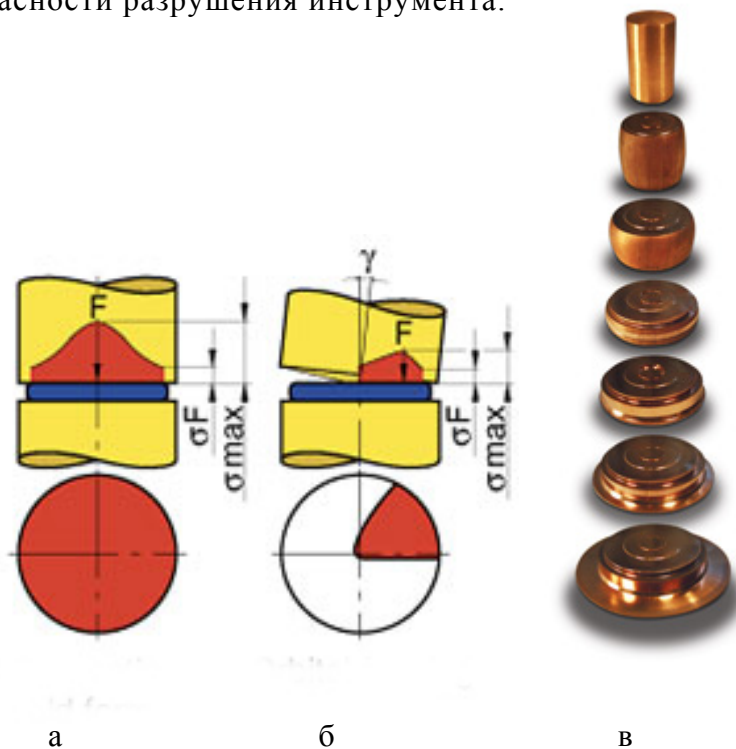
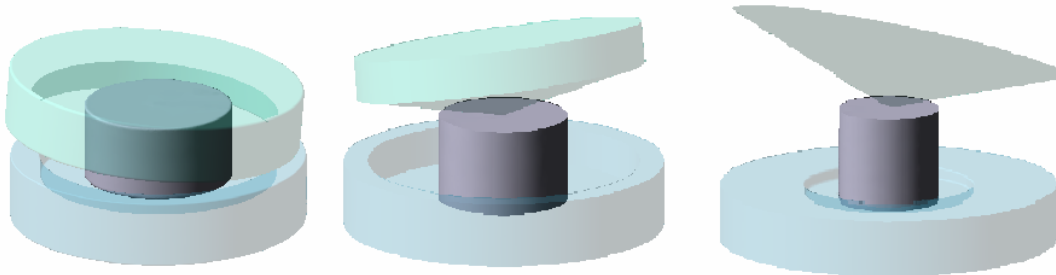


Рис.1. Зона действия силы деформирования на заготовку при осадки в торец (а) и при сферодвижной штамповке (б); в - последовательность формоизменения заготовки в процессе сферодвижной штамповки

Наиболее наглядно проследить за ходом этого процесса нам помогает моделирование. Программный комплекс QForm 3D (www.qform3d.com) предназначен для моделирования процессов объёмной штамповки. В новой версии QForm появились возможности для моделирования процессов с инструментами, имеющими вращательное и поступательное движение, то есть процессов, схожих со сферодвижной штамповкой.

В ходе работы были рассмотрены три варианта геометрии инструмента (рис.3)



*Рис. 3. Варианты геометрии инструмента:
а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3*

Во всех трёх процессах было использовано одно и то же оборудование, одинаковая смазка между заготовкой и матрицей (трение между заготовкой и пуансоном равно нулю), однако угол конусности у обкатного инструмента разный во всех трёх вариантах. Угол наклона оси инструмента к вертикальной оси соответствует углу его конусности, соответственно в начальный момент времени линия контакта инструмента и заготовки проходит по всему радиусу заготовки.

По требованиям QForm к геометрии инструмента [4] важно, чтобы обкатный инструмент на вершине конуса имел радиус скругления. Кромки матрицы также должны иметь скругления.

Положение заготовки на матрице в вариантах 1 и 2 нефиксированное (заготовка свободно лежит на поверхности матрицы), поверхность матрицы гладкая, без ступеней. Поэтому здесь необходимо более ответственно подходить к выбору угла конусности и подачи инструмента. В третьем варианте заготовка установлена в небольшом цилиндрическом углублении матрицы, что делает её фиксированной.

