



XIII ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ

Российский Федеральный Ядерный Центр –
Всероссийский НИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина
20-24 марта 2017 г.
Снежинск, Россия

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ ГАФНИЕВОЙ БРОНЗЫ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

*В.В. Попов¹, А.В. Столбовский¹, Е.Н. Попова¹,
Р.М. Фалахутдинов¹, К.В. Гаан², Е.В., Шорохов²*

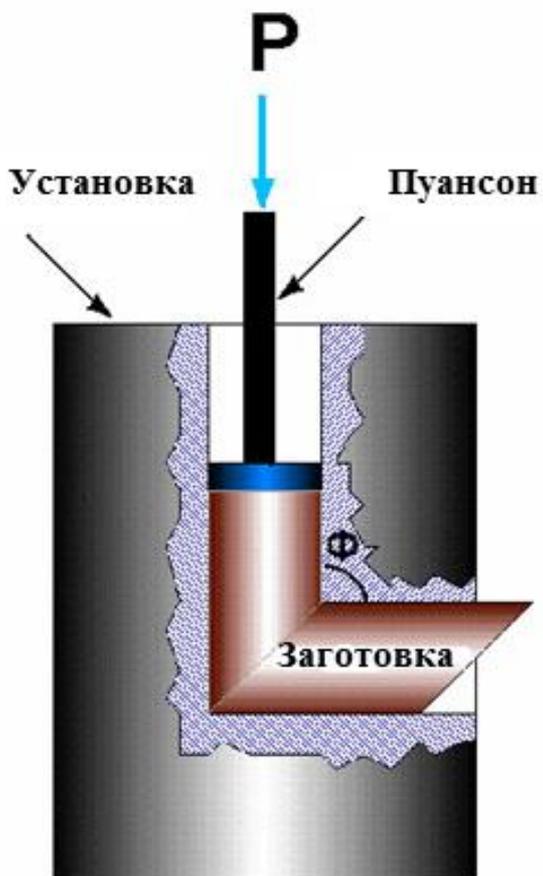
¹Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия;

²Российский федеральный ядерный центр ВНИИ технической физики, Снежинск,
Россия;

