

УДК 621.777

Математическое моделирование равноканального углового прессования

Аборкин А.В., Бабин Д.М., Захаров А.А., Елкин А.И.

В настоящей работе рассмотрены вопросы, касающиеся создания математической модели процесса равноканального углового прессования заготовок из алюминиевого сплава Al+1.9%Mg и изучения влияния коэффициента трения при прессовании на энергосиловые затраты процесса и деформированное состояние материала заготовки. Расчеты соответствовали равноканальному угловому прессованию цилиндрических заготовок длиной 90 мм и диаметром 5 мм при следующих параметрах: угол пересечения каналов $\Phi - 90^\circ$, радиус при пересечении каналов $r - 0.1$ мм, температура заготовки и оснастки соответствовала $t = 20^\circ\text{C}$, скорость прессования $v - 10$ мм/с, коэффициент трения $\mu = 0, 0.25, 0.5$ и 0.75 . Показано, что увеличение коэффициента трения негативно сказывается на распределении деформаций в материале заготовки и на энергосиловых затратах.

Ключевые слова: математическое моделирование, равноканальное угловое прессование, интенсивная пластическая деформация, энергосиловые затраты, напряженно-деформированное состояние.

Введение

Одной из перспективных технологий получения материалов с повышенным уровнем свойств, являются деформационные технологии, основанные на методе интенсивной пластической деформации (ИПД). Равноканальное угловое прессование (РКУП), как один из способов ИПД, предназначен для получения таких материалов за счет изменения их внутренней структуры, вследствие воздействия больших пластических деформаций. Подробное описание процесса РКУП представлено в литературе [1,2].

Промышленное применение данного способа сдерживают такие факты, как, высокие энергосиловые затраты, необоснованность выбора технологических параметров прессования и низкая стойкость оснастки. Необходимо отметить большое количество работ связанных с изучением процесса РКУП. Однако, исследования данных работ направлены, в основном, на решение вопросов, касающихся связи угла канала с распределением деформаций, выбора маршрута, изучение полученных свойств материалов, подвергшихся РКУП и их применения, без детального описания самой технологии. Количество работ, направленных на изучение влияния различ-

ных технологических параметров на технологию и результаты в процессе РКУП невелико, хотя, данное направление исследований позволит повысить эффективность и ускорить внедрение данного способа в производство. Применение математического моделирования при изучении РКУП, позволит приблизительно оценить влияние различных технологических параметров процесса на саму технологию, поведение и состояние материала при прессовании и значительно сократить затраты на проведении дорогостоящих натуральных экспериментов.

Целью данной работы является разработка математической модели РКУП заготовок из алюминиевого сплава на 1-ом проходе прессования и изучение влияния коэффициента трения на кинематику течения материала, деформированное состояние заготовки и энергосиловые затраты процесса.

Математическая модель процесса РКУП

В качестве объекта моделирования выбран процесс РКУП заготовки из алюминиевого сплава Al+1.9%Mg.

Для создания математической модели РКУП алюминиевого сплава Al+1.9%Mg, необходимо выполнить ряд задач связанных с

подготовкой: трехмерных моделей оснастки, свойств материала заготовки, различных параметров процесса РКУП.

Теоретическое исследование процесса РКУП направлено на изучение кинематики течения материала заготовки, выявления степени интенсивности деформаций и установления вклада величины коэффициента трения (μ) на энергосиловые затраты при прессовании.

Сформулированные задачи в настоящей статье решали с помощью моделей, составленных на основе алгоритмов МКЭ, реализованных в программном комплексе Deform-3D.

При создании математической модели использовались следующие условия и допущения: во-первых, оснастка и пуансон выполнены в виде абсолютно жестких тел; во-вторых, при расчете заготовки выполнялось условие постоянства объема; в третьих, μ между оснасткой и заготовкой варьировался от 0 до 0.75; в четвертых, при расчете выполнялось условие постоянства скорости прессования; в пятых, расчеты соответствовали холодному РКУП цилиндрических заготовок.