Особенности подготовки расчёта: начальная температура заготовки - 1200 С, инструмент подогрет до температуры 200 С. Перед началом расчёта отсутствует охлаждение на воздухе. Материал - сталь45. Характерной особенностью данного моделирования является отсутствие трения между заготовкой и обкатным инструментом, что необходимо для задания граничных условий, сходных с условиями, полученными вращательным движением обкатного инструмента вокруг своей оси.

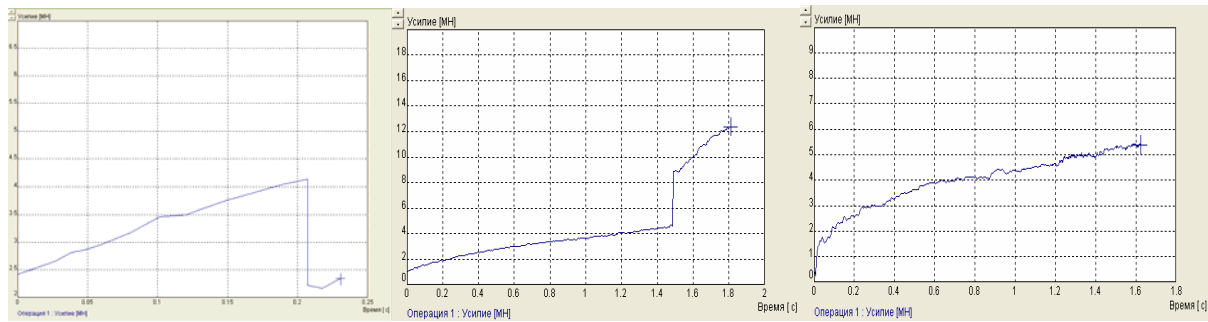
Вариант 1: Геометрия пуансона и матрицы может быть любой (однако сложность геометрии увеличивает время расчёта). Важно следить за тем, чтобы в процессе обкатки пуансон и матрица на перекрывали друг друга, как произошло в этом варианте. Как только происходит перекрывание между инструментами происходит останов расчёта.

Вариант 2: геометрия пуансона имеет простейшую форму конуса. Заготовка свободно лежит на матрице. Характер деформирования и пятно контакта очень схоже с реальным процессом. Виды графиков соответствуют ходу процесса. Постоянно нарастают усилия, работа и мощность со временем.

Вариант 3: этот вариант отличен от предыдущих тем, что заготовка находится в небольшом цилиндрическом отверстии в центре матрицы. Данный вариант

представляет большой интерес, так как наиболее приближен к реальному процессу по способу деформирования. Более подробно мы его рассмотрим ниже.

Если посмотреть на графики (рис. 4-6), то хорошо видно, что они имеют одинаковый характер: графики усилие-время, работа-время, мощность-время возрастают по одинаковым законам. Первые два варианта рассчитывались на версии программы 4.1.6., обладающей меньшей устойчивостью расчета в сравнении с версией 4.2.1, на которой рассчитывался 3 вариант. На графиках для первых двух вариантов видны скачки, которые произошли вследствие сбоя расчета.

