

**ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ НАКОПЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ
РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ**

А.Г. Кушнарёв, Л.Р. Ахметшин

Научный руководитель: к. ф.-м. н. А.А. Козулин

Национально исследовательский Томский государственный университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: kushnarev97@gmail.com

**NUMERICAL INVESTIGATION OF PLASTIC STRAIN ACCUMULATION EFFECT IN ALUMINUM
BILLETS AT PROCESSING BY EQUAL-CHANNEL ANGULAR PRESSING**

A.G. Kushnarev, L.R. Akhmetshin

Scientific Supervisor: PhD A.A. Kozulin

Tomsk state university, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: kushnarev97@gmail.com

***Abstract.** In the work with the use of methods of mathematical modeling, the processes of realization of intense plastic deformation in samples from light structural alloys are studied. The main feature of the study is the need to create a mathematical model that adequately describes the nonlinear elastic-plastic behavior of light alloys during pressing. Using the results of a numerical experiment, it is necessary to evaluate the possibilities of various compression schemes to achieve the maximum accumulation of plastic deformations in the processed samples. The accumulation of plastic deformations in bulk samples contributes to a change in the internal structure of materials and, as a consequence, to a change in their physico-mechanical properties. Therefore, the created prognostic mathematical model allows to design an optimal tooling of molds for the processing of light alloys by intense plastic deformation to change the structural and mechanical properties of the materials being studied. Mathematical modeling simplifies the design work and saves a lot of resources.*

В настоящее время ведутся интенсивные работы по разработке технологий повышения прочностных свойств легких конструкционных сплавов, которые должны обеспечить качественное повышение эффективности в автомобильной, авиационной и космической технике, судостроении и оборудования, энергетических установок, спортивного инвентаря. Эффективными методами повышения прочностных свойств конструкционных материалов с точки зрения реализации и применения является методы интенсивной пластической деформации (ИПД) [1, 2].

Одним из наиболее распространенных методов ИПД является угловое равноканальное прессование. Как правило, равноканальное прессование успешно применяется для измельчения зерна и увеличения механических свойств обрабатываемых металлов и сплавов. Возникает масса вопросов по поводу исследования процессов интенсивной пластической деформации при равноканальном прессовании, выработки методик и режимов прессования, подбора размеров оснастки. Актуальной задачей, связанной с совершенствованием технологий, реализующих методы ИПД, является изучение

процессов формирования УМЗ структуры в объеме материалов методами компьютерного моделирования [3], численное исследование поведения материала и оснастки при проведении прессования.

Цель работы – теоретическое изучение напряженно-деформированного состояния в объемных образцах из алюминиевого сплава 1560 при формировании УМЗ структуры с использованием численных методов. В рассматриваемом методе призматический алюминиевая заготовка продавливается под высоким давлением через два канала, сопрягающихся под углом 90° и претерпевает при этом большие пластические деформации. В результате повторяющихся прессований в заготовке реализуются интенсивные пластические деформации, что приводит к образованию в материале УМЗ структур.

Определение напряженно-деформированного состояния плоских заготовок из исследуемого сплава при обработке прессованием рифлением проводили методами численного моделирования. Математическая модель для решения поставленной задачи представлена системой дифференциальных уравнений механики сплошной среды, состоящей из уравнений равновесия (1), геометрических соотношений (2), определяющих соотношений (3):

$$\sigma_{ij,j} = 0, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}), \quad (2)$$

$$\sigma_{ij}^* = \sigma_{ij}(\varepsilon_{ij}^{el}, \varepsilon_{ij}^{pl}), \quad (3)$$

где u_i , σ_{ij} , ε_{ij} – компоненты вектора смещения и тензоров деформации и напряжений.

Для описания пластического течения материала заготовки используется билинейное определяющее уравнение (3), учитывающее особенности упруго-пластического поведения материала и его деформационного упрочнения. Билинейная аппроксимация заключается в замене нелинейной упругопластической задачи двумя линейными упругими задачами. Для решения системы уравнений применяли метод конечных элементов в Лагранжевом подходе для плоско-деформированного состояния. Для описания материала оснастки использована линейная упругая модель, материал оснастки – сталь 40X, должен быть намного прочнее материала заготовки, а ее напряженно-деформированное состояние не должно достигать критических величин. При моделировании необходимо было учесть ряд требований влияющих на эффективность проведения прессования: учет повышенных температур; силы трения между стенками канала и заготовкой.

Сложность построения данного типа моделей для неподготовленного пользователя заключается в реализации больших степеней деформаций для метода конечных элементов не всегда приемлемых в силу значительных искривлений сетки, что является проблемой при получении адекватного решения.