Полная система уравнений пластического течения металла применительно к задаче РКУП имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{ij,j} = 0; \\ \xi_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} + v_{j,i}); \\ \sigma'_{ij} = \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\xi}} \xi_{ij}; \\ v_{ij} = 0; \\ \bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\varepsilon}, \bar{\xi}, T); \\ v_i n_i = 0; \\ F_t = \mu \cdot F_n, \end{array} \right.$$

где σ_{ij} – тензор напряжений; ξ_{ij} – тензор скоростей деформации; v_i – вектор скорости; σ'_{ij} – девиатор напряжений; $\bar{\sigma}, \bar{\varepsilon}, \bar{\xi}$ – эквивалентные напряжения, степень и скорость деформации соответственно; T – температура; F_t – напряжение трения; μ – коэффициент

трения; F_n – нормальное контактное напряжение. Система включает в себя уравнения движения без учета массовых сил; кинематические соотношения; определяющие соотношения теории пластичности Сен-Венана-Леви-Мизеса; уравнение несжимаемости; реологическое уравнение, связывающее сопротивление деформации со степенью деформации, скоростью деформации и температурой; условие непроницаемости; закон трения.

Расчеты соответствовали РКУП цилиндрических заготовок длиной 90 мм и диаметром 5 мм из материала Al+1.9%Mg при следующих параметрах: угол пересечения каналов $\Phi = 90^\circ$, радиус при пересечении каналов $r = 0.1$ мм, температура заготовки и оснастки соответствовала $t = 20^\circ\text{C}$, скорость прессования $v = 10$ мм/с, коэффициент трения $\mu = 0, 0.25, 0.5$ и 0.75 .

Данные о физико-механических свойствах материала получены в ходе экспериментального испытания на растяжение на установке WDW-100E

Данные, полученные в результате моделирования, позволили сформировать мнение о кинематике течения материала, зоне интенсивной пластической деформации, влиянии коэффициента трения на усилие прессования

Анализ результатов моделирования

Кинематику течения, характер изменения и распределения деформаций сдвига для материала заготовки изучали на основе изменения Лагранжевой сетки в процессе прессования.

Анализ кинематики течения материала заготовки (рис. 1а-г) показал, что с увеличением коэффициента трения в верхней части заготовки образуется зона уплотнения Лагранжевой сетки, что говорит о преобладании больших сжимающих напряжений.