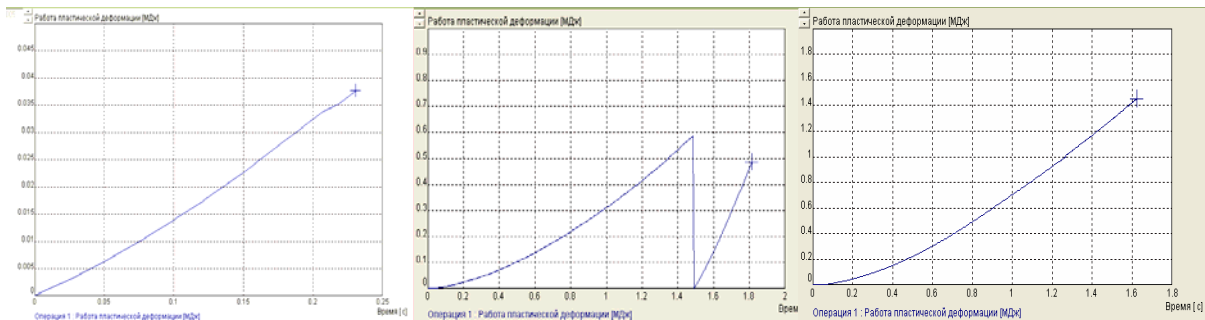


Вариант 1

Вариант 2

Вариант 3

Рис. 4. Графики зависимости усилия от времени

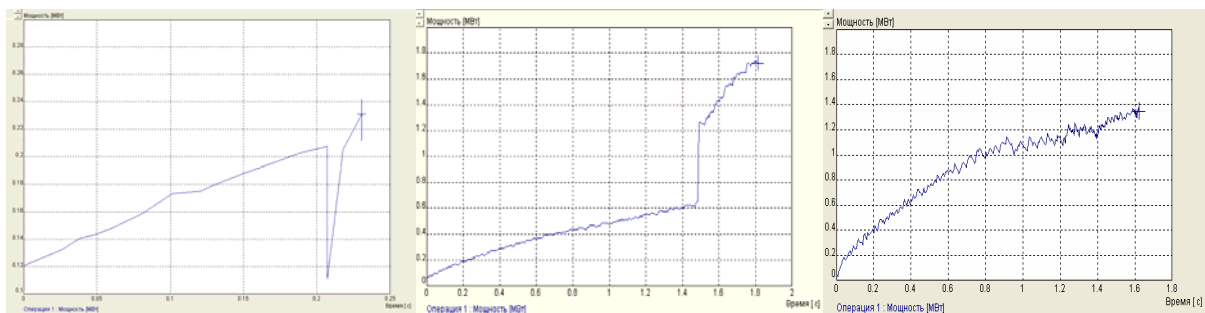


Вариант 1

Вариант 2

Вариант 3

Рис. 5. Графики зависимости работы пластической деформации от времени



Вариант 1

Вариант 2

Вариант 3

Рис. 6. Графики зависимости мощности от времени

Рассмотрим более подробно третий вариант. Геометрия исходной заготовки и рабочих инструментов представлена на рисунке 7. Параметры оборудования: тип привода – вращательный; линейная скорость – 50 мм/с; направление вращения – по часовой стрелке; скорость вращения – 60 об/мин. Ход инструмента в вертикальном направлении за весь период расчёта – 400 мм, угол поворота 2880 град, время протекания процесса – 3,6 с.

