

УДК 621.7.011

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ СПЛАВА АК4-1 ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ**

Потапенко Константин Евгеньевич

Аспирант 4 года

*кафедра «Машины и технологии обработки металлов давлением»,
Университет машиностроения (МАМИ)*

Научный руководитель: П.А. Петров,

кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Машины и технологии обработки металлов давлением»

При расчёте процессов объёмной деформации металла благодаря применению метода конечных элементов (МКЭ), реализованного в современных программах, например Qform, у технолога не возникает проблемы математического описания рассчитываемой технологической операции. Для получения максимально точного результата расчётов, который может обеспечить используемая программа, пользователю необходимо корректно задать граничные условия и данные характеризующие деформируемый материал.

Точность задания граничных условий при моделировании процессов объёмной штамповки, включающие в себя геометрию ручья штампа, закон перемещения инструментов, температуру окружающей среды, закон контактного трения и пр. зависят от возможностей программы. На возможности применяемого программного обеспечения технолог, конечно, повлиять не может, и точность описания граничных условий будет зависеть от особенностей программы и от опыта пользователя, который должен понимать, как именно, посредством предложенного инструментария, приблизить расчёт к реальному процессу деформирования [1].

Помимо описанной выше проблемы перед технологом при постановке задачи моделирования возникает проблема описания свойств деформируемого материала. Пользователь может самостоятельно определить свойства деформируемого материала. В большинстве известных программ данные по сопротивлению материала пластической деформации при горячей объёмной штамповке представляют собой таблично-заданные кривые текучести, определённые для фиксированных значений скорости деформации и фиксированных значений температур. Другим способом задания зависимости напряжения от скорости деформации и температуры являются математические модели. Так, например, в программе Qform используется модель сопротивления деформации представляющая собой функцию вида $\sigma_i = f(\epsilon_i, \dot{\epsilon}, T)$, где σ_i - напряжение текучести; ϵ_i - накопленная деформация; $\dot{\epsilon}$ - скорость деформации; T - температура.

Получить данные о сопротивлении пластической деформации конкретного материала можно по результатам механических испытаний (методом сжатия, кручения или растяжения) и последующего пересчёта полученных диаграмм силы по формулам, согласно какой-либо известной методике. Так, например, известна методика получения «изотермических» кривых текучести по результатам испытаний на сжатие [2], или методики получения кривых текучести по результатам испытаний методом растяжения, учитывающих объёмное напряжённое состояние в шейке [3]. В указанных подходах учёт нелинейного напряжённого состояния осуществляется по выражениям дающим, в

конечном счёте, только приблизительную корректировку значений напряжения текучести. Кроме того необходимо скорректировать значения напряжения текучести согласно изменению температуры образца в результате теплового эффекта пластической деформации, определить которое по некоторым теоретическим выражениям, не учитывающим градиента температур по сечению образца, можно также лишь приблизительно. Кривые текучести материала определённые по любым методикам представляющим собой поэтапную корректировку значений напряжения текучести по некоторым теоретическим и эмпирическим формулам могут быть пригодны для моделирования технологических операций не требующих высокой точности расчёта энергосиловых параметров процесса и точного анализа течения материала в штампе. Для расчёта процессов штамповки характеризующихся сложным течением металла в полости штампа [4] требуются уточнённые данные по сопротивлению металла пластической деформации.

В данной работе описывается способ получения данных о сопротивлении пластической деформации алюминиевых сплава АК4-1 методом постановки обратной задачи (методом инверсного моделирования) и последующим нахождением коэффициентов феноменологической модели сопротивления горячей деформации Калпина-Филиппова.

По результатам механических испытаний методом сжатия цилиндрического образца при постоянных скоростях деформации в изотермических условиях без применения смазки были получены диаграммы "ход-сила" и "время-сила". Затем полученные диаграммы преобразовывались в кривые текучести и вводились в программу Qform. При моделировании начальные условия (температура, трение и т. д.) были заданы аналогично экспериментальным. По результатам моделирования были получены графики "время-сила", которые сравнивались с экспериментальными. Если расхождение графиков превышало 5%, проводилась корректировка кривых текучести и новое моделирование. После пяти циклов были получены «изотермические» кривые текучести, обеспечивающие попадание кривых сил в допустимый интервал.

По найденным изотермическим кривым текучести были найдены коэффициенты феноменологической модели сопротивления горячей деформации [5].

Литература

1. *Оспенникова О.Г.* Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и теплозащитных покрытий // *Авиационные материалы и технологии.* 2012. №5. С.19-36;
2. *Петров П.А., Дубинчин А.В.* Построение "изотермической" кривой текучести алюминиевого сплава АМг6 // *Обработка материалов давлением.* №1 (19), 2008. Краматорск: Донбасская государственная машиностроительная академия. С.145-150;
3. *Калпин Ю.Г., Перфилов В.И., Петров П.А., Рябов В.А., Филиппов Ю.К.* Сопротивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением. // Учебное пособие по курсу "Теория обработки металлов давлением" для студентов специальности 15020165 "Машины и технология обработки металлов давлением". М.: МГТУ МАМИ. 2005. 113 с.
4. *Иванов В.А., Воронков В.И., Петров П.А., Крутина Е.В.* Разработка технологии изотермической штамповки детали «корпус муфты» из алюминиевого сплава АД35// *Цветные металлы* 2011. Красноярск 2011. С.590-596;
5. *Калпин Ю.Г., Перфилов В.И., Петров П.А., Рябов В.А., Филиппов Ю.К.* Сопротивление деформации и пластичность металлов при обработке давлением // – М.; Машиностроение, 2010. - 244 с.