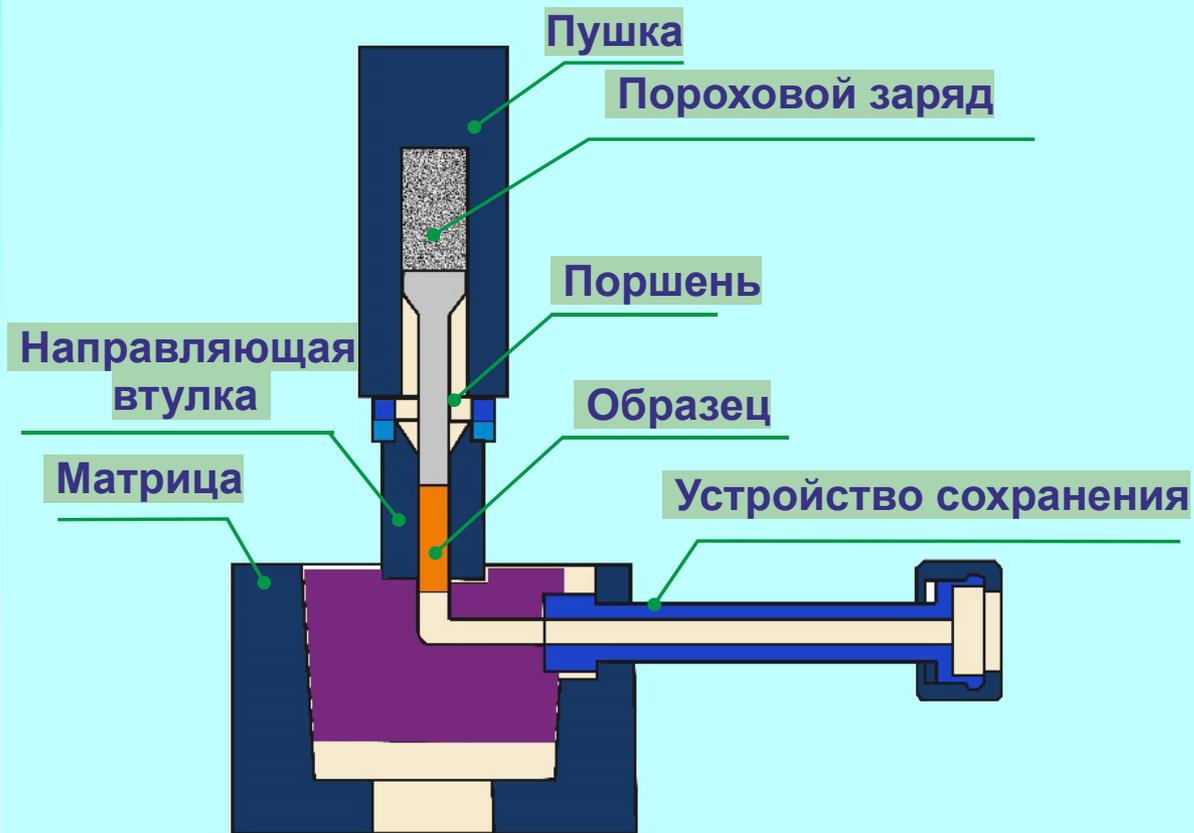


РКУП и ДКУП

Равноканальное угловое прессование



Динамическое канально-угловое прессование





Исследуемый материал

Гафниевая бронза

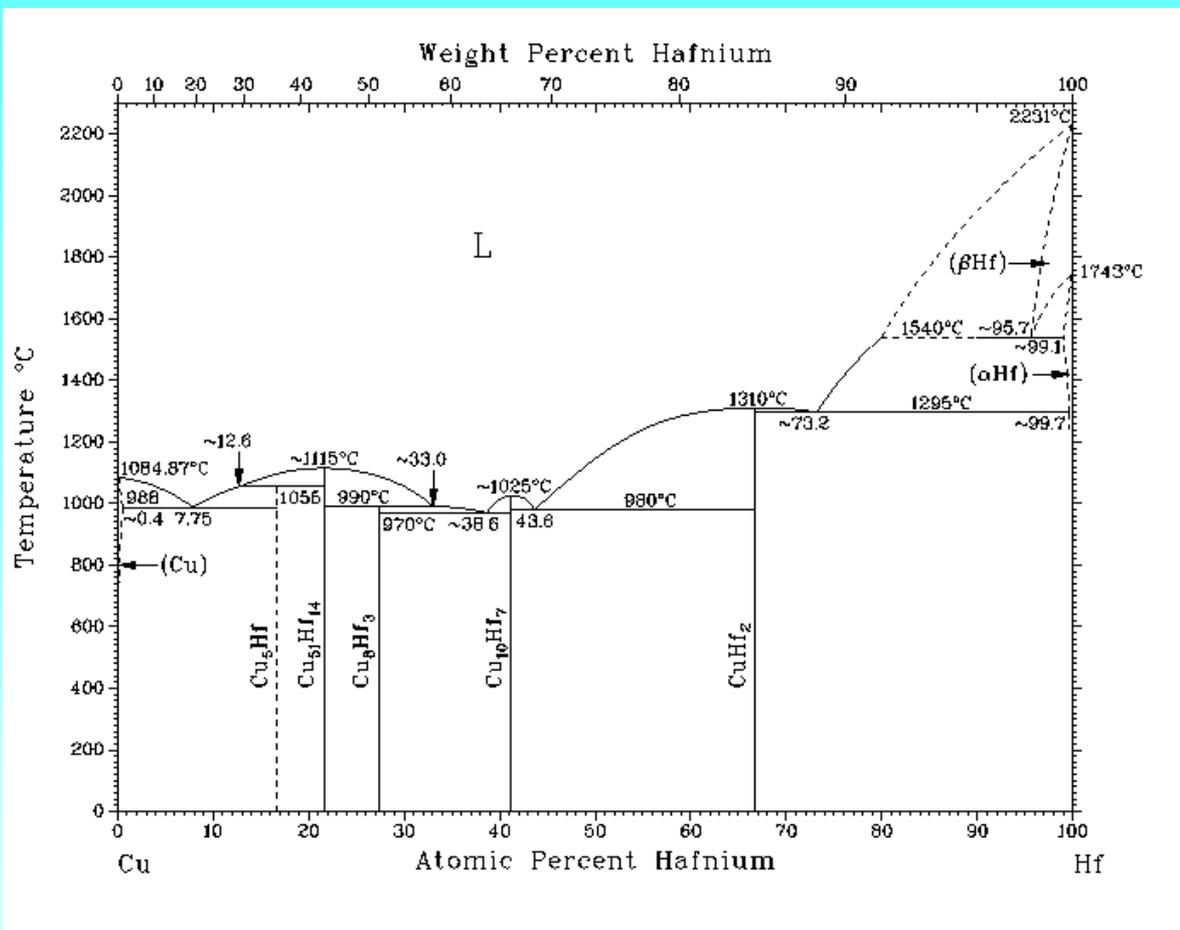
Элемент	Hf	Fe	Ni	Zn	Sn
Содержание, ат. %	0,28	~0,001	~0,005	~0,005	~0,003
Содержание, мас. %	0,78	~0,001	~0,005	~0,005	~0,005