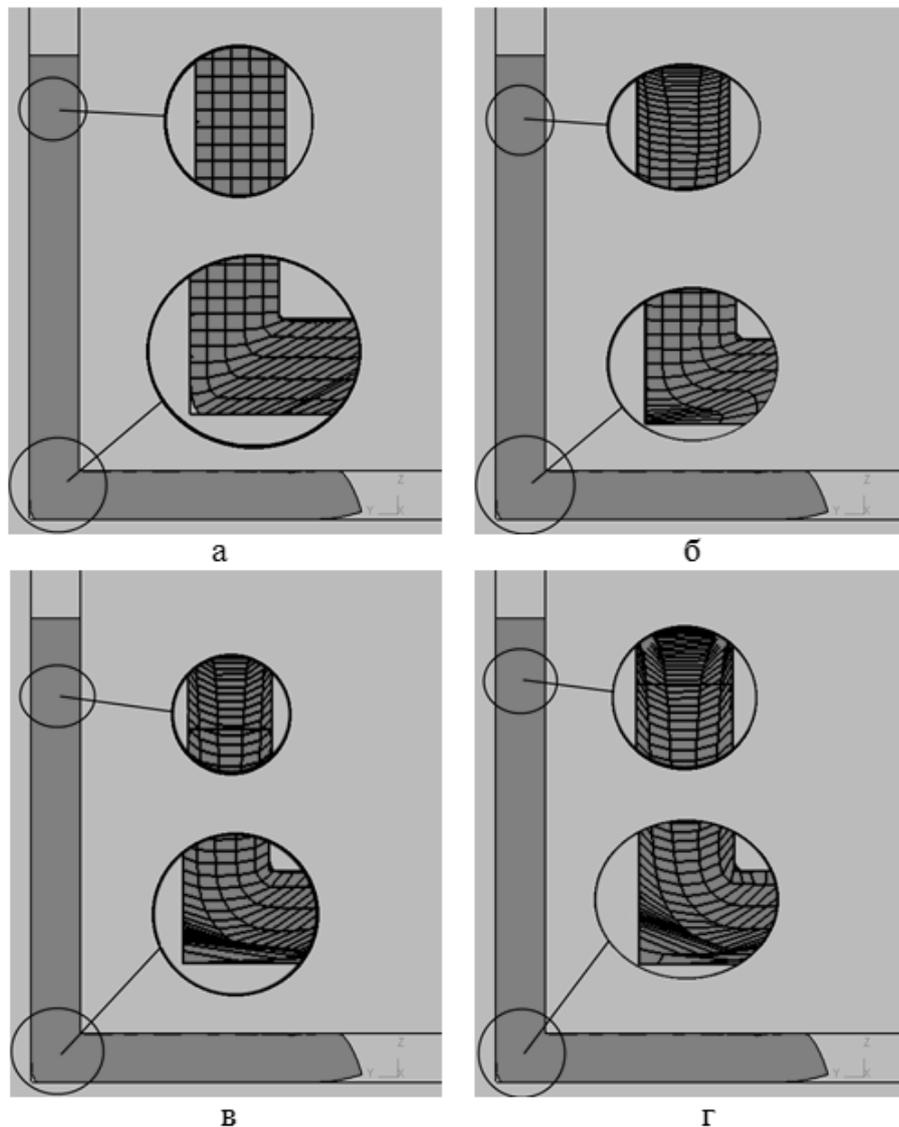


Рис. 1. Изменение Лагранжевой сетки в процессе прессования при:
а) $\mu=0$, б) $\mu=0.25$, в) $\mu=0.5$, г) $\mu=0.75$.

В результате расчета получены значения напряжений σ_z при $\mu=0, 0.25, 0.5, 0.75$, которые равны «-219 МПа», «-705 МПа», «-1400 МПа», «-1570 МПа» соответственно. Из этого следует, что процесс прессования становится более трудоемким, т.е. возрастают энергосиловые затраты при прессовании, возникает возможность преждевременного разрушения материала заготовки.

В зоне пересечения каналов, изменение характера течения материала заготовки, влечет за собой неравномерность деформаций. При накоплении величины деформации сдвига $\Gamma=6-8$, в прессуемом материале образуется

ультрамелкозернистая или нано- структуры [2]. Поэтому неравномерность возникающих в процессе прессования деформаций ведет к неравномерности структуры материала заготовки.

Анализ результатов расчетов напряжений и деформаций, возникающих в заготовке при различных μ , показал, что его увеличение не приводит к качественному изменению картин напряжений и деформаций в прессуемом материале, однако, наблюдается количественный рост расчетных параметров. Качественный анализ распределения накопленной деформации в объеме прессуемого металла по-

казал ее значительную неравномерность. Изучение распределения деформаций по длине заготовки показало, что в середине и верхней части заготовки деформация достаточно равномерная, концы заготовки остаются недеформированными.

Для изучения влияния величины μ на накопленную степень сдвиговой деформации Γ за один проход РКУП, выбраны контрольные точки в заготовке в сечении заготовки А-А (рис. 2.). На рис. 2 представлена гистограмма, отражающая влияние μ на максимальную расчетную величину степени сдвиговой деформации Γ при интенсивной пластической деформации в контрольных точках заготовки. Вычисление величины Γ выполнено при помощи формулы, взятой из [3].