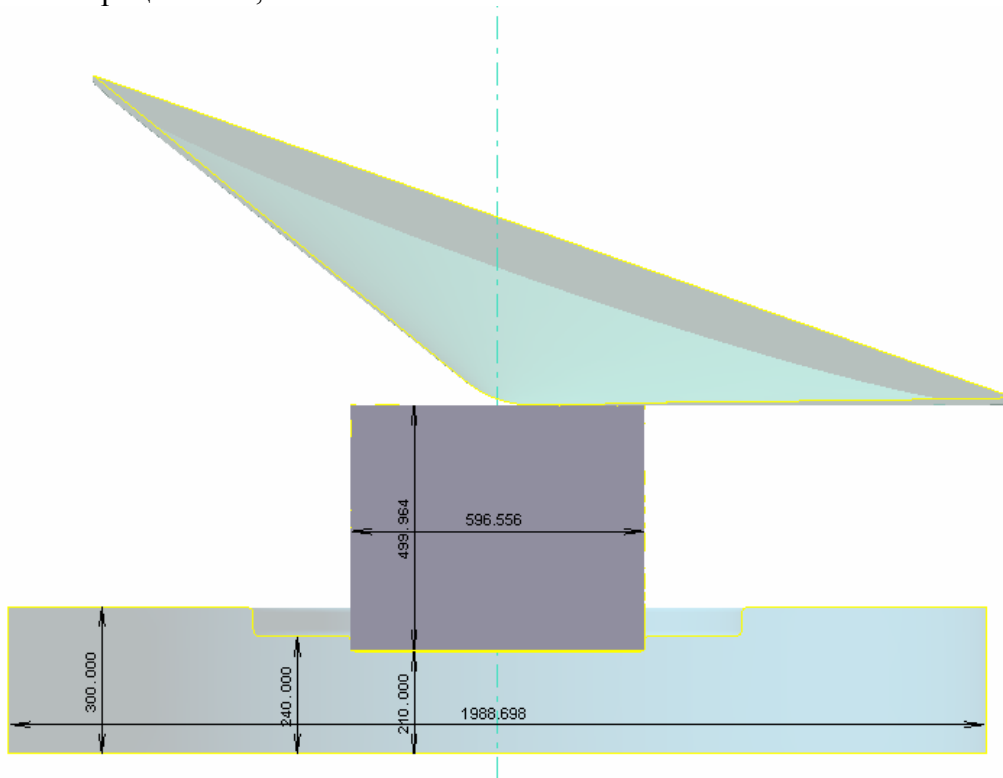


Рис. 7. Геометрия исходной заготовки и рабочих инструментов

При импортировании 3D модели в графический редактор QDarf проводится триангуляция поверхности модели, то есть её разбиение на сетку конечных элементов. В этот момент можно регулировать количество узлов инструмента. Большое количество узлов способствует более высокой точности аппроксимации поверхности, однако приводит к замедлению расчета. По сравнению с двумя предыдущими вариантами в этом количестве узлов сетки КЭ увеличено (рис. 7).

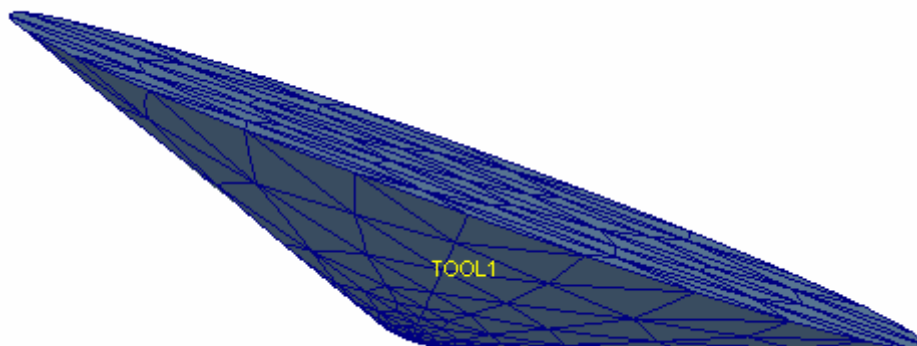


Рис. 7. Разбиение поверхности модели инструмента на конечные элементы

Итак, рассмотрим результаты моделирования. Обратим внимание на графики. Хорошо заметно, что графики зависимости усилия и мощности от времени имеют неравномерный волнообразный характер. Такое влияние на графики оказывает плотность разбиения сетки в пятне контакта. В данном случае оно недостаточно мелкое. В ходе процесса количество элементов сетки на пятне колеблется, соответственно колеблется и величина площади пятна контакта. А так как сила деформирования прямо пропорционально зависит от площади контакта, то и её величина имеет такой же характер изменения.

$$P_{\partial} = p_{cp} f$$

где p_{cp} - средняя удельная сила на контакте инструмента с заготовкой;

f - площадь контакта инструмента с заготовкой;

Вместе с тем, графики имеют верный характер (рис. 8-10). В соответствии с формулами P_{∂} зависит прямо пропорционально от p_{cp} и от f . Эти параметры в свою очередь зависят от радиуса заготовки, который по ходу процесса увеличивается. Увеличивается радиус – увеличивается площадь контакта ($f = \lambda \pi R^2$) – увеличивается усилие, необходимое для продолжения процесса.