Обработка

1. Горячая ковка, 600 °С
- 2а. Отжиг, 800°С
- 2б. Закалка от 950°С



Диаграмма состояния Cu-Hf

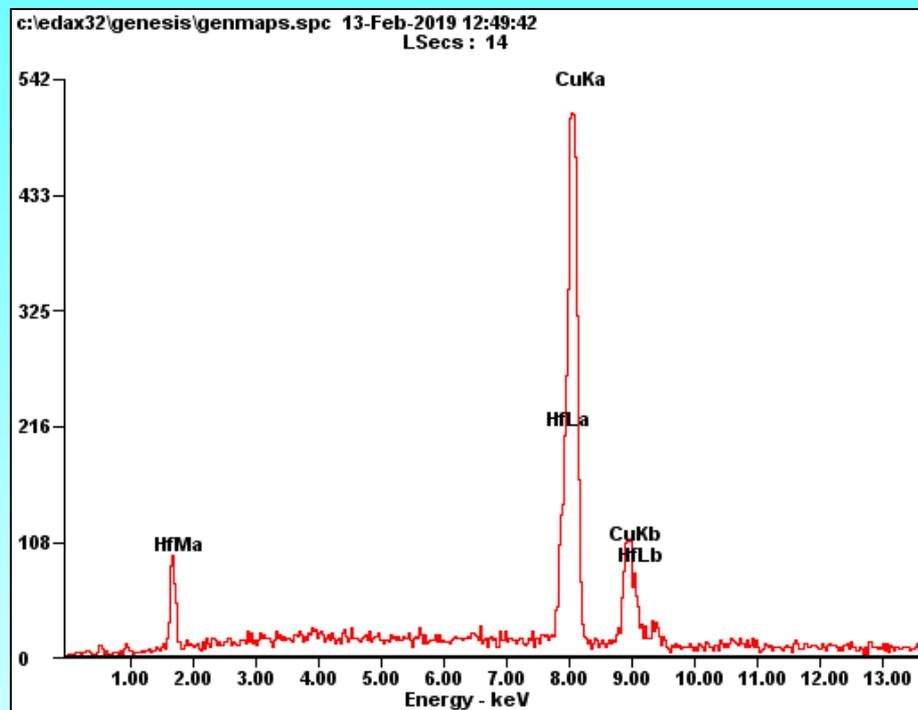
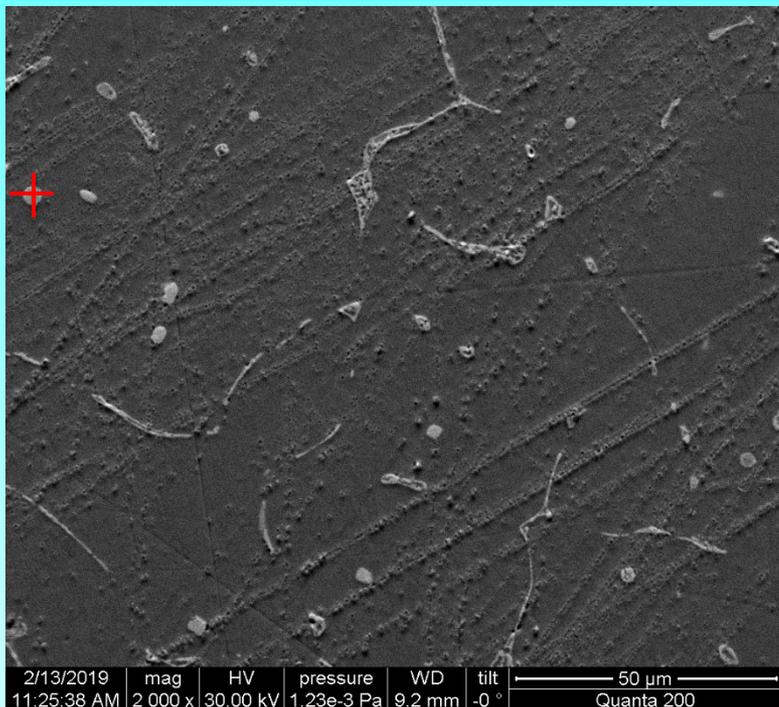


