

# ДИНАМИЧЕСКАЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ВТ5-1 ПРИ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ОДНООСНЫМ СЖАТИЕМ

**Бердин Н. В.**

*Руководитель: профессор, д.т.н. Смыслов А. М.*

Уфимский государственный авиационный технический университет, г.Уфа

[Berdin@bk.ru](mailto:Berdin@bk.ru)

Известно, что температурно-скоростные условия горячей пластической деформации оказывают влияние на развитие процессов динамической рекристаллизации и формирование микрокристаллической структуры в промышленных титановых сплавах [1,2]. Важная роль при этом отводится параметрам деформированного состояния: значению скорости, интенсивности и величине накопленной деформации. Вместе с тем роль параметров напряженного состояния в процессах формирования структуры в сплавах на основе титана изучена недостаточно[3].

Поэтому, в настоящей работе на примере однофазного  $\alpha$ - титанового сплава ВТ5-1 исследовано влияние показателя напряженного состояния  $K_1$  и показателя формы девиатора напряжений  $K_2$  на механическое поведение и формирование микрокристаллической структуры в ходе горячей пластической деформации цилиндрических образцов одноосным сжатием. Показатель напряженного состояния изменяли путем изменения исходной геометрии образцов. Были выбраны образцы с одинаковым диаметром 12,0 мм, но различной высотой:  $h_1=4,0$  мм,  $h_2=8,0$  мм,  $h_3=15,0$  мм. Учитывая неоднородный характер формирования напряженного состояния в объеме образцов при сжатии, значения  $K_1$  и  $K_2$ , а также металлографические и рентгеноструктурные исследования выполняли в 4-х характерных точках: в застойной зоне-1, вблизи боковой поверхности под бойком-2, вблизи поверхности бочки -3 и в центре образца-4. Результаты математического моделирования (таблица1) показывают, что в образцах с различной исходной высотой показатели напряженного состояния в точках наблюдения 1...4 различны. При этом в точке 4 в образце с высотой  $h_3=15,0$  мм показатель напряженного состояния  $K_1$  составляет величину -0,95, а для образцов с начальной высотой  $h_1=4,0$  мм параметр  $K_1 = -5,6$ . Показатель вида нагружения  $K_2$  в точке 4 оставался неизменным и равным  $K_2= 1$ .

Таблица 1. – Параметры напряженного и деформированного состояния.

H <sub>0</sub> , мм	K <sub>1</sub> в точках				K <sub>2</sub> в точках				e <sub>i</sub> в точках			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
15	-4,96	-3,21	0,05	-0,95	0,99	-0,16	-0,11	1,0	0,03	1,2	0,6	1,1
8,0	-5,23	-2,07	0,54	-2,09	0,99	0,47	-0,88	1,0	0,08	1,2	0,4	1,1
4,0	-12,3	-1,58	0,4	-5,6	0,99	0,6	-0,7	1,0	0,16	1,3	0,4	1,1

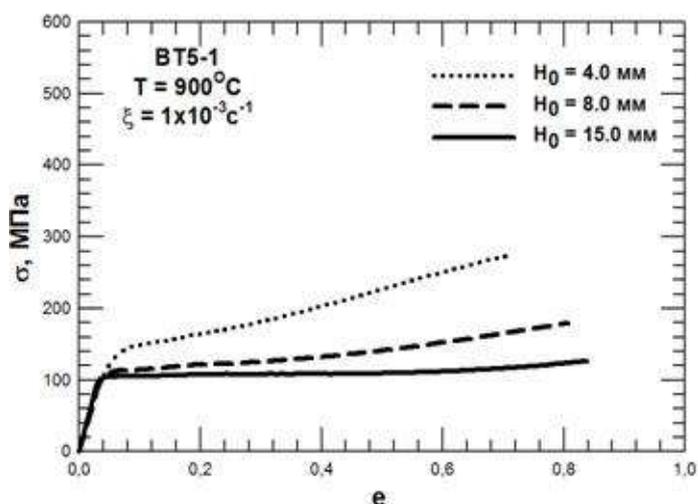
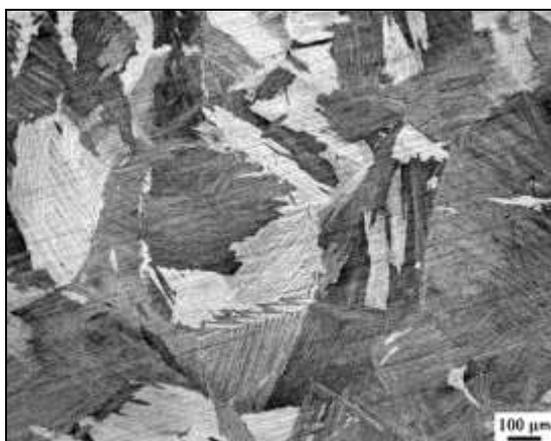


Рис.1 Зависимость напряжений течения от степени деформации.