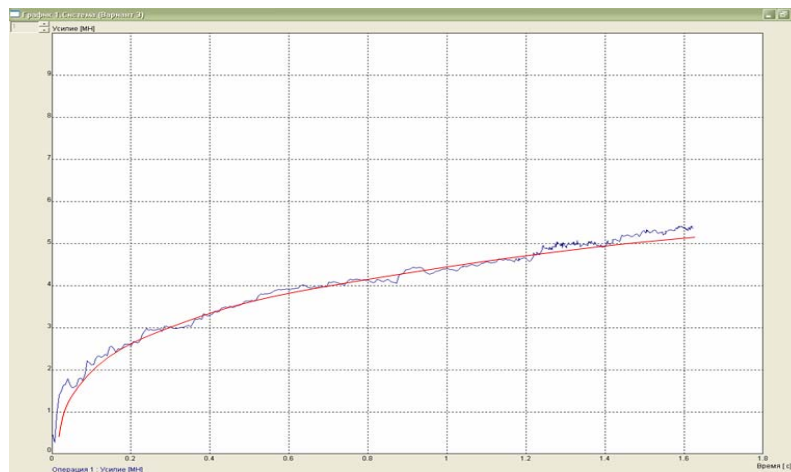


Рис. 8. График зависимости усилия от времени

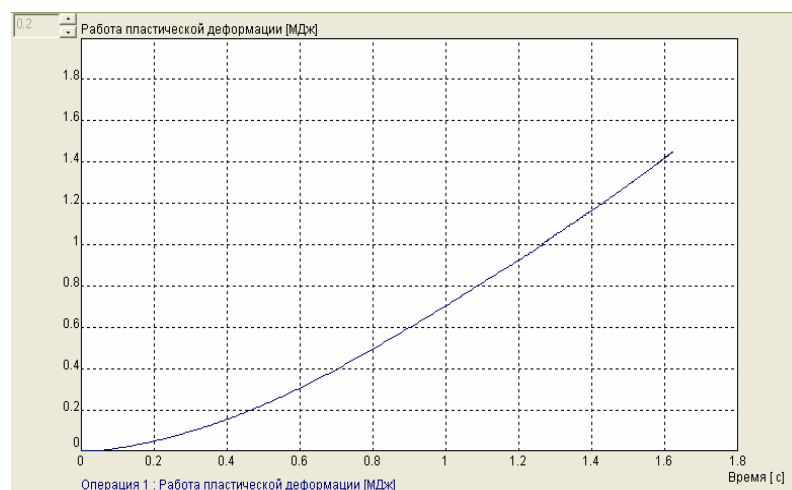


Рис. 9. График зависимости работы пластической деформации от времени

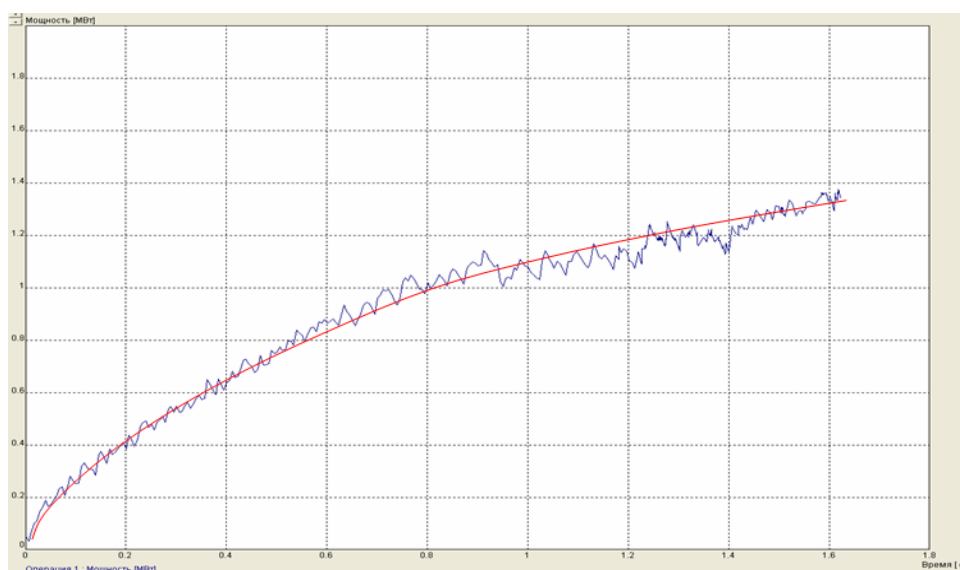


Рис.10. График зависимости мощности от времени

Важным показателем хода процесса обкатки является пятно контакта. На рисунке изображено пятно контакта (рис. 11). Как видно, оно имеет гладкие чёткие границы. Однако это условно (в какой-то определённый промежуток времени). В процессе обкатки площадь пятна контакта постоянно меняется, а именно увеличивается ($f = \lambda \pi R^2$).

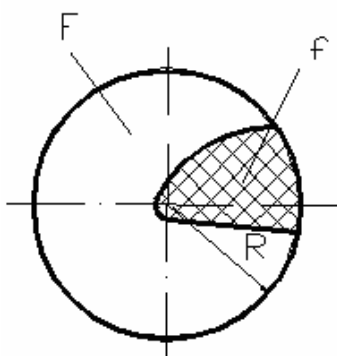


Рис. 11. Пятно контакта (схематично)

На рисунке 12 красной линией изображен контур пятна контакта по теоретическим сведениям, синяя область — пятно контакта, полученное в результате моделирования. Как видно, они не совсем совпадают. В данном варианте пятно, построенное QForm, имеет даже несколько угловатую форму. Это возникает вследствие недостаточно мелкой сетки КЭ.