Растворимость Hf в Cu при различных температурах

Температура, °C	1050	1000	970	900	800	700	600
Растворимость Hf, ат. %	0,15	0,29	0,34	0,19	0,10	0,06	0,04
Растворимость Hf, мас. %	0,42	0,81	0,95	0,53	0,28	0,17	0,11



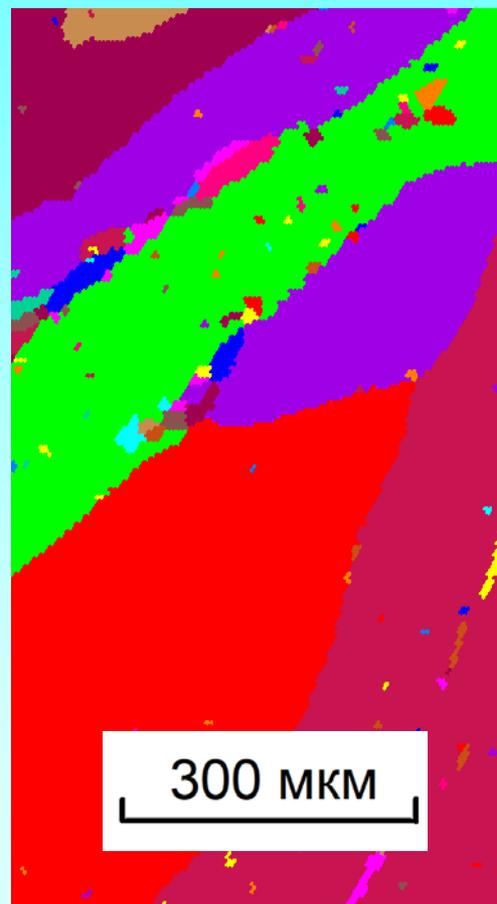
Результаты анализа состава интерметаллидов в гафниевой бронзе в литом состоянии