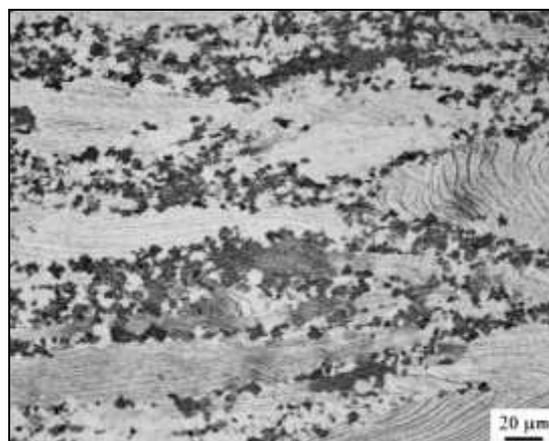
наклон кривой зависимости  $\sigma=f(e_i)$  при уменьшении исходной высоты.

Расчеты показывают, что при одинаковой величине высотной деформации  $\Delta H/H_0$ , величина накопленной деформации  $e_i$  в точке 4 была равна 1,1 вне зависимости от значения исходной высоты.

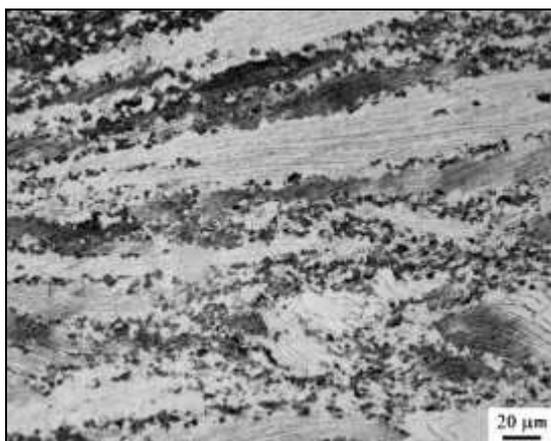
Зависимости напряжений течения образцов при деформации (Рис.1) по одинаковым режимам нагружения показали, что с уменьшением исходной высоты напряжения течения увеличиваются. Увеличивается и



а.



б.



в.



г.

Рис.2 Микроструктура сплава BT5-1 в исходном состоянии и после горячей деформации.  $T=900$  °C, скорость деформации  $10^{-3}$  c<sup>-1</sup>, степень высотной деформации 60%. а – исходное состояние. б - центр образца  $h_1=15,0$  мм, в – центр образца  $h_2=8,0$  мм, г- центр образца  $h_3=4,0$  мм

При выполнении металлографических исследований (Рис.2) установлено, что эволюция структуры в образцах после деформации происходит

неравномерно в объеме. Степень неравномерности преобразования структуры зависит от исходной высоты образцов. Чем меньше исходная высота образцов, тем в большем его объеме наблюдаются рекристаллизованные зерна. Однако, если в образцах с  $H_0=15,0$ мм рекристаллизованные зерна охватывают большую часть исходных зерен (Рис.2б), то в образцах с  $H_0=4,0$ мм они сосредоточены вблизи границ этих зерен. Количественный анализ микроструктуры в центральной части образцов показал, что размер рекристаллизованных зерен, также как и объем рекристаллизованной структуры зависит от исходной высоты образцов. С уменьшением исходной высоты размер рекристаллизованных  $\alpha$ -зерен уменьшается с 9-10 мкм до 3-4 мкм (Таблица 2).

Таблица 2. – Результаты EBSD – анализа.

H <sub>0</sub> , мм	d4 мкм	Границы с углом 3-7 град				Границы с углом 25-30 град			
		1	2	3	4	1	2	3	4
15	9,5	0,01	0,24	0,14	0,12	1,34	0,38	0,68	0,46
8,0	5,1	0,08	0,21	0,12	0,13	1,35	0,44	0,69	0,50
4,0	3,7	0,20	0,12	0,19	0,17	1,24	0,54	0,70	0,65

Результаты EBSD-анализа микроструктуры в четырех характерных точках показал, что исходная высота деформированных образцов также влияет и на структуру границ рекристаллизованных зерен, что выражается в различной доле мало- и высокоугловых границ не только в характерных точках 1...4 образца, а также в зависимости от его исходной высоты.

Таким образом, на основе результатов математического моделирования, механических испытаний, металлографического и EBSD- анализа можно сделать вывод о влиянии геометрии образца на параметры напряженного состояния  $K_1$  и  $K_2$ , на механическое поведение и развитие процессов рекристаллизации, которая определяет эволюцию крупнокристаллической структуры в микрокристаллическую в титановом сплаве ВТ5-1.

#### Список литературы:

1. Кайбышев О.А., Лутфуллин Р.Я., Салищев Г.А.. Влияние условий сверхпластической деформации на трансформацию пластинчатой микроструктуры в титановом сплаве ВТ9 // ФММ. –1988. т.66. -вып.6, -С.1163-1171.
2. Салищев Г.А., Лутфуллин Р.Я., Мазурский М.И. Преобразование пластинчатой микроструктуры в равноосную при горячей деформации титанового сплава ВТ5-1. Металлы, №3. 1990 г., с.30...45.
3. Бердин В.К., Караваева М.В., Ахунова А.Х.Нуриева С.К. Влияние напряженного состояния на структурные изменения в титановом сплаве ВТ9 при горячей деформации. Материаловедение №2, 2008 с.28-34.