

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ МЕТАЛЛА В ТВЕРДОЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

Андрей Андреевич Шитиков

Студент 6 курса,

кафедра «Технологии обработки давлением»,

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.А. Бочаров,

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»

Процессы формообразования металлов в твердожидком состоянии позволяют получать за одну операцию поковки сложной геометрической формы, максимально приближенной к форме обработанной детали, обладающие высокими механическими свойствами.

Исследователями предложено большое количество реологических моделей металла в твердожидком состоянии. Исходными данными для них являются параметры, определяемые с помощью сложных лабораторных исследований, которые проводились для ограниченного числа сплавов, в основном, - легкоплавких.

В данной работе использована однофазная реологическая модель сплава в твердожидком состоянии, учитывающая гидродинамические, структурные и вязкоупругие особенности течения, выгодно отличающаяся от прочих тем, что практически все используемые в ней параметры не требуют экспериментального определения.

В настоящее время существуют программы, позволяющие предсказывать различные свойства сплавов по их химическому составу, используя для этого методы вычислительной термодинамики и различные регрессионные зависимости. Примером такой программы является JMatPro, демонстрационная версия которой использовалась в данной работе.

Программная реализация реологической модели осуществлена с помощью пользовательских подпрограмм комплекса DEFORM. Исходные данные, экспортированные из JMatPro, предварительно обрабатываются в среде Mathcad где из них формируются файлы, непосредственно используемые программой. Данный подход позволяет проводить моделирование штамповки из различных сплавов без изменения исходного кода программы. При понижении температуры ниже температуры солидуса для дальнейшего расчета используется модель  $\sigma = f(\epsilon, \dot{\epsilon}, T)$ , заданная в виде таблицы в отдельном файле, при этом возможно использование файлов из базы материалов DEFORM.

Помимо расчета сопротивления деформации программа позволяет просматривать в постпроцессоре DEFORM такие параметры как: содержание твердой фазы, коэффициент агломерации частиц в суспензии, коэффициент вязкоупругости и т.д.

### Литература

1. *Wahlen A.* Processing of aluminum alloys in the semi-solid state. Basic principles and constitutive models. Diss. ETH Nr. 14166. - 2001.
2. *Gündüz M., Hunt J.D.* The measurement of solid-liquid surface energies in the Al-Cu, Al-Si and Pb-Sn systems. – Acta metal, - 1985. - Vol. 33, No. 9. - PP. 1651-1672.
3. *Chhabra R.P., Richardson J.F.* Non-Newtonian flow in the process industries. Fundamentals and engineering applications. – Butterworth-Heinemann, 1999.

4. Thixoforming. Semi-solid metal processing / Edited by G. Hirt and R. Kopp. – WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 2009.
5. Guo Z., Saunders N., Miodownik A.P., Schille J-Ph. Material properties for process simulation // Materials Science and Engineering. – 2009. PP. 7-13.
6. Guo Z., Saunders N., Miodownik A.P., Schille J-Ph. Quantification of high temperature strength of nickel-based superalloys // Material Science Forum, Vols. 546-549, 2007.
7. Флемингс М. Процессы затвердевания. пер. с англ. – М.: Изд-во «МИР», 1977.
8. Немнюгин М.А., Стесик О.Л. Современный Фортран. Самоучитель. – СПб.: БХВ - Петербург, 2004.
9. Семенов Б.И., Куштаров К.М. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. Новые промышленные технологии: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
10. Хензель А., Шниттель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением: Справ. изд. Пер. с нем. М.: Metallurgiya, 1982.