

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОЙ ОСАДКИ ПОРОШКОВЫХ МЕДНО-ТИТАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рябичева Л.А., Гапонова О.П. (ВНУ им. В.Даля, г. Луганск)

*Исследовано влияние содержания титана на параметры деформации и уплотнение порошковых медно-титановых материалов при свободной осадке. Показано, что химический состав, условия деформации являются определяющими при формировании деформационных характеристик материала.*

Сплавы системы Cu–Ti применяются в электротехнике и в машиностроении, как материалы с высокой прочностью и электропроводностью. Исследования порошковых медно-титановых материалов ограничены изучением влияния режимов деформационного старения на механические свойства и электросопротивление [1, 2], особенности пластической деформации порошковых медно-титановых материалов изучены недостаточно [3].

Цель работы – исследование влияния содержания титана на параметры деформации и уплотнение порошковых медно-титановых материалов.

Образцы для деформации сжатием изготавливали двусторонним прессованием из порошков меди ПМС-1 и титана ВТ1-0 с массовой долей титана 0,5 и 2%, пористостью 5%. Спекание выполняли при температуре 900-920°C в течение 3 ч. в среде генераторного газа. Сжатие проводили на испытательной машине ZD-4 при температурах 20-700°C и скоростях деформации 0,01 и 0,001 с<sup>-1</sup>. Степень деформации составляла 60%. Кривые упрочнения строили по методике [4] (рис. 1).

Зависимость напряжение–деформация описывается выражением [4]:

$$\sigma = \sigma_0 + Ke_z^n, \quad (1)$$

где  $\sigma$  и  $\sigma_0$  - текущее и начальное сопротивление твердой фазы соответственно;

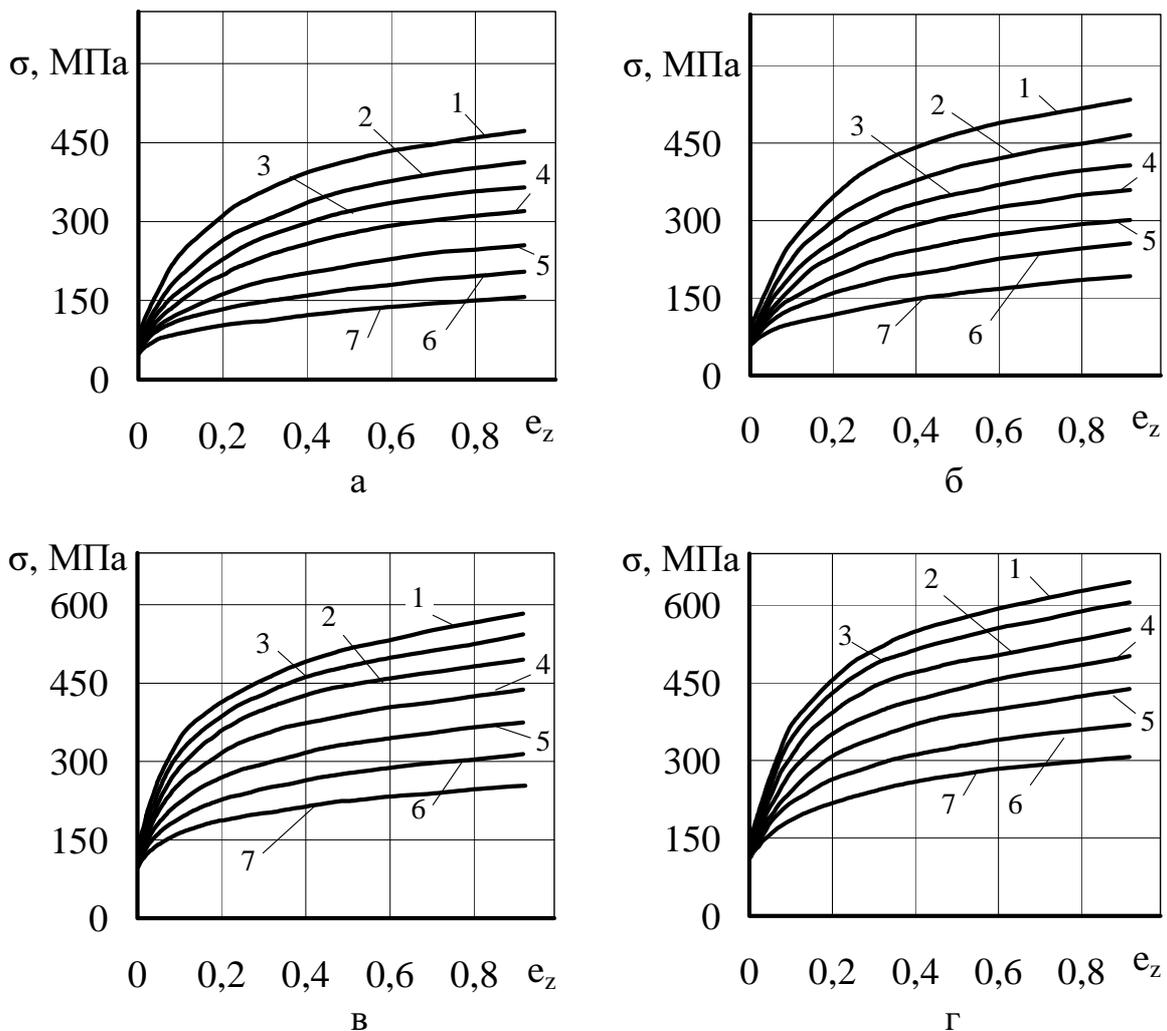
$e_z$  - истинная осевая деформация;