При анализе результатов численного моделирования проводилось исследование закономерностей эволюции напряженно-деформированного состояния материала заготовки и пресс-формы. Изменение размеров зерна в зависимости от накопленной плотности дислокаций, степени пластической деформации и температуры оценивается с помощью феноменологических соотношений. Показано, что при прохождении стержня через канал в объеме материала формируется неоднородное распределение неупругих деформаций. Разработанная вычислительная модель позволяет исследовать закономерности развития пластических деформаций при нагружении и оценивать НДС пресс-формы для корректировки ее геометрических параметров. Пример эволюции эффективной пластической деформации в процессе продавливания представлен на рис. 1.

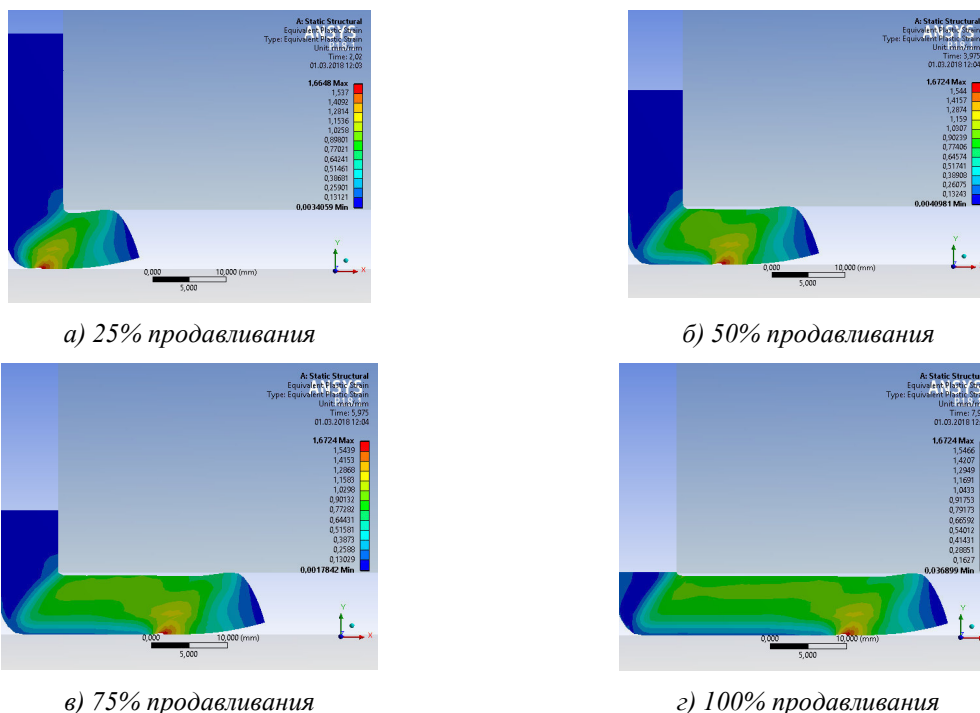


Рис. 1. Пластические деформации в процессе прессования при продавливании

Заключение. Разработана прогностическая физико-математическая модель упругопластического поведения легких сплавов на основе алюминия и магния при обработке интенсивной пластической деформацией в схеме равноканального углового прессования. Модель адаптирована для проведения вычислительных экспериментов при варьировании формы, угла сопряжения, размеров скруглений каналов пресс-формы, влияющих на параметры оптимальных режимов обработки алюминиевых сплавов, проведения прочностных расчетов оснастки пресс-форм для оптимизации геометрии, размеров и других конструктивных параметров. На основе результатов численного моделирования, выбран материал для оснастки, разработан и изготовлен инструментарий для проведения равноканального углового прессования образцов. Заложены научные основы для проведения равноканального прессования алюминиевых сплавов, для измельчения структуры и изменения их физико-механических свойств. Проведен комплекс предварительных физико-механических исследований полученных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркушев М.В. К вопросу об эффективности некоторых методов интенсивной пластической деформации, предназначенных для получения объемных наноструктурных материалов // Письма о материалах. - 2011.- Т.1, №1. - С. 36-42.
2. Козулин А.А., Красновойкин В.А., Скрипняк В.В., Хандаев Б.В., Ли Ю.В. Механические свойства алюминий магниевых сплавов после интенсивной пластической деформации // Современные проблемы науки и образования. - 2013.- № 6. - С. 888.
3. Красновойкин В.А., Скрипняк В.А., Козулин А.А. Численное моделирование процессов интенсивной пластической деформации тел при динамическом канальном прессовании // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2012. - Т. 55. № 9-3. - С. 67-71.