

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОВРЕМЕННОЙ МЕХАНИКИ
СПЛОШНЫХ СРЕД**

**Всероссийская
молодёжная научная конференция**

Томск, 16–19 октября 2010 г.



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2010

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛЬНО-УГЛОВОГО
ПРЕССОВАНИЯ ПО ДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМЕ
НАГРУЖЕНИЯ*****И.К. Суглобова, А.Н. Шипачев, С.А. Зелепугин**

Проведено численное исследование процессов деформирования титановых образцов при движении по пересекающимся под прямым углом каналам для динамической схемы нагружения. Расчеты выполнены методом конечных элементов в плоской постановке в рамках модели упругопластической среды.

**NUMERICAL SIMULATION OF CHANNEL-ANGULAR
PRESSING AT DYNAMIC SCHEME OF LOADING****I.K. Suglobova, A.N. Shipachev, S.A. Zelepugin**

Numerical investigation of deformation processes of titanic samples moving through orthogonally crossed channels at dynamic scheme of loading has been carried out. Computations were executed using the finite element method in two-dimensional plain-strain statement within the bounds of elastic-plastic model of medium.

Объемные наноструктурные материалы в настоящее время рассматриваются как перспективные конструкционные и функциональные материалы нового поколения. Выделяются два основных метода их получения – компактирование исходных нанопорошков и формирование наноструктур при интенсивной пластической деформации (ИПД). Исследование ультрамелкозернистых (УМЗ) металлов, полученных ИПД, показало, что они характеризуются рядом уникальных свойств – повышенной в несколько раз по сравнению с крупнозернистыми аналогами прочностью, сочетающейся с хорошей пластичностью, низко- и высокотемпературной сверхпластичностью, циклической и радиационной стойкостью.

В РФЯЦ–ВНИИТФ предложен динамический вариант метода равноканального углового прессования (РКУП) [1], в котором продавливание материала через каналы осуществляется путем импульсной нагрузки за счет энергии продуктов горения пороха, сжатых газов и др. Основное преимущество этого метода по сравнению с РКУП состоит в том, что увеличивается скорость пластического деформирования, а также добавляется ударно-волновая деформация, которая увеличивает общий результат воздействия [2].

При использовании динамического канально-углового прессования (ДКУП) существует возможность принципиального изменения свойств металлов и сплавов при формировании в них ультрамелкозернистых структур, что позволяет реализовать сочетание высоких прочности и пластичности [3].

В данной работе процессы деформирования образцов при их движении по пересекающимся каналам исследуются численно методом конечных элементов

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №10-08-00516), РФФИ и Администрации Томской области (проект № 09-08-99059), Минобрнауки РФ в рамках АВЦП «Развитие научно-го потенциала высшей школы» (проект № 2.1.1/5993).

в плоскодеформационной постановке в рамках упругопластической модели среды.

Система уравнений, описывающая нестационарное адиабатическое движение сжимаемой среды, состоит из уравнений неразрывности, движения, энергии [4]. Моделирование «отрывных» разрушений проводится с помощью кинетической модели разрушения активного типа [5]. Давление в неповрежденном веществе считается функцией удельного объема и удельной внутренней энергии и во всем диапазоне условий нагружения определяется с помощью уравнения состояния типа Ми–Грюнайзена, в котором коэффициенты подбираются на основе констант ударной адиабаты Гюгонно. Определяющие соотношения связывают компоненты девиатора напряжений и тензора скоростей деформаций и используют производную Яуманна. Для описания пластического течения используется условие Мизеса. Учтены зависимости модуля сдвига и динамического предела текучести от температуры и уровня поврежденности материала [5]. Для решения задачи используется метод конечных элементов.

Рассматривается задача взаимодействия образца с жесткой стенкой, которая описывается двумя ломаными линиями. Для уравнений из приведенной выше модели в декартовой системе координат ставится задача с начальными при $t = 0$ и граничными условиями. Начальные условия характеризуются отсутствием внутренних напряжений, а причиной взаимодействия является движение образца по пересекающимся под прямым углом каналам матрицы с начальной скоростью v_0 , полученной при разгоне образца пороховыми газами в стволе пушки. На тыльной поверхности образца задается постоянная нагрузка P_0 , которая равномерно распределена по тыльной поверхности, противоположная поверхность образца свободна от внешних нагрузок в течение всего процесса деформирования.

Процесс динамического деформирования моделировали на примере титановых образцов шириной 16 мм и длиной 65 мм. Начальная скорость образцов варьировалась в диапазоне 100 – 500 м/с. Задаваемое давление – 0,1 – 0,3 ГПа. Угол пересечения каналов – 90°. В области внешнего угла стенок задана площадка B_1C_1 , составляющая с осями декартовой системы координат углы 45°. Были использованы следующие значения констант материала титанового образца: $\rho_0=4426$ кг/м³, $a=4990$ м/с, $b=1,05$, $G_0=41$ ГПа, $\sigma_0=0,5$ ГПа, $V_1=4,52 \cdot 10^{-6}$ м³/кг, $V_2=1,58 \cdot 10^{-6}$ м³/кг, $K_f=0.005$ м·с/кг, $P_k=-0,75$ ГПа [5].

Проведено численное исследование процессов деформирования титановых образцов при ДКУП – движении по пересекающимся под прямым углом каналам с использованием динамической схемы нагружения. Определен нижний порог скорости, при которой обеспечивается прохождение образца по каналам. Для титановых образцов при заданном давлении в 0,2 ГПа он составляет 300–350 м/с. Интенсивность пластических деформаций (и, как следствие, измельчение структуры) титанового образца после одного цикла ДКУП неравномерна по образцу, что свидетельствует о необходимости дополнительных циклов ДКУП.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Валиев Р.З., Александров И.В.* Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: Академкнига, 2007. 397 с.
2. *Хомская И.В., Зельдович В.И., Шорохов Е.В. и др.* Структура титана, подвергнутого высокоскоростному прессованию при различных температурах // Деформация и разрушение материалов. 2010. № 4. С. 15–19.

3. Хомская И.В., Зельдович В.И., Шорохов Е.В. и др. Высокоскоростное деформирование металлических материалов методом канально-углового прессования для получения ультрамелкозернистой структуры // Деформация и разрушение материалов. 2009. № 2. С. 36–40.

4. Щипачев А.Н., Ильина Е.В., Зелепугин С.А. Деформирование титановых образцов при динамическом канально-угловом прессовании // Деформация и разрушение материалов. 2010. № 4. С. 20–24.

5. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортвов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. М.: Янус-К, 1996. 407 с.