$K$  и  $n$  – коэффициент и показатель деформационного упрочнения.

Деформация порошковых материалов при повышенных температурах приводит к упрочнению и одновременному прохождению разупрочняющих процессов – динамического возврата и рекристаллизации, и тем интенсивнее, чем ниже скорость деформации. С ростом температуры сопротивление пластической деформации уменьшается. Однако, вследствие

динамического деформационного старения при 400°C наблюдается рост напряжений, что согласуется с данными работы [5].

Химический состав также оказывает влияние на сопротивление пластической деформации. Порошковые медно-титановые материалы, содержащие 2% титана, упрочняются интенсивнее, чем с 0,5%, несмотря на прохождение динамической рекристаллизации.



**Рисунок 1** – Кривые упрочнения при содержании титана 0,5% (а, б) и 2% (в, г), скорость деформации 0,001 (а, в) и 0,01 с<sup>-1</sup> (б, г):  
1–20°C, 2–200°C, 3–400°C, 4–300°C, 5–500°C, 6–600°C, 7–700°C

По методике [4] кривые упрочнения перестраивали в координаты  $\ln \Delta\sigma - \ln \epsilon_z$ , что позволило определить показатель деформационного упрочнения и обнаружить три характерных стадии, которые свидетельствуют об изменении механизма деформации. Постадийно показатель деформационного упрочнения уменьшается вследствие снижения интенсивности упрочнения с ростом степени деформации (табл. 1). В результате снижения скорости деформации показатель деформационного упрочнения  $n$  уменьшается, и тем меньше, чем выше содержание титана. Динамические разу-

прочняющие процессы при повышенных температурах обеспечивают снижение  $n$ . Однако деформационное старение при 400°C приводит к увеличению показателя деформационного упрочнения.

Таблица 1 – Значения показателя  $n$  и коэффициента  $K$  деформационного упрочнения на трех стадиях в зависимости от скорости и температуры деформации при одноосном сжатии