Рассмотрим, как ведёт себя пятно контакта в процессе моделирования. В начальный момент времени пятно контакта имеет неширокую полосу по радиусу заготовки. Далее, площадь контакта постепенно увеличивается (рис. 13). Это связано как с постепенным уширением заготовки, так и с тем, что верхний инструмент вдавливаются в заготовку.

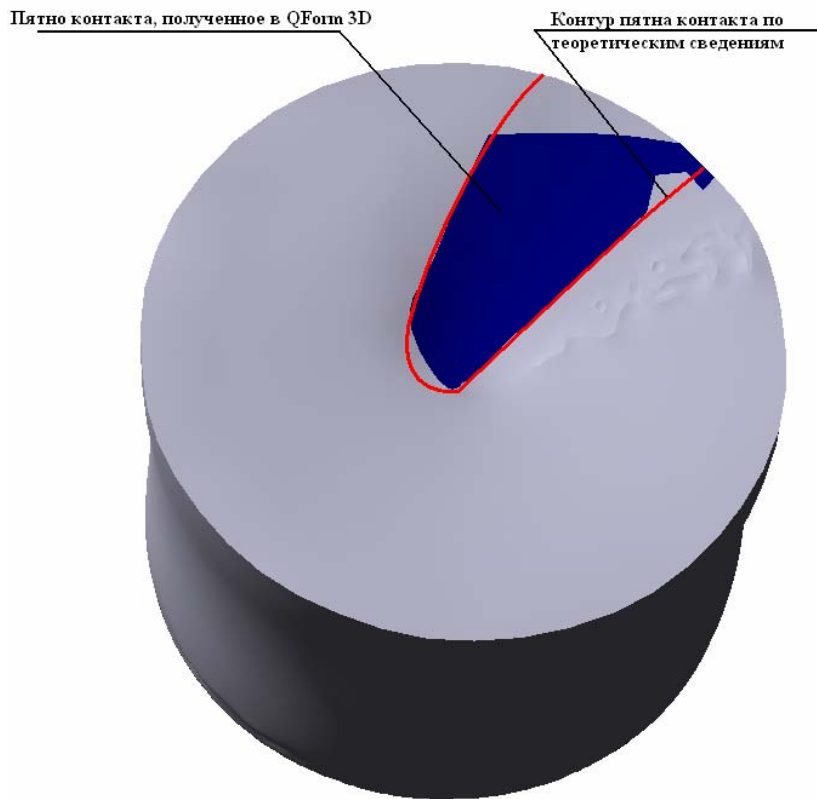


Рис. 12. Изображение пятна контакта на верхней торцевой поверхности заготовки

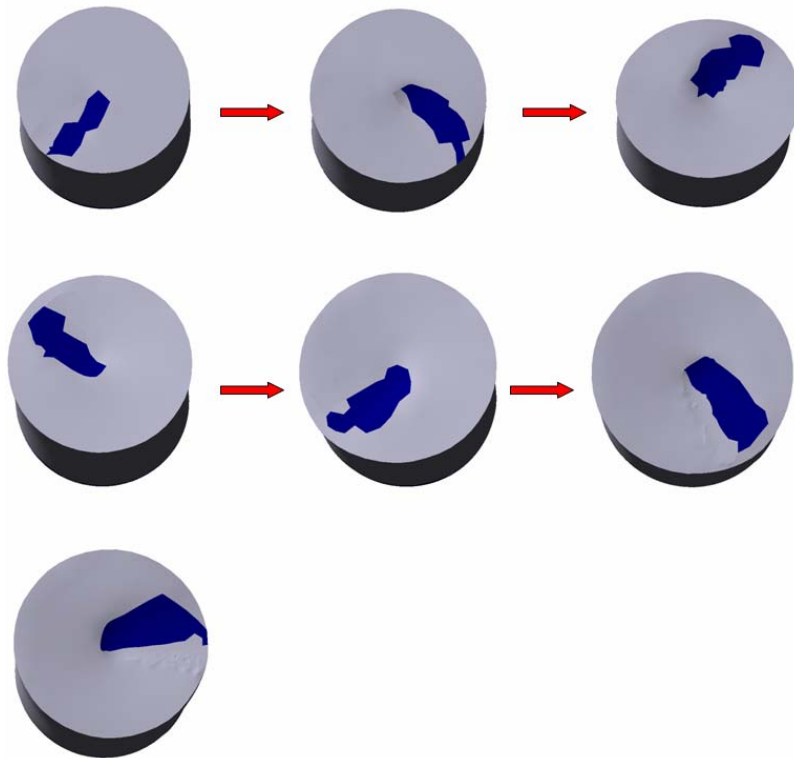


Рис.13. Изменение контура пятна контакта на верхней торцевой поверхности заготовки

