

## ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕДИ М0Б ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ

Сенникова Л.Ф., Волкова Г.К., Ткаченко В.М., Гангало А.Н.

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, Донецк, Украина,  
sennikova\_lf@ukr.net

В современном материаловедении одним из развивающихся направлений является получение объемных наноструктурных материалов. На данный момент для трансформации исходной крупнокристаллической структуры в ультрамелкозернистую развит целый ряд технологий [1]. Особое внимание уделяется технологиям, основанным на способах создания в материалах больших пластических деформаций, в результате чего в материале формируется ультрамелкозернистая структура, которая позволяет получить высокие физико-механические свойства [2, 3].

Одним из наиболее известных методов интенсивной пластической деформации является равноканальное угловое прессование (РКУП).

Предполагается, что накопление больших значений суммарной деформации с малыми разовыми степенями вносит меньше деформационных повреждений в материале, чем обычно применяемые большие разовые деформации, что позволит повысить прочностные свойства материала.

Поэтому, в работе были использованы схемы равноканального углового прессования, позволяющие деформировать материал при сдвиговой деформации в дробном режиме,  $\epsilon < 1$  и при традиционной деформации,  $\epsilon \geq 1$ .

Целью настоящей работы являлось оценить степень напряженно-деформированного состояния меди М0б после указанных схем РКУП, исследуя влияние деформации на прочность, деформационную пористость и тонкую структуру материала.

Исходным материалом служили заготовки меди М0б, отожженные при температуре 600°C в течение 2 часов. Деформационную обработку образцов осуществляли при комнатной температуре по двум схемам РКУП, представленным на рис.1 а, б. Первая схема обработки заключалась в продавливании заготовки через каналы деформирующей матрицы с углом пересечения каналов  $\Theta = 90^\circ$ . Разовая эквивалентная деформация за один цикл прессования составляла  $\epsilon = 1$ . При второй схеме обработки использовалась деформирующая матрица с углом пересечения каналов  $\Theta = 160^\circ$ . Разовая эквивалентная деформация за один цикл прессования составляла  $\epsilon = 0.2$ . В обеих схемах обработки после каждого цикла прессования осуществлялся поворот заготовки на 180°. Накопленная суммарная деформация образцов в первом и во втором случаях была одинакова.

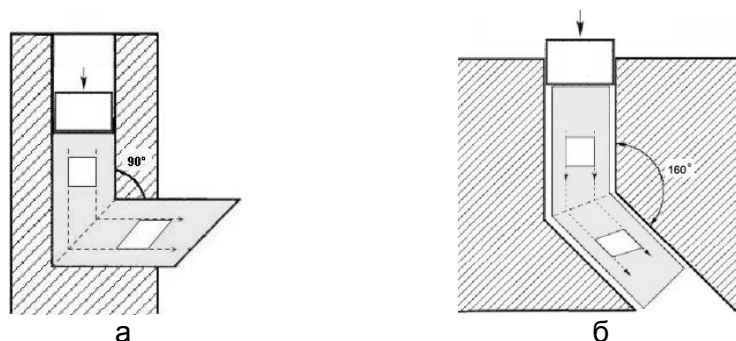


Рисунок 1- Схемы деформационной обработки заготовок методом РКУП с разными углами пересечения каналов  $\Theta$  (а -  $\Theta = 90^\circ$ , б -  $\Theta = 160^\circ$ )

Рентгеноструктурные исследования тонкой структуры показали, что при больших накопленных деформациях в случае применения дробного режима, уровень микродеформации решетки меди и плотность хаотично расположенных дислокаций меньше на порядок по сравнению с образцами после традиционного РКУП (рис.2), а

значит и уровень разуплотнения решетки меньше. В тоже время наблюдается интенсивное измельчение блоков мозаики, исходная их величина – 117 нм.

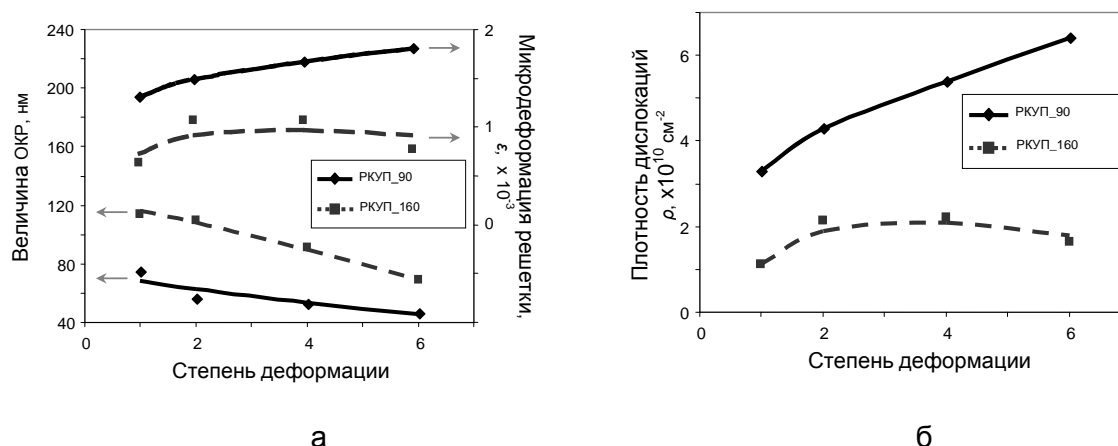


Рисунок 2 - Данные рентгеноструктурного анализа для меди, деформированной разными режимами РКУП: а - величина ОКР и микродеформаций решетки, б – плотность дислокаций в меди в зависимости от степени деформации

При деформировании наряду с микронапряжениями в кристаллической решетке возникают макронапряжения I рода. Результаты расчетов макронапряжений (табл. 1) после деформации по разным схемам РКУП свидетельствуют о том, что после обеих схем деформации в тонком приповерхностном слое все остаточные напряжения (ОН) одного знака – сжимающие, но разные по абсолютной величине.