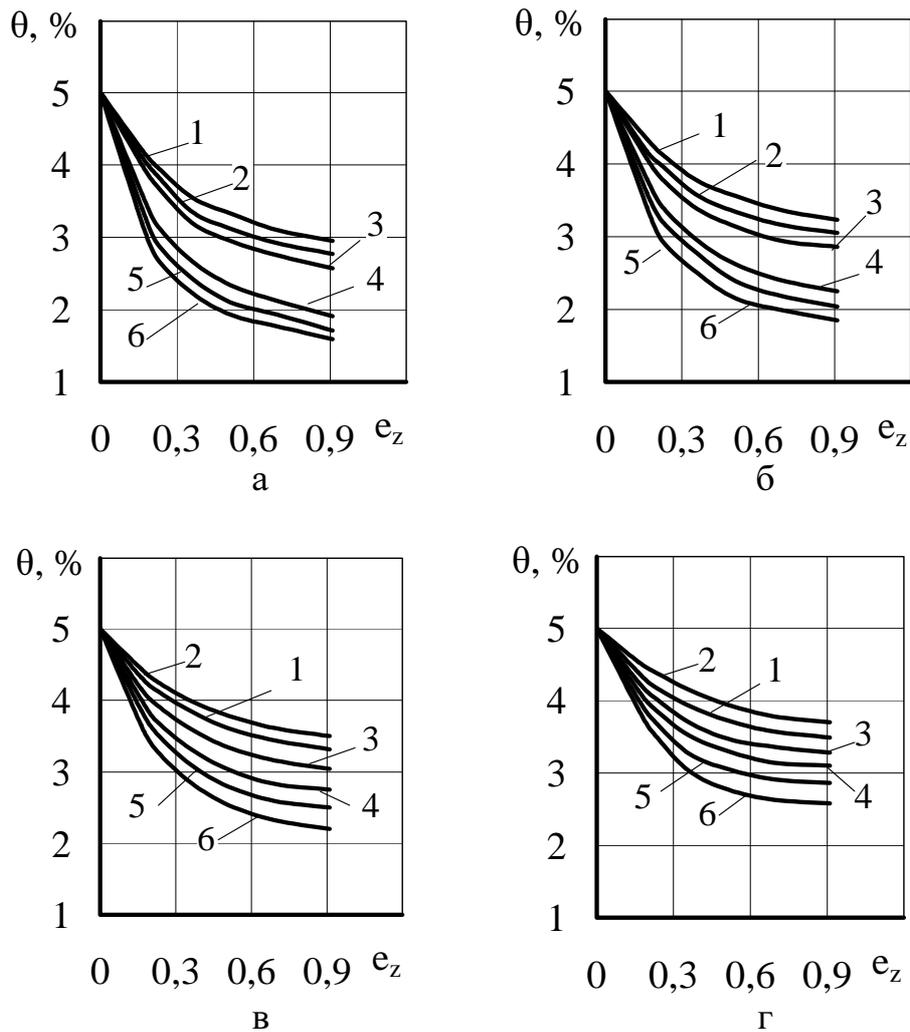
$t, ^\circ\text{C}$	$n_1 / K_1$		$n_2 / K_2$		$n_3 / K_3$	
	$0,01 \text{ c}^{-1}$	$0,001 \text{ c}^{-1}$	$0,01 \text{ c}^{-1}$	$0,001 \text{ c}^{-1}$	$0,01 \text{ c}^{-1}$	$0,001 \text{ c}^{-1}$
Содержание титана 0,5%						
200	0,96/1555	0,95/1322	0,66/716	0,64/660	0,42/357	0,39/310
400	0,95/1390	0,94/1189	0,63/668	0,6/580	0,41/310	0,38/250
700	0,82/840	0,8/782	0,54/384	0,52/324	0,34/162	0,3/116
Содержание титана 2%						
200	0,9/1951	0,89/1810	0,56/871	0,54/651	0,35/390	0,33/270
400	0,93/2100	0,92/1962	0,58/900	0,59/727	0,37/442	0,36/380
700	0,78/1240	0,75/1183	0,49/666	0,46/474	0,28/280	0,25/162

Так же как и  $n$ , коэффициенты деформационного упрочнения  $K$  на трех стадиях сжатия зависят от условий деформации и состава материала (табл. 1). С повышением температуры коэффициент  $K$  имеет тенденцию к снижению. При температуре 400°C, по аналогии с  $n$ , наблюдается увеличение  $K$ . Повышение скорости деформации приводит к росту коэффициентов деформационного упрочнения.