Как видно по рисунку 7, в начале деформирования пятно контакта не достигает края заготовки. Всё дело в том, что заготовка не полностью фиксирована и начинает искривляться, торцевая поверхность заготовки отклоняется от горизонтали. А поверхность пуансона строго горизонтальна (рис. 7). И пуансон, в какой-то период, перестаёт касаться края заготовки. Постепенно степень деформации возрастает, и заготовка как бы обхватывает пуансон по его контуру, пятно контакта соответственно достигает края заготовки.

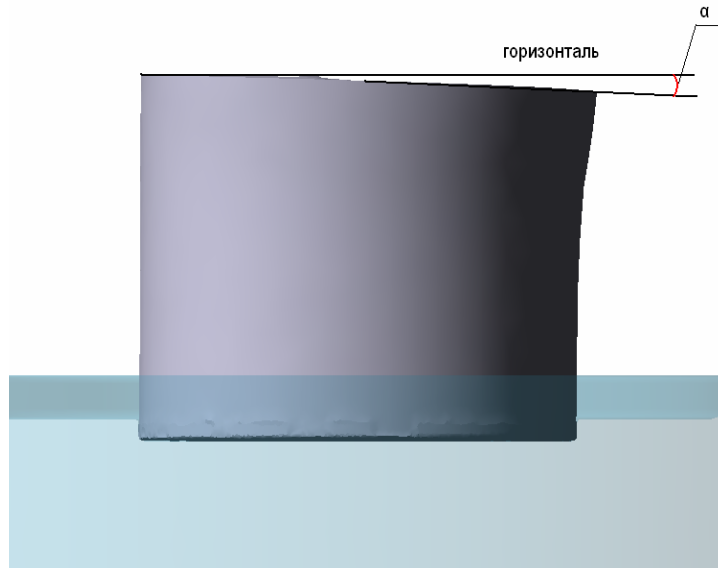


Рис.14. Отклонение торцевой поверхности заготовки от горизонтали

Интересен вид пятна контакта на нижнем торце заготовки. До деформации заготовка контактирует с матрицей по всей её торцевой поверхности. Под действием деформирующей силы часть заготовки начинает отходить от поверхности матрицы (рис 15). Возникает пятно контакта, локализованное на торцевой поверхности (рис. 16).

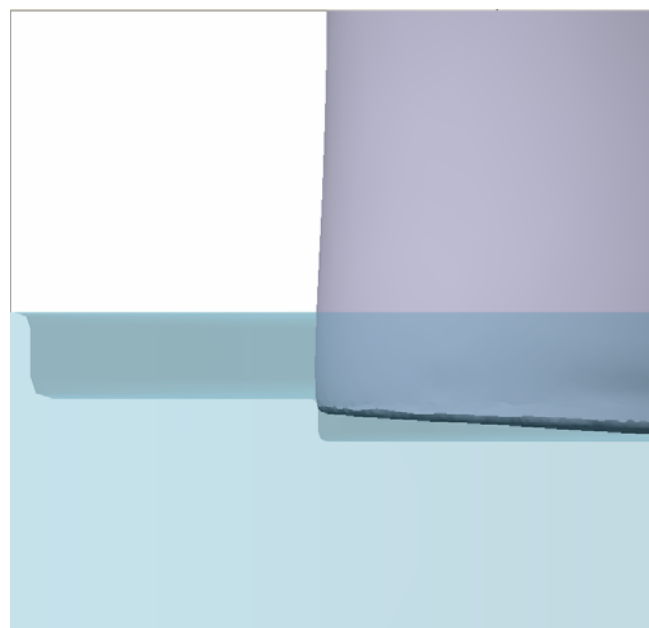


Рис. 15. Искривление нижней торцевой поверхности матрицы под действием деформирующей силы