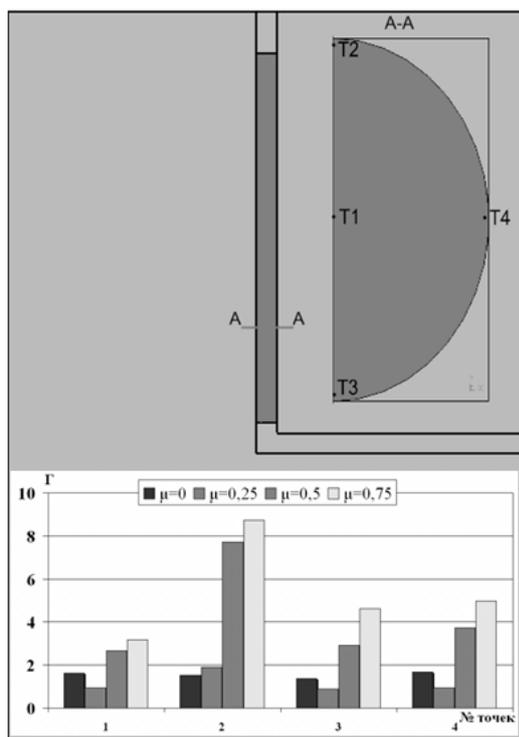


Рис.2. Изменение величины Γ в контрольных точках по диаметру заготовки.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы: во-первых, увеличение μ ведет к возникновению большей неравномерности деформации по сечению заготовки, что в результате может отрица-

тельно повлиять на образование равномерной структуры внутри заготовки; во-вторых, с увеличением μ от 0 до 0.75 величина Γ увеличивается в контрольной точке 1 в 2 раза, точке 2 в 6 раз, точках 3 и 4 в 3 раза.

Анализ изменения энергосиловых затрат в процессе прессования при различных μ показал качественное совпадение графиков изменения энергосиловых затрат при прессовании. Количественно же, максимальные значения прессования при $\mu=0, 0.25, 0.5, 0.75$ составляют 2.8 кН, 16.7 кН, 23 кН, 27.2 кН. Эти данные позволяют сделать вывод об увеличении величины требуемого при РКУП усилия с увеличением коэффициента трения. Так, например, при увеличении коэффициента трения с $\mu=0.25$ в 3 раза, величина требуемых усилий возрастает в 1.6 раза.

Заключение

Таким образом, увеличение величины коэффициента трения носит негативный характер способствуя возрастанию энергосиловых затрат при прессовании, а также приводит к большей неравномерности деформаций, что может отрицательно отразиться на формировании внутренней наноструктуры в материале заготовок и как следствие на эксплуатационных параметрах материала.

Литература

1. Segal V. M., USSR Patent No. 575892 (1977).
2. Segal V. M., Reznikov V. I., Drobysheskiy A. E., Kopylov V. I., Russ. Metall, 1, 99 (1981).
3. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. Металлургия. - М. 1970.

References

1. Segal V. M., USSR Patent No. 575892 (1977).

2. *Segal V. M., Reznikov V. I., Drobyshevskiy A. E., Kopylov V. I.*, Russ. Metall, 1, 99 (1981).
3. *Kolmogorov V.L.* Stress, deformation, fracture. Metallurgy. - M. 1970.

Статья поступила в редакцию 29 сентября 2012 г.

This paper discusses issues related to the process of creating a mathematical model of equal-channel angular pressing of aluminum alloy billets Al+1.9%Mg and study the effects of friction during the pressing process for energy-power costs and strain state of the workpiece material. Calculations conform channel angular pressing cylindrical workpieces 90 mm and a diameter of 5 mm with the following parameters: the angle of intersection of channels $F-90^\circ$, the radius at the intersection of channels $r - 0.1$ mm, temperature workpiece and tool corresponded $t = 20^\circ \text{C}$, pressing speed $v-10$ mm / s, the coefficient of friction of $\mu = 0, 0.25, 0.5$ and 0.75 . Shown to increase the coefficient of friction affects the distribution of strains in the workpiece material and energy-power costs.

Keywords: computer modeling, equal channel angular pressing, severe plastic deformation, energy-power cost-stressed state.

Аборкин Артемий Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Бабин Дмитрий Михайлович – ассистент колледжа федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Захаров Александр Андреевич – ассистент кафедры «Технология машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Елкин Алексей Иванович – кандидат технических наук, заместитель декана механико-технологического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»