Деформация порошковых материалов при наличии сжимающих напряжений сопровождается уплотнением. Исследования влияния температурно-скоростных условий деформации на изменение пористости порошковых медно-титановых материалов при одноосном сжатии представлены на рис. 2.

С увеличением степени деформации наблюдается снижение пористости. Причем при большей скорости деформации это снижение более интенсивно. Однако при 400°C динамическое деформационное старение, уменьшая пластичность частиц, снижает и интенсивность уплотнения. В порошковых медно-титановых материалах с 2% Ti уменьшение пористости происходит менее интенсивно, чем с 0,5% (рис. 3). По-видимому, титан, упрочняя медную матрицу, тормозит процесс уплотнения. С ростом температуры интенсивность уплотнения увеличивается.

При повышенных температурах деформации в порошковых медно-титановых материалах в результате динамической рекристаллизации в области 500-600°C формируется новая рекристаллизованная структура. Металлографические исследования, выполненные на растровом электронном микроскопе РЭММА-102, показали, что медь становится мелкозернистой с



**Рисунок 2** – Изменение пористости материалов с 0,5% (а, б) и 2% (в, г) титана при скоростях деформации: а, в -  $0,01 \text{ с}^{-1}$ ; б, г -  $0,001 \text{ с}^{-1}$ :  
1 –  $200^\circ\text{C}$ ; 2 –  $400^\circ\text{C}$ ; 3 –  $300^\circ\text{C}$ ; 4 –  $500^\circ\text{C}$ ; 5 –  $600^\circ\text{C}$ ; 6 –  $700^\circ\text{C}$

величиной зерна менее 3,5 мкм. Частицы титана в результате пластической деформации при повышенных температурах измельчаются. Если их исходный размер находился в пределах 60 мкм, то после деформации при  $700^\circ\text{C}$  он составил 15-28 мкм. Причем количество частиц титана в материале с его содержанием 2% возросло в результате их дробления при пластической деформации, что и оказало влияние на большее упрочнение материала, несмотря на развитие динамического разупрочнения.

Таким образом, анализ влияния содержания титана на параметры деформации порошковых медно-титановых материалов показал, что снижение скорости деформации приводит к уменьшению упрочнения и тем интенсивнее, чем выше температура и ниже содержание титана в материале. Рост степени деформации сопровождается уплотнением, причем данный процесс происходит в большей степени у образцов с меньшим количеством легирующей добавки. При сжатии при  $400^\circ\text{C}$  процессы динамического деформационного старения снижают уплотнение вследствие умень-

шения пластичности частиц. Деформация при повышенных температурах обеспечивает создание мелкозернистой структуры меди за счет динамического разупрочнения и разрушение частиц титана, что способствует уплотнению материала.

#### Литература

1. Аренсбургер Д.С. Свойства дисперсионно-твердеющих порошковых медных сплавов // Порошковая металлургия. – 1988. – №2. – С. 37–41.
2. Аренсбургер Д.С., Летунович С.М. Свойства спеченных дисперсионно-твердеющих медных сплавов // Порошковая металлургия. – 1986. – №7. – С. 27-31.
3. Севастьянов Е.С., Киреев П.И. О динамическом деформационном старении порошковых сплавов // Порошковая металлургия. – 1986. - №2. – С. 78-83.
4. Деформационное упрочнение и разрушение поликристаллических металлов / В.И. Трефилов, В.Ф. Моисеев, Э.П. Печковский и др. / Под ред. В.И. Трефилова. – К.: Наук. думка, 1987. – 248 с.
5. Soffa W.A., Laughlin D.E. High-strength age hardening copper-titanium alloys: redivivus // Progress in Materials Science. – 2004. - № 49. – P. 347–366.
6. Структура и прочность порошковых материалов / С.А. Фирстов, А.Н. Демидык, И.И. Иванова и др. / Под ред. С.А. Фирстова, М. Шлесара. – К.: Наук. думка, 1993. - 175 с.

© Рябичева Л.А., Гапонова О.П. 2008