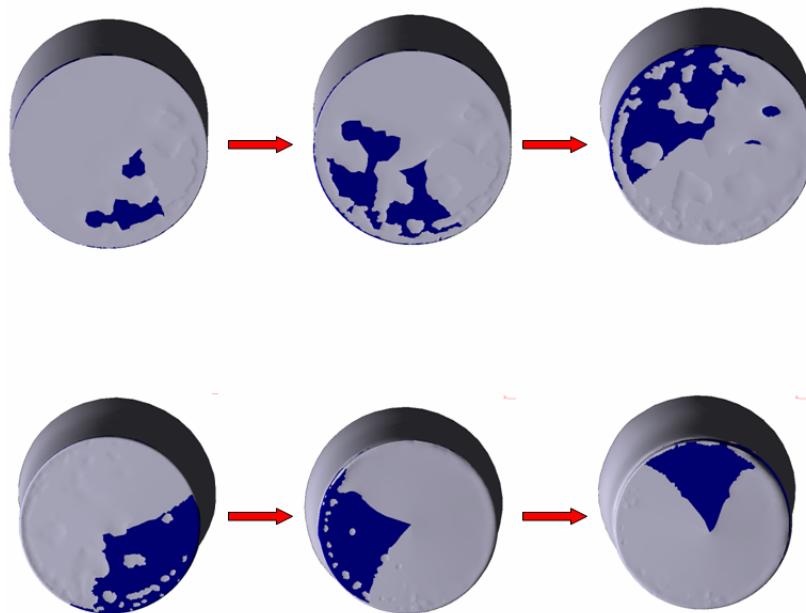


Рис. 16. Изменение контура пятна контакта на нижней торцевой поверхности заготовки

Как видно из рисунка 16, поверхность заготовки имеет многочисленные впадины. В процессах, проводимых на практике, такого явления не возникает. Причина возникновения этих «пузырей» в следующем. В рассматриваемой модели поверхности заготовки и матрицы непосредственно не касаются до начала деформации из-за наличия радиуса скругления. Существует некоторый зазор L между поверхностями (рис.17). С началом деформирования поверхности приближаются друг к другу. Как только расстояние между поверхностями становится меньше порогового значения, сетка КЭ поверхностей соединяется – возникает контакт между ними.

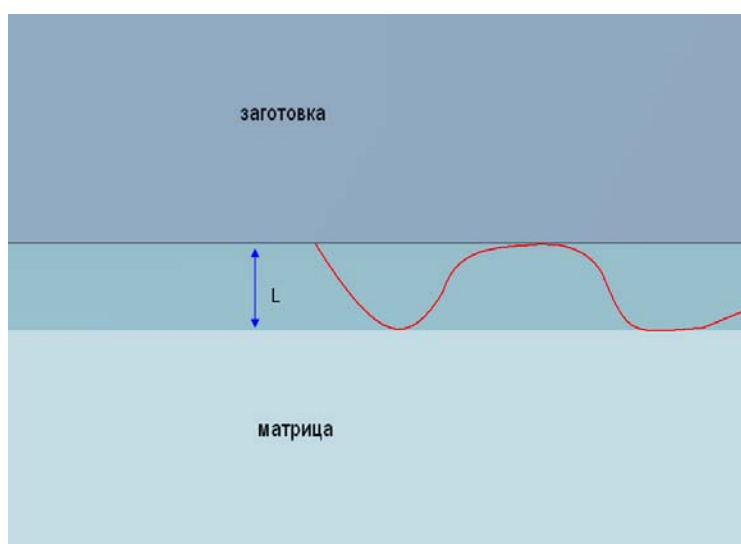


Рис. 17. Зазор между нижней торцевой поверхностью заготовки и поверхностью матрицы

В процессе работы были определены некоторые трудности, связанные с моделированием. Основными, из которых являются: отсутствие собственного

вращения инструмента вокруг своей оси, автоматически выбираемая сетка конечных элементов недостаточно мелкая, в месте контакта обкатного инструмента с заготовкой требуется специальное измельчение сетки. К некоторым погрешностям в расчёте привели не оптимально выбранные геометрические размеры заготовки и инструмента, а также слишком большой ход обкатного инструмента, в результате чего заготовка «играла» на поверхности матрицы. Для более точной формализации особенностей задания исходных данных для моделирования сферодвижной штамповки необходимо провести моделирование реального технологического процесса.

Литература

1. Конспект лекций по КШО Сафонова А.В.
2. www.qform3d.com
3. www.schmidpress.ch
4. Комплект документации к программе конечно-элементного моделирования QForm 2D/3D.