Таблица 1- Величина макронапряжений в меди после деформации РКУП

Степень деформации, $\epsilon$	Остаточные напряжения $\sigma_{ост}$ , МПа	
	РКУП ( $\theta = 90^\circ$ )	РКУП ( $\theta = 160^\circ$ )
1	- 36,7	- 277,0
2	- 347,0	- 277,0
4	- 623,2	- 277,0
6	- 574,8	0
15	- 287,0	-

Деформирование в дробном режиме ( $\epsilon < 1$ ) с пересекающимися каналами под углом  $160^\circ$  сопровождается одинаковым уровнем остаточных напряжений во всех образцах, за исключением образцов где  $\Sigma\epsilon = 6$ . Кажущееся отсутствие ОН в приповерхностном, тонком слое указывает на то, что в соседнем, глубь лежащем слое, присутствуют напряжения равные по модулю, но противоположные по знаку.

Следовательно, деформация по этому режиму идет сравнительно однородно, чего нельзя сказать о деформации по схеме с углом  $90^\circ$  ( $\epsilon \geq 1$ ). В этом случае кривая зависимости величины остаточных напряжений от степени деформации носит немонотонный характер. Максимальные сжимающие напряжения присутствуют в образцах после деформации с суммарной степенью  $\epsilon = 4$  и  $\epsilon = 6$ , а минимальные - в образцах после деформации  $\epsilon = 1$ . Обращает на себя внимание тот факт, что в образцах после 2 проходов ( $\Sigma\epsilon = 2$ ) остаточные напряжения почти на порядок больше, чем после одного прохода. То есть, при такой схеме деформирования уровень остаточных напряжений распределяется неравномерно, что может сказываться на увеличении деформационной пористости материала.

Установлено, что при деформации РКУП с большой суммарной степенью, но в дробном режиме ( $\epsilon < 1$ ), деформационная пористость меди меньше по сравнению с традиционным РКУП, где  $\epsilon \geq 1$  (рис. 3а).

Сравнительный анализ физико-механических свойств образцов, полученных по двум разным схемам РКУП, показал, что плотность образцов при сдвиговой деформации в дробном режиме ( $\epsilon = 0.2$ ) немного выше, а твердость, как и для других

методов ИПД [4], интенсивно повышается в пределах деформации до  $\Sigma\epsilon \sim 2$ , а далее меняется незначительно (рис. 3б).

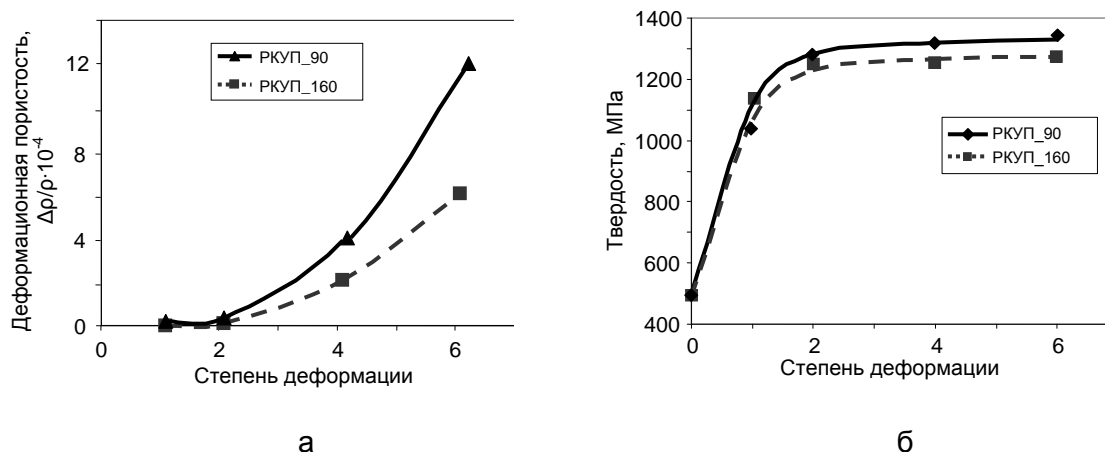


Рисунок 3 - Влияние степени деформации РКУП на деформационную пористость (а) и твердость (б) меди после различных схем обработки

Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния образцов после деформации РКУП по традиционному и дробному режимам свидетельствует о том, что все структурно-чувствительные характеристики тонкой структуры – блоки мозаики, микро- и макронапряжения, плотность дислокаций, твердость и деформационная пористость являются взаимозависимыми и взаимосвязанными друг с другом и с дислокационной структурой.

Экспериментально показано, что деформация РКУП в дробном режиме является более предпочтительной с точки зрения дефектной структуры, так как обеспечивает менее напряженное состояние кристаллической структуры при достаточно высокой твердости материала.

#### Список литературы

1. Валиев, В.З., Александров И.В.. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией.- М. : «Логос». - 2000. - 272 с.
2. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. – М.: «Металлургия». – 1986. – 223 с.
3. Черемской П.Г., Слезов В.В., Бетехтин В.И. Поры в твердом теле. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 376 с
4. Влияние больших пластических деформаций на структуру и свойства меди М06 / Л.Ф.Сенникова, А.А.Давиденко, В.М.Ткаченко, Л.С.Метлов // Вопросы материаловедения. – 2017. – Т. 89, № 1. – С. 92-98.