Element	Wt%	At%
HfL	35.54	16.41
CuK	64.46	83.59
Matrix	Correction	ZAF



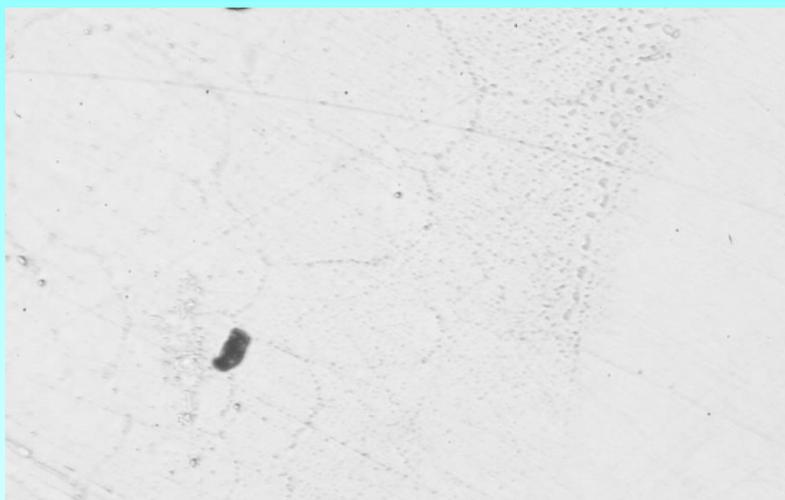
Микроструктура образцов бронзы после закалки и отжига



