

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

**Астрашабов И. О., Белан Н. А., Клеменкова Д. В.**

**научные руководители: канд. техн. наук Константинов И. Л., канд. техн. наук  
Губанов И. Ю.**

*Сибирский федеральный университет*

Благодаря сочетанию малой плотности, высокой прочности и коррозионной стойкости алюминиевые деформируемые сплавы широко используются в промышленности в качестве конструкционного материала. Одним из основных способов получения заготовок для деталей из этих сплавов, особенно востребованных в самолетостроении, является горячая объемная штамповка, при использовании которой высокая пластичность алюминиевых сплавов позволяет придавать штампованным поковкам сложную форму с резкими переходами сечения и сложными элементами рельефа. Однако расширение номенклатуры изделий из этих сплавов требует затрат на разработку и освоение новых технологий, их опробование и т.д., что сказывается на повышении себестоимости продукции. В связи с этим исследования и эксперименты в условиях действующего кузнечно-штамповочного производства, использующего мощное деформирующее оборудование и многотонный инструмент, имеют следующие недостатки:

- большие энергозатраты и риск получения некачественной продукции;
- невозможность или высокая стоимость изменения параметров процесса в широких диапазонах;
- вероятность аварии и поломки оборудования и др.

Из этого следует, что моделирование при разработке технологических процессов горячей объемной штамповки следует считать актуальным, т.к. позволяет снизить затраты на эту процедуру и сделать ее оптимальной.

Моделированию в обработке металлов давлением в последнее время уделяется большое внимание и под ним понимают построение моделей существующих объектов и процессов, изучение этих моделей для использования полученных знаний в реальном производстве. Компьютерное моделирование позволяет виртуально проследить картину деформирования металла, выявить приемлемые границы изменения параметров, что делает возможным решение основной задачи промышленного производства – получение максимальной эффективности при минимальных затратах. Важным отправным моментом моделирования является тщательный анализ существующих технологий и на базе этого выбор наиболее перспективных направлений по освоению новых технологий.

В связи с этим становится выгодно провести сначала эксперименты виртуально или в меньших масштабах, найти приемлемые границы изменения параметров, или выйти на область параметров, которая бы давала в итоге наилучшее сочетание цены и качества.

В компьютерном моделировании для автоматизации оптимизации технологических процессов применяются интегральные системы, которые обычно включают три типичных элемента: выбор целевой функции и связей; расчет целевой функции; поиск такого сочетания параметров проектирования, которое обеспечивало бы минимум или максимум целевой функции.

В процессах горячей объемной штамповки целевая функция может включать: массу заготовки, которую стремятся свести к минимуму; заполняемость гравюры

штампа, которая должна быть максимальна и т.п. Связи могут представлять собой допускаемые деформации, скорость деформации, температуру, предотвращающую появление дефектов, максимальное напряжение в инструменте и др.

Для горячей объемной штамповки в последнее время часто используют программные комплексы QFORM и DEFORM, позволяющие моделировать практически все процессы обработки металлов давлением.

Моделирование в комплексе программы QFORM, которое применялось в настоящей работе, основано на методе конечных элементов (МКЭ), являющимся численным методом решения дифференциальных уравнений с частными производными. Основным достоинством метода является возможность его применения для областей любой формы. Суть метода заключается в том, что область, в которой ищется решение системы дифференциальных уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние металла, разбивается на конечное количество подобластей (элементов). В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. Вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций на границах элементов (в узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны. Так как каждый из элементов связан с ограниченным количеством соседних элементов, то система линейных алгебраических уравнений имеет разреженный вид, что существенно упрощает её решение.

Программное обеспечение, базирующиеся на МКЭ, должно включать модули для выполнения следующих функций: ввода данных (препроцессора), вычислений (процессора), вывода результатов (постпроцессора).

В программном обеспечении систем автоматизированного проектирования функции ввода и вывода особенно развиты, так как они сокращают время получения данных и оценки результатов в ходе моделирования. Вычислительный модуль в основном использует элементы основной конфигурации технических средств: арифметический процессор, оперативную память, внешнюю память большой емкости.

Чаще всего встречается следующая организация программного обеспечения для МКЭ:

- единая программа для всех функций;
- одна программа – для ввода и вывода, другая программа – для расчета;
- отдельная программа на каждую функцию.

Использование единой программы, управляющей всеми функциями, позволяет осуществлять быстрый переход от одной процедуры к другой. Единая программа особенно эффективна в тех случаях, когда необходимо многочисленное повторение цикла ввод-расчет-вывод.

В следующем возможном варианте пользователь отдельно пользуется модулем ввода-вывода и модулем вычисления. Это позволяет ему производить расчеты с разделением времени.

