

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНФОРМ В ИНЖЕНЕРНОМ ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM-3D

Довженко Н.Н., д.т.н., профессор, Губанов И.Ю., Солопко И.В.
Сибирский федеральный университет, г.Красноярск

Способом непрерывного прессования Конформ изготавливают сплошные и полые изделия различного типоразмера из цветных металлов и сплавов. По типу применяемой заготовки различают способы непрерывного прессования Конформ прутков, металлических гранул, порошка, стружки и скрапа, а также бесслитковый способ непрерывного литья-прессования, обеспечивающий получение пресс-изделий непосредственно из жидкого металла. Основными элементами разных модификаций установок Конформ (рис.1) являются приводное колесо 1 с ручьем 2 на ободу и неподвижный башмак 3, который сопрягаясь с ручьем колеса, образует разъемный контейнер, поперечное сечение которого называется калибром. В башмаке установлена матрица 4 и имеется выступ 5, перекрывающий поперечное сечение ручья колеса и служащий стенкой контейнера и упором для заготовки. Матрица может устанавливаться в радиальном или (и) тангенциальном колесе направлениях, также применяют конструкции, в которых матрицы расположены под углом 30–60 градусов [1] с целью выравнивания скоростей истечения металла.

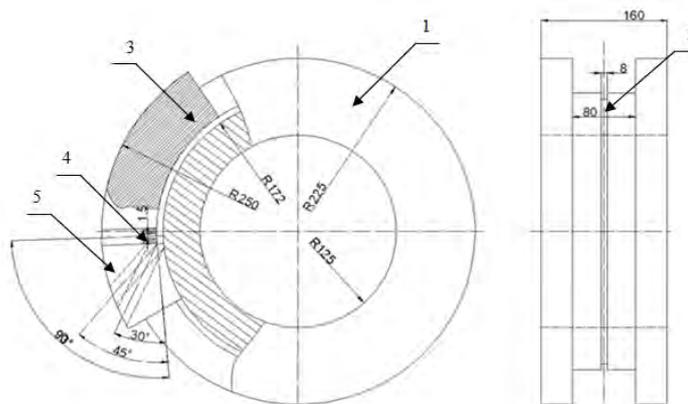


Рис. 1. Схема установки для моделирования процесса Конформ

Исходные данные для моделирования:

Материал заготовки – сплав АД31; материал инструмента: колесо, башмак и матрицы – сталь разных марок; размеры прутковой заготовки 8*8*200 мм; пресс-изделием является пруток диаметром 3 мм.

Краевые условия: температура окружающей среды 20°C; начальная температура заготовки составляет 350°C; начальная температура колеса, башмака и матрицы 250°C; варианты угла наклона матрицы: а) 90°; б) 45°; в) 30°; варианты размера калибра: а) 8*8 мм; б) 9*9 мм; в) 10*10 мм; г) 11*11 мм;

Кривые упрочнения материала заготовки и свойства инструментальных сталей были заменены на соответствующие американскому аналогу; условия контактного взаимодействия приняли с показателем трения 0,4; угловая скорость вращения колеса равна 0,5 об/с; установлены граничные условия третьего рода на плоскости симметрии.

Разработка компьютерной модели в пакете DEFORM-3D

Для реализации компьютерной модели процесса Конформ построили геометрическую трехмерную модель инструментального узла и заготовки в программном комплексе SolidWorks® 2009, далее импортировали ее в инженерный программный комплекс [DEFORM-3D](#) и задали каждому объекту свойства. Модели заготовки, подверженной деформации, указан тип объекта пластичный (Plastic), моделям колеса, башмака и матрицы – жесткий (Rigid). Сгенерировали сетку для каждого из объектов с оптимальным количеством элементов. Приводному колесу было задано вращение со скоростью 3,14 рад/с и направление вращения по правилу правой руки, вокруг оси X с перемещением во времени 0,001сек и количеством шагов равным 500. Расчет разбили на 2 этапа: распрессовка (продольное осаживание) заготовки с использованием Лагранжевого типа деформации (Lagrangian Incremental) и прессование через матрицу по типу Экструзии (Steady-State Extrusion) с учетом теплообмена.

Исследование кинематики течения металла

В данном расчете заготовкой для непрерывного прессования служит пруток, профилированный по размеру сечения контейнера. По мере перемещения заготовки вдоль контейнера она достигает упора, при этом продольное перемещение заготовки прекращается и она подвергается деформации продольного осаживания (распрессовке), заполняя по высоте поперечного сечения часть контейнера, разделяя тем самым всю длину контейнера на зону неполного контакта со стороны подачи заготовки и зону полного контакта, примыкающую к упору. Зона неполного контакта непрерывно подпитывает зону полного контакта металлом при продольном движении его к матрице. Зона неполного контакта должна обеспечивать давление, необходимое для распрессовки заготовки, по мере развития давления в зоне полного контакта до достижения силами активного трения заготовки о поверхность контейнера величины, способствующей выдавливанию металла в канал матрицы. Для подтверждения расчетного характера течения металла был выбран экспериментальный метод координатных сеток и смоделирован разрез заготовки с нанесением сетки и размером ячейки 2x2 мм.

На рис.2(а) представлен вид координатной сетки характера течения металла под углом 90 между продольными осями канала матрицы и контейнера, полученный экспериментальным путем в работе [1], сетка, полученная путем моделирования рис.2(б), идентична сетке полученной экспериментально, что свидетельствует о достаточной точности моделирования. Для определения влияния характеристик установки на качество пресс-изделия смоделировали процесс с углом наклона матрицы равным 45° и 30°, координатная сетка характера течения металла приведена на рис.2(в,г). Согласно рис.2, наиболее благоприятным наклоном матрицы является угол 30°, так как в этом варианте протекает более четкое выравнивание сетки и в отличие от вариантов с наклоном матрицы под углом 45° и 90°, это наглядно свидетельствует о равномерном течении металла и достижении минимума разности скоростей течения металла по верхней и нижней границам зоны деформации, что характерно для традиционного прессования и доказано в работах [1,3].

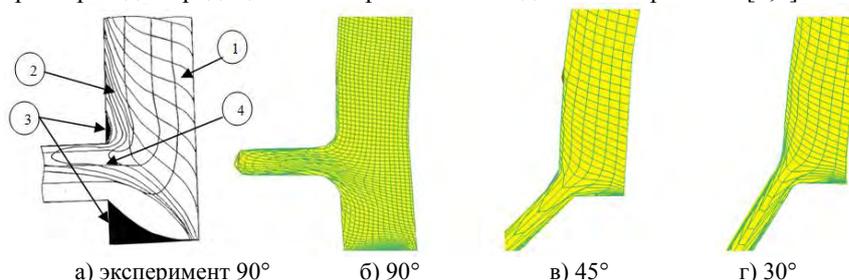


Рис.2. Координатная сетка при установившемся процессе Конформ с разными наклонами угла матрицы

Проанализировав характер течения металла по изменению координатной сетки по рис.2(а), отметили, что при радиальном истечении металла неравномерность деформации возникает уже в контейнере, аналогично рис.2(б). Три стороны ручья колеса за счет активного трения в зоне полного контакта подают заготовку к матрице, преодолевая силу контактного трения по четвертой, неподвижной стороне разъемного контейнера, что приводит к неравномерности продольного движения металла по высоте сечения контейнера, слои на контактной поверхности с ручьем колеса (позиция 1) опережают слои металла располагающиеся на контактной поверхности с башмаком (позиция 2). В приконтактном к башмаку слое формируются жесткие зоны (позиция 3), проявляющиеся в том, что слои металла, прилегающие упору и к неподвижному башмаку, испытывают интенсивные деформации чистого сдвига. При этом давление у упора оказывается достаточным для возникновения обратного течения от него в матрицу (позиция 4).

Анализ энергосиловых условий процесса

Энергосиловые параметры при непрерывном прессовании во многом определяет коэффициент вытяжки λ . При помощи DEFORM-3D были определены показатели крутящего момента на валу приводного колеса при разных коэффициентах вытяжки, построены графики и экспортированы в табличный вид текстового документа, после чего перенесены в Excel с последующим построением графиков. Как показано на рис.3 величина крутящего момента на валу колеса, полученная моделированием при всех значения коэффициента вытяжки, начинает резко расти при распрессовке заготовки в контейнере, далее он достигает своего максимального значения непосредственно при непрерывном прессовании и остается постоянным, что свидетельствует о установившемся процессе непрерывного прессования.

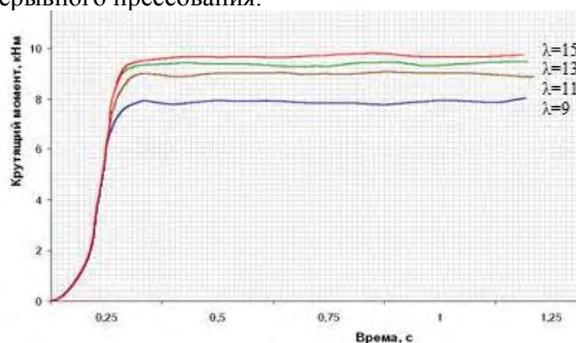
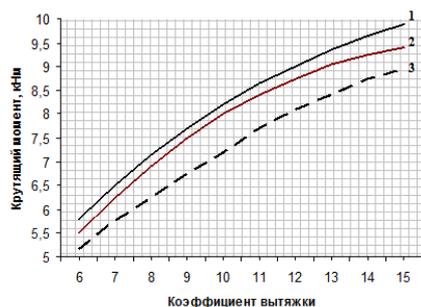


Рис.3. Изменение во времени величины крутящего момента на валу колеса при различных коэффициентах вытяжки

По результатам моделирования была построена зависимость крутящего момента на валу колеса от коэффициента вытяжки, представленная на рис.4. Проанализировав данные, видим, что крутящий момент на валу колеса увеличивается с ростом степени вытяжки.



1 – эксперимент; 2 – модель; 3 – расчет
Рис.4. Зависимость крутящего момента от коэффициента вытяжки

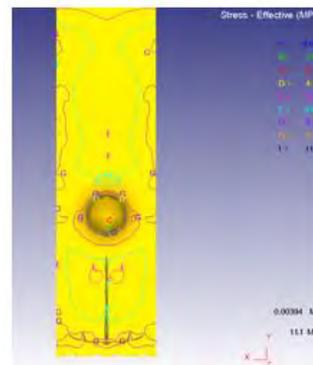


Рис.5. Эпюра распределения напряжения на контакте заготовки с матрицей в направлении оси прессования

Давление прессования на матрицу в явном виде получить не представляется возможным, поэтому было получено распределение напряжения по оси прессования Z на поверхности контакта заготовки и матрицы при $\lambda=9$ в виде эпюры приведенной на рис.5. Очевидно, что среднее напряжение на поверхности в области матрицы лежит в диапазоне от F = 6,94 МПа до G = 8,33 МПа.

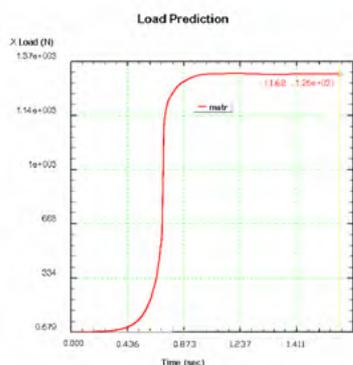


Рис.6. Усилие прессования по времени

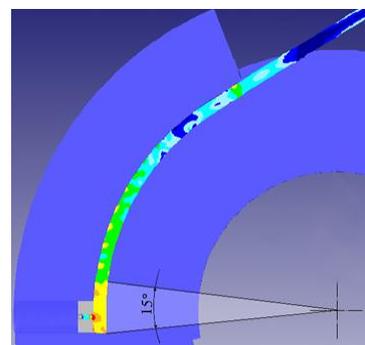


Рис.7. Зона полного контакта распрессованной заготовки с контейнером

В постпроцессоре DEFORM-3D, воспользовались построением графика изменения усилия прессования по времени при $\lambda=9$ (рис.6).

Определение длины зоны полного контакта

Для стабильности протекания процесса непрерывного прессования способом Конформ моделированием в DEFORM-3D по области максимальных значений напряжений полностью распределенных по контактной поверхности распрессованной заготовки со стенками контейнера нашли угол, определяющий длину зоны полного контакта заготовки с контейнером при $\lambda=9$, равный 15° и указанный на рис.7.

Вывод

Многовариантный анализ напряженно-деформируемого состояния и энергосиловых затрат путем моделирования в DEFORM-3D показал достаточную сходимость с результатами автоматизированного расчета [4] и экспериментальными исследованиями представленными в работах [1,2], проведенными на опытной установке Конформ [5] в лаборатории кафедры «Обработки металлов давлением» Сибирского федерального университета, отклонение данных компьютерного моделирования от экспериментальных, находятся в пределах 5-7%, что говорит о адекватности модели реальному процессу.

Список используемых источников

1. Корнилов В.Н. Непрерывное прессование со сваркой алюминиевых сплавов. Красноярск: изд-во педагогического института, 1993. – 216с.
2. Ю. В. Горохов, В. М. Сергеев, В. Н. Корнилов. Силовые параметры непрерывного прессования металла способом Конформ // Цветные металлы, 1987, № , с.73-75.
3. Ю.В. Горохов, И.В. Солопко, В.П. Сулов, М.А. Крылов. Особенности пластического течения материала заготовки в деформационной зоне при непрерывном прессовании способом Конформ // Цветные металлы 2010, №12, с.69-71.
4. Горохов Ю.В., Губанов И.Ю., Солопко И.В. Расчет технологических параметров непрерывного прессования методом Конформ. Свидетельство РФ № 2011611626. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17.02.2011.
5. А.с. 1491600 СССР, МКИ В 21 С 23/08. Устройство для непрерывного прессования цветных металлов и сплавов / В.М. Сергеев, В.А. Антич, Ф.С. Гилевич, Ю.В. Горохов, Н.Н. Довженко, А.М. Смирнов (СССР). - №4263556/25-27; заявл. 17.06.87; опубл. 07.07.89, Бюл. №25, 2с.