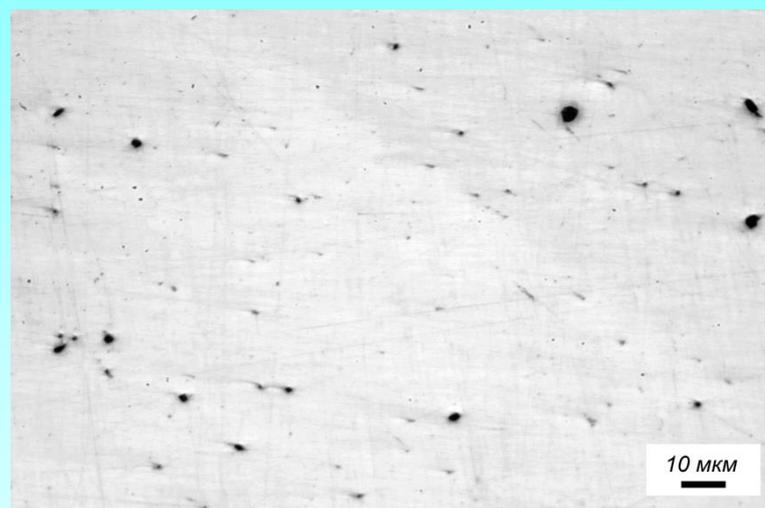


Микроструктура нетравленных образцов бронзы после закалки и отжига

Закалка



Отжиг



$H_V=760 \pm 20$ МПа



Внешний вид образцов бронзы после отжига и ДКУП



1 проход



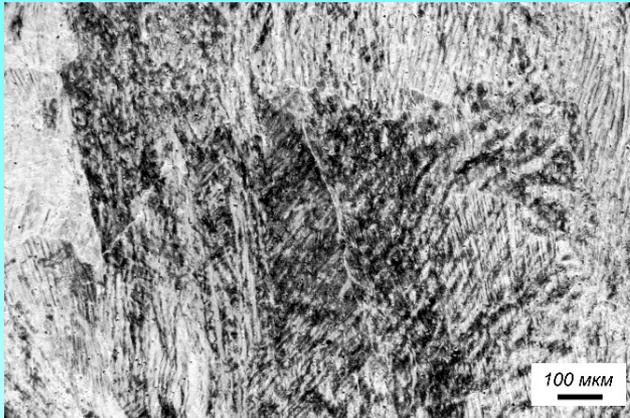
2 прохода



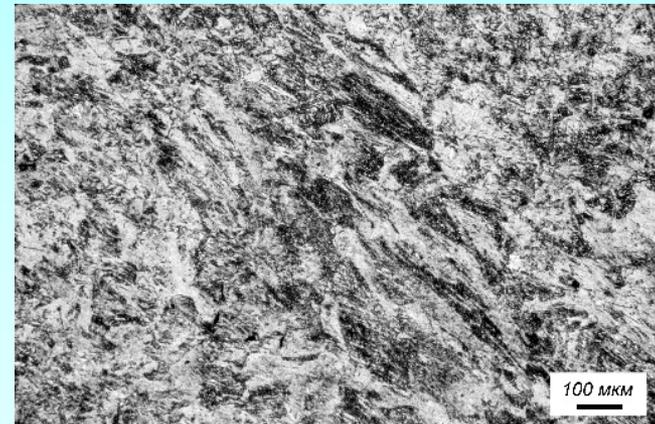
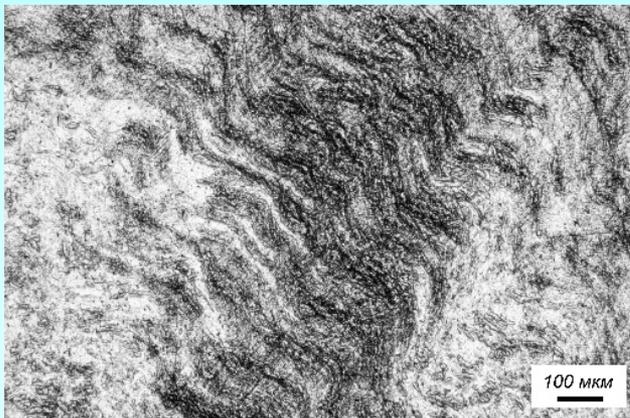
3 прохода

Микроструктура бронзы после отжига и ДКУП

1 проход



2 прохода





Сравнение микротвердости бронзы и меди после отжига и ДКУП

Гафниевая бронза		Медь М1	
1 проход	2 прохода	1 проход	2 прохода
1440-1550 МПа	1610-1700 МПа	1500-1640 МПа	1680-1730 МПа



Внешний вид образцов бронзы после закалки и ДКУП

1 проход

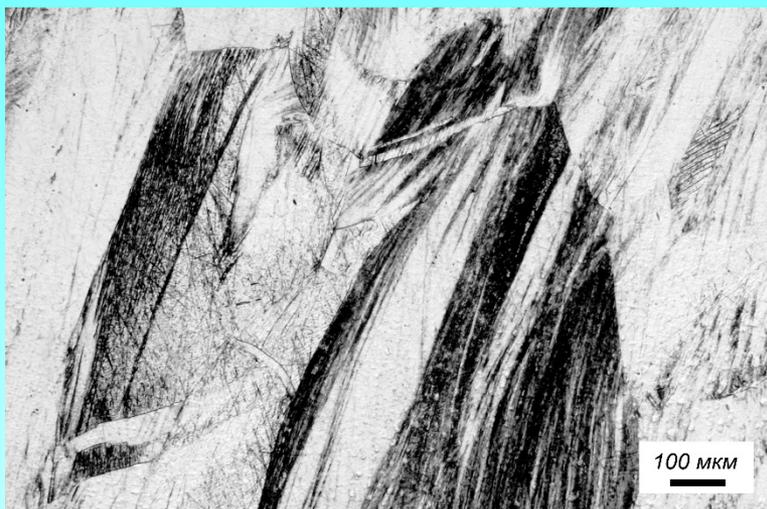


2 прохода

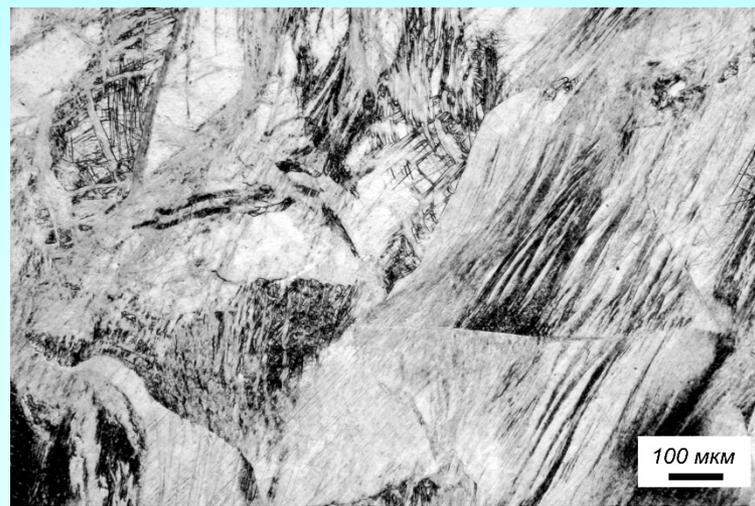


Микроструктура бронзы после закалки и ДКУП

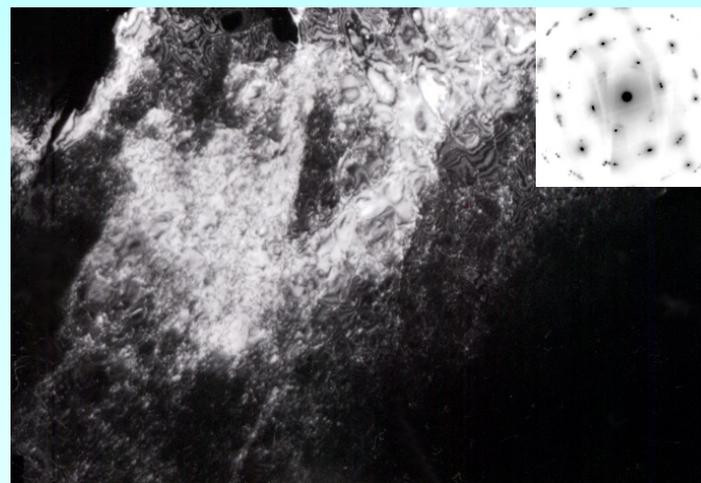
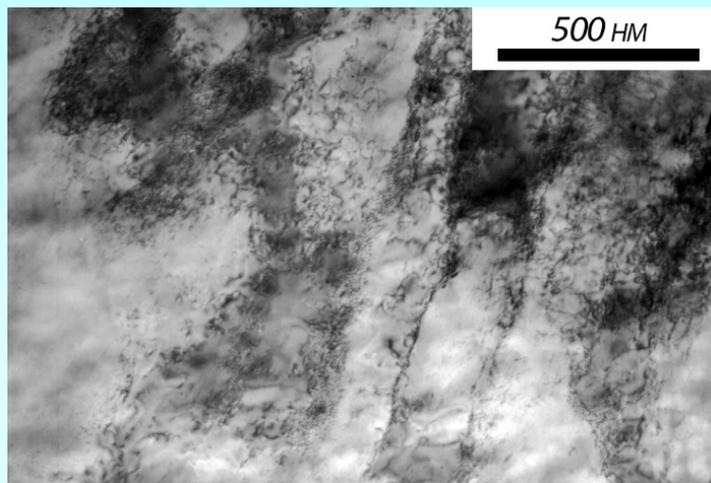
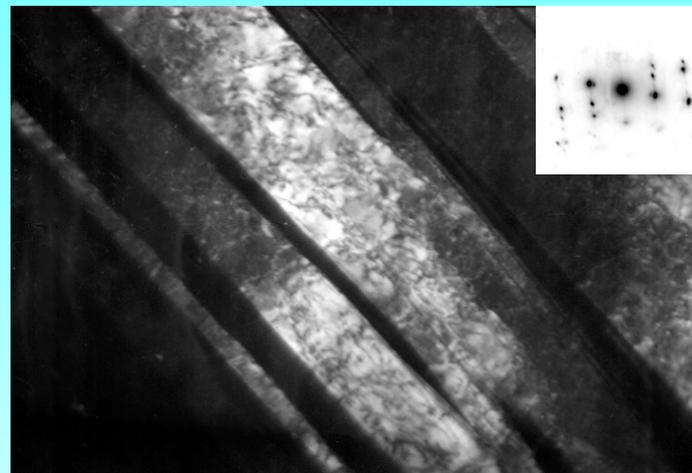
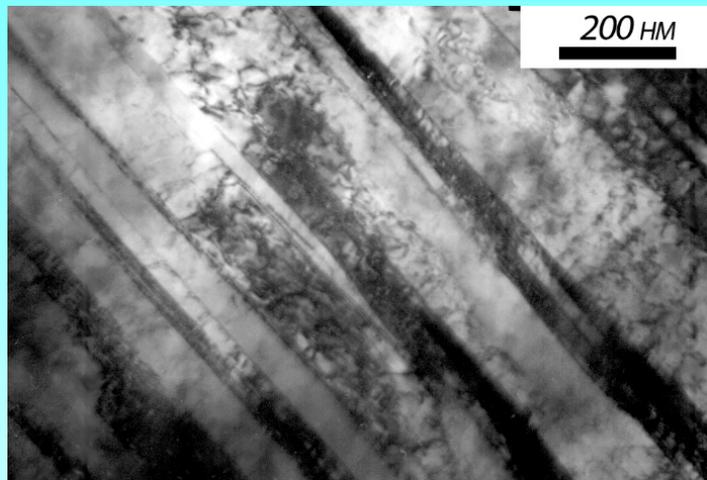
1 проход



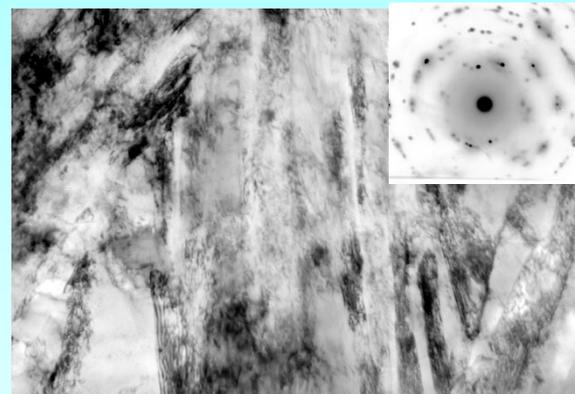
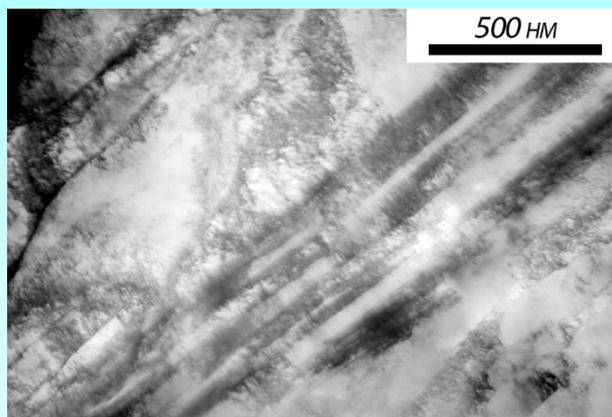
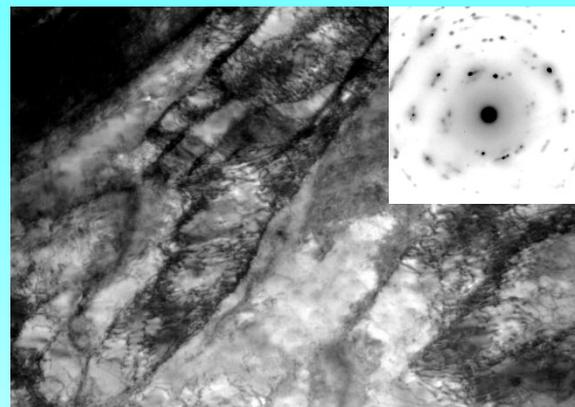
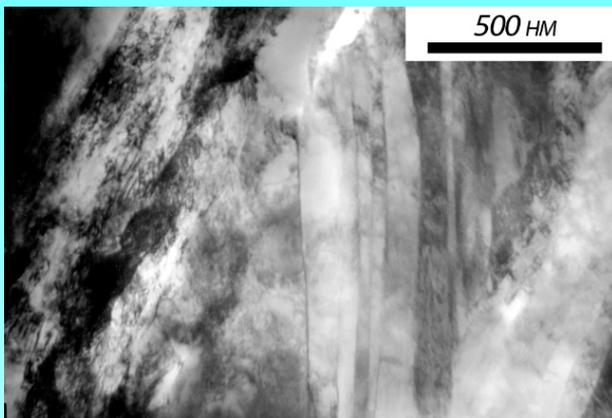
2 прохода



Структура бронзы после 1 прохода ДКУП



Структура бронзы после 2 проходов ДКУП





Микротвердость гафниевой бронзы