Последний вариант представляет собой цепочку «препроцессор – процессор – постпроцессор». При этом можно предусмотреть использование нескольких препроцессоров, представляющих пользователю разные возможности.

В большинстве публикуемых работ в качестве примеров для моделирования приводятся типовые штампованные поковки. Целью исследований, проведенных в данной работе, послужило моделирование действующего технологического процесса горячей объемной штамповки поковки типа «Кронштейн» из сплава АК6. Фотографии этой поковки представлены на рис. 1.

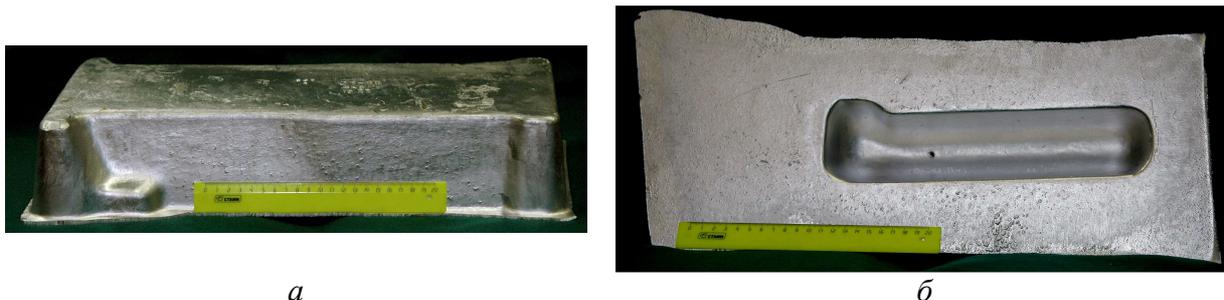


Рис. 1. Фотографии двух видов поковки типа «Кронштейн»

Для проведения исследований с помощью программы SolidWorks создавали трехмерные модели штампованной поковки «Кронштейн» и открытого штампа (рис. 2), которые затем загружали в препроцессор компьютерной вычислительной системы в виде файлов. После этого вводили температурные, скоростные и силовые режимы деформирования.

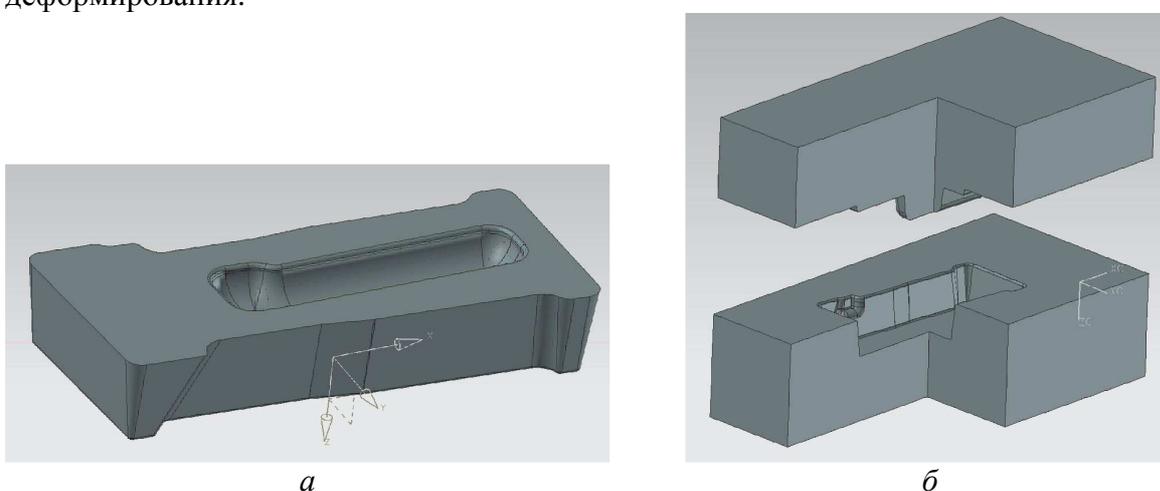


Рис. 2. Модели поковки типа «Кронштейн» (а) и штампа для нее (б)

Программа позволила построить зависимость усилия штамповки от рабочего хода пресса и проиллюстрировать процесс деформирования от заготовки до конечной формы штампованной поковки.

Таким образом, было показано, что с помощью компьютерного моделирования в программе «QFORM» можно анализировать реальные процессы горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов. Например, в рассмотренном производственном процессе по результатам моделирования было рекомендовано исключить операцию гибки и проводить штамповку в один переход. Предложенная корректировка была опробована на предприятии и принята к внедрению. При этом корректировка технологического процесса штамповки была проведена практически без изменения уже используемой штамповой оснастки.