

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С НАНОСТРУКТУРОЙ.

Овечкин Леонид Михайлович

Российская Федерация, г. Москва, Московский Государственный Технологический Университет «Станкин», кафедра «Системы пластического деформирования»

В настоящее время развивается несколько методов получения материалов с наноструктурой. Из объемных крупнозернистых и аморфных материалов, к примеру, методами интенсивной пластической деформации (ИПД), или же методами порошковой технологии (включая компактирование прессованием и спекание) из тонкодисперсных порошков возможно получать объемные сверхмелкозернистые или наноструктурные материалы с размером зерен около 100 нм [1]. Однако методы порошковой технологии имеют ряд недостатков, среди которых:

- загрязнение образцов при подготовке порошков или их консолидации;
- увеличение геометрических размеров получаемых образцов;
- сохранение некоторой остаточной пористости при компактировании.

Избежать данных недостатков возможно при использовании методов ИПД, которые заключаются в деформировании с большими степенями деформации (логарифмическая деформация $\epsilon=4...7$) при относительно низких температурах (ниже $0,3-0,4 T_{\text{ПЛАВЛЕНИЯ}}$) в условиях высоких приложенных давлений. Основными требованиями к методам интенсивной пластической деформации, которые следует учитывать при их разработке, являются [2]:

- получение ультрамелкозернистых структур, имеющих преимущественно большеугловые границы зерен, поскольку именно в этом случае происходит качественное изменение свойств материала;
- формирование наноструктур, однородных по всему объему образца, что необходимо для стабильности свойств полученных материалов;
- образцы не должны иметь механических повреждений или разрушений, несмотря на интенсивное деформирование.

Однако эти требования не могут быть реализованы при использовании обычных методов обработки давлением, таких как вытяжка или прокатка.

Известно, что путем значительных деформаций при низкой температуре, например в результате холодной прокатки или прессования, можно очень сильно измельчить структуру металлов. Но полученные в результате этих процессов структуры являются обычно ячеистыми или субструктурами, имеющими границы с малоугловыми разориентировками, что противоречит ранее оговоренным требованиям. Но вместе с тем рассматриваемые наноструктуры являются ультрамелкозернистыми структурами зеренного типа, содержащими преимущественно большеугловые границы зерен.

При интенсивной пластической деформации металлы и сплавы приобретают свойства не типичные для обычных металлов: сверхпластичность при низких температурах или высоких скоростях деформации, уникально высокая прочность и пластичность, рекордная усталостная прочность, уменьшение деградации свойств при радиационных воздействиях [3]. Метод интенсивной пластической деформации применяется для получения субмикроструктурной структуры таких металлов как Cu, Pd, Fe, Ni, Co, сплавов на основе алюминия, магния, титана.

Следует отметить, что основными методами по достижению больших пластических деформаций, приводящих к заметному измельчению зерна без разрушения образцов, являются равноканальное угловое прессование (РКУП) и кручение под высоким давлением рис. 1.

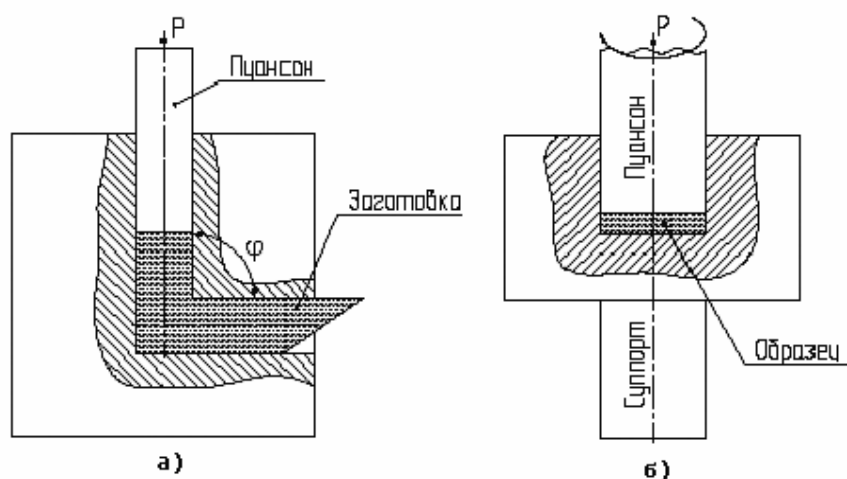


Рис.1. а) равноканальное угловое прессование (РКУП),
б) кручение под высоким давлением.

При осуществлении технологического процесса по схеме рис. 1, а) образец деформируется по схеме простого сдвига, продавливаясь через два пересекающихся канала равного сечения.

В случае схемы рис. 1, б) дискообразный образец помещают в матрицу и сжимают вращающимся пуансоном. При кручении под высоким давлением степень деформации обычно регулируется числом оборотов.

Однако следует отметить, что для осуществления метода кручения под высоким давлением требуется более сложная технологическая оснастка, нежели для осуществления процесса РКУП. Поэтому РКУП является одним из наиболее широко применяемых методов ИПД для получения материалов с УМЗ - структурой [4].

При РКУП заготовка неоднократно продавливается через два канала равного поперечного сечения, обычно пересекающихся под углами $2\varphi=90-150^\circ$ (рис.2).

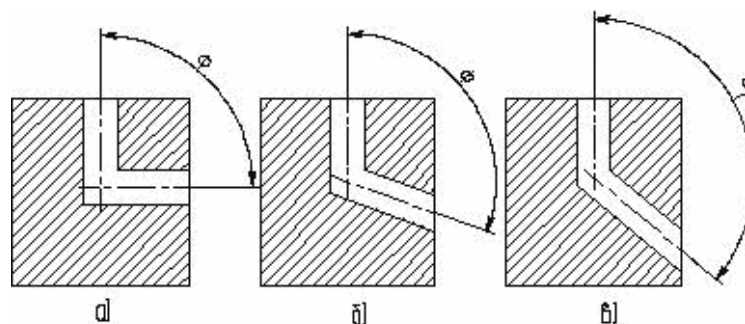


Рис.2. Осуществление процесса РКУП через оснастку с углами пересечения каналов: а) 90° ; б) 110° ; в) 130°

Основными параметрами РКУ прессования являются [4]:

- маршрут прессования, зависящий от аксиального вращения образца при повторяющейся деформации;
- температура;
- угол пересечения каналов;
- число деформационных проходов.

Обычно размеры образцов для прессования незначительно превышают размеры образца длиной 100 мм, и сечением 20 мм. Размеры образца зависят от пластичности материала и температуры деформации.

Сравнивая с другими методами пластической деформации, РКУП позволяет получить наиболее однородную субмикrokристаллическую структуру материала и наиболее сопоставимые (при прочих равных условиях) результаты по тем или иным физическим свойствам.

Структурообразование сильно зависит от маршрута РКУП.

Существуют три основных маршрута прессования. Маршрут А предполагает повторное прессование образца без вращения. В маршруте Б образцы вращаются на 90° вокруг своей оси между проходами, и на 180° в маршруте В [4].

Число деформационных проходов, как правило 4-10.

Структура материала, полученного РКУП, зависит не только от природы материала и величины приложенной деформации, но также от таких технических параметров как:

- размер и форма поперечного сечения каналов (диагональ квадратного сечения или диаметр круглых каналов);
- направления прохода заготовки через каналы.

Анализируя установившейся процесс РКУП, было установлено, что имеет место незаполнение канала даже при условии обеспечения поступательного движения торцевого сечения заготовки, которое может быть достигнуто за счет бесконечной длины заготовки. Для заполнения канала необходимо приложить давление к выходящему торцу заготовки. Условия нагружения показаны на рис. 3.

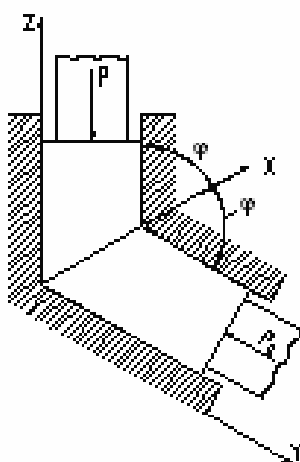


Рис.3. Схема прессования с противодавлением
 P - давление, созданное пуансоном, P_0 - противодавление,
 приложенное к выходящему торцу заготовки

Для исследования процесса прессования с противодавлением необходимо рассчитать следующие параметры [4].

Во-первых, необходимо определить минимально необходимую величину гидростатического давления для заполнения заднего угла инструмента:

$$p = k + 2 \cdot k \cdot \frac{\pi}{4} = \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot k \cong 2,57 \cdot k \quad (1)$$

где k - пластическая постоянная металла, $k = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_s$.

С учетом упрочнения, напряжение текучести:

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + B \cdot \varepsilon_i^m \quad (2)$$

где σ_{s0}, B - константы металла; m - показатель деформационного упрочнения.

В соответствии с рекомендациями [5] принимают $\sigma_{s0} = \sigma_{0.2}$.

Величина противодействия определяется следующим соотношением:

$$p_0 = p \cdot (1 - \mu \cdot \operatorname{ctg} \varphi) - k \cdot (\mu + \operatorname{ctg} \varphi) \quad (3)$$

где μ - коэффициент трения материала заготовки о стенки канала матрицы, φ - половина угла пересечения каналов.

При отсутствии трения на нижней кромке выходного канала:

$$p_0 = p - k \cdot \operatorname{ctg} \varphi \quad (4)$$

Рабочее давление на пуансоне:

$$p_1 = p_0 + 2 \cdot k \cdot \operatorname{ctg} \varphi \quad (5)$$

Сила обработки для схемы простого сдвига определяется по выражению:

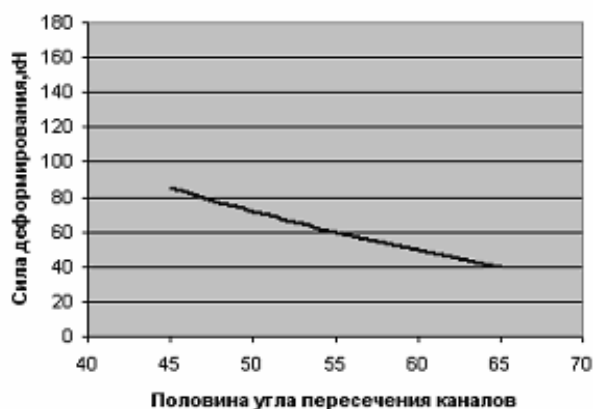
$$P_1 = k \cdot F \cdot \Delta \Gamma \quad (6)$$

А с учетом противодействия:

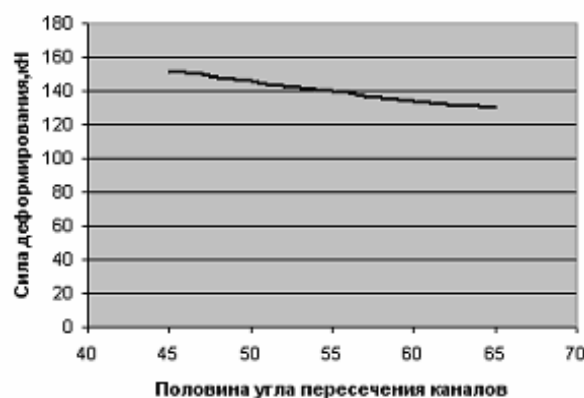
$$P_1 = F \cdot (p_0 + p_1) \quad (7)$$

где F - площадь сечения заготовки, $\Delta \Gamma = 2 \cdot \operatorname{ctg} \varphi$ - приращения интенсивности деформаций сдвига.

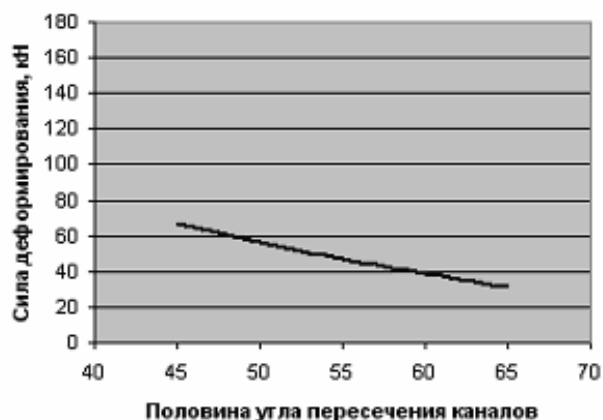
Рассматривая процесс деформирования заготовки через каналы прямоугольного сечения размером 16×16 мм, либо круглый канал диаметром 16 мм, была составлена зависимость силы деформирования от угла пересечения каналов рис 4.



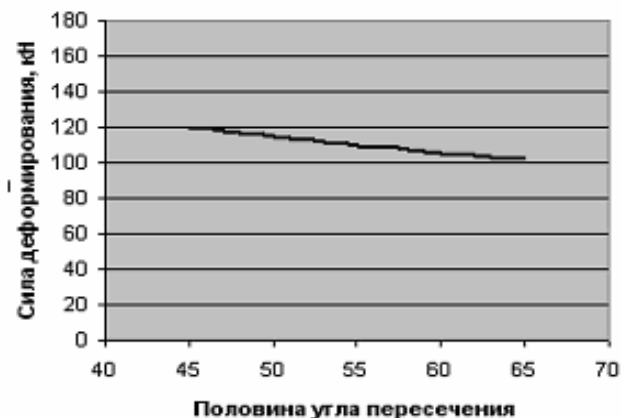
а)



б)



в)



г)

Рис.4. Зависимость силы деформирования от угла пересечения каналов: а) прямоугольный канал без учета противодействия, б) прямоугольный канал с учетом противодействия, в) круглый канал без учета противодействия, г) круглый канал с учетом противодействия.

Независимо от величины противодействия заметна неоднородность деформации: сдвиговые деформации максимальны у внутренней стенки канала и резко уменьшаются в районе радиальной стенки [6].

В среде Qform 2D выполнено моделирование процесса равноканального углового прессования заготовки из сплава на основе алюминия (сплав Д16), обладающего высокими эксплуатационными свойствами. Химический состав исследуемого сплава приведен в таблице.

Таблица

Химический состав в % содержания легирующих элементов в сплаве Д16, ГОСТ 4784-74.

Легирующий элемент		
Mg	Mn	Cu
1,50	0,60	4,35

При моделировании процесса РКУП рис.5. проведено исследование влияния геометрии канала на параметры процесса.

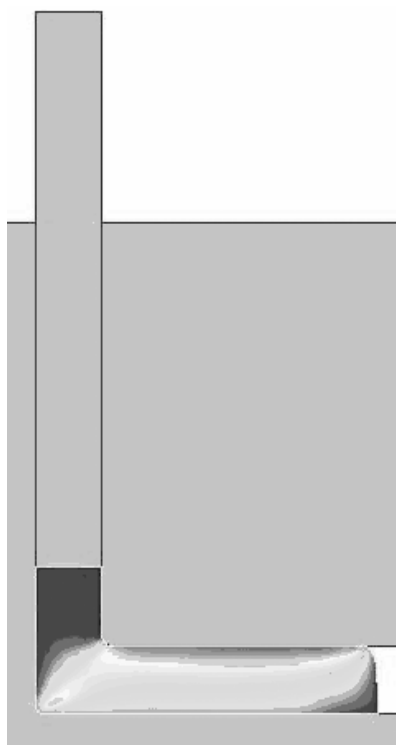
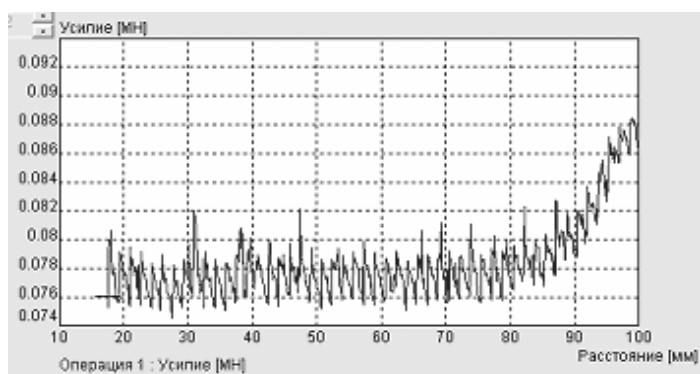


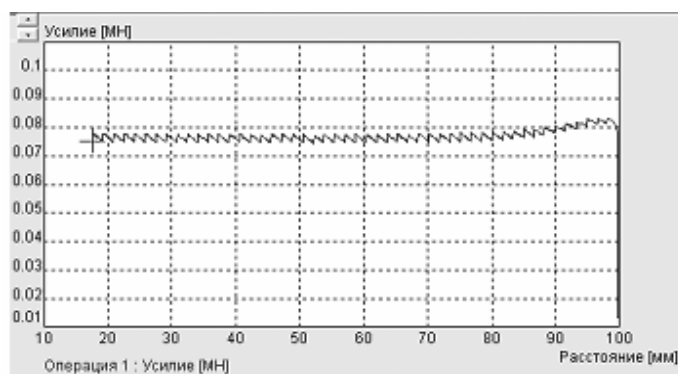
Рис.5. Моделирование процесса РКУП.

Моделирование осуществлялось с начальными условиями: нагрев заготовок для РКУП до 150°C , далее охлаждение за время помещения заготовок в штамп- 5 секунд.

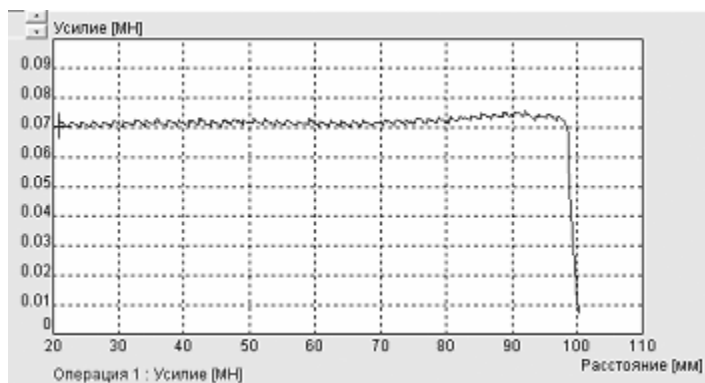
Было установлено, что радиусы скругления 1-2 мм точек пересечения каналов значительно снижают колебания силы деформирования, при этом лишь незначительно снижая степень деформации, накапливаемой при осуществлении процесса РКУП рис 6.



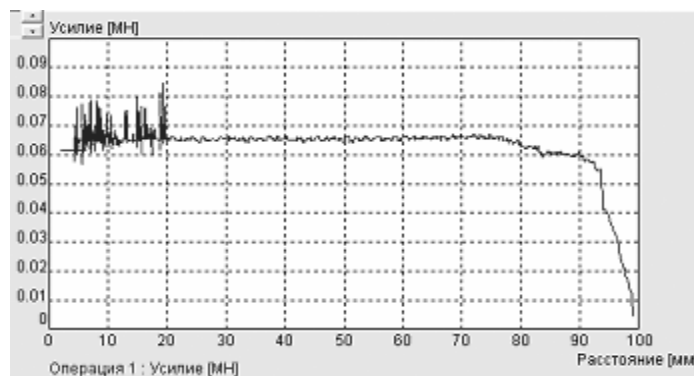
а)



б)



в)



г)

Рис. 6. Зависимость силы деформирования от хода пуансона при осуществлении процесса РКУП через оснастку с углами пересечения каналов 90° и радиусами скруглений точек пересечения каналов: а) 0 мм; б) 2 мм; в) 5 мм; г) 10 мм.

Выполнен расчет основных технологических параметров процесса, результаты расчета полностью подтверждаются при моделировании. Подобраны вид и оптимальные параметры технологической оснастки для осуществления процесса РКУП - угол пересечения каналов 90° и радиусы скругления точек пересечения каналов 2 мм.

При обработке РКУП титана в [7] было установлено, что при РКУП заготовок из сплава ВТ1 значительно повысились свойства данного сплава. Размер зерна сократился с 15 до 0,3 мкм. Механические испытания на растяжение стандартных образцов, полученных из ультрамелкозернистых заготовок, показали повышение, по сравнению с исходными пределов прочности и текучести в 1,7 раза при довольно высоких показателях пластичности. Относительное сужение составило 55-60%, а относительное удлинение 16-18%. Микротвердость таких материалов в 2-7 раза выше, чем твердость крупнозернистых аналогов, причем это мало зависит от метода получения материала. Прочность наноматериалов при растяжении в 1,5 - 8 раз выше прочности крупнозернистых аналогов.

Конструкционные наноматериалы обладают высокими эксплуатационными свойствами:

- прочностью при достаточно высоком уровне пластичности;
- твердостью;
- износостойкостью;
- низкотемпературной и высокоскоростной сверхпластичностью;
- повышенным сопротивлением малоцикловой и многоцикловой усталости;
- высокодемпфирующими свойствами.

В машиностроении создание новых нанокристаллических материалов, покрытий и упрочняющих слоев приводит к оптимизации

конструкций, повышению их надежности, энерго- и ресурсосбережению, улучшению трибологических, противоизносных и прочностных свойств изделий.

Получение наноматериалов с повышенными физико-механическими свойствами имеет существенное значение при создании ряда новых изделий космической, электротехнической и медицинской техники [7].

Список литературы.

1. К вопросу создания ультрамелкозернистых объемных материалов, используя интенсивную пластическую деформацию. Вестн. УГАТУ. 2004. 5, №2, с. 9-16, 10 ил. Библ. 43.
2. **Валиев Р.З. Александров Н.В.** Наноструктурные наноматериалы, полученные интенсивной пластической деформацией.- М.:Логос, 2000.- 272с.ил.
3. **Лякишев Н.П.** Конструкционные наноматериалы. Технология легких сплавов, 2006, №3. с.40-49.
4. **Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. и др.** Процессы пластического структурообразования металлов. Минск: Наука и техника, 1994. 232с.
5. **А. Ю. Аверкиев.** Методы оценки штампуемости листового металла. – М.: Машиностроение, 1985.-176 с.
6. Актуальные проблемы нанотехнологии и наноматериалов: Тезисы докладов ученых РАН на Российско-китайском семинаре по проблемам нанотехнологии и наноматериалов. (Китай, Пекин, 2006); Российская академия наук.- М.:Наука, 2006.-144с.
7. **Рааб Г.И.** Развитие способа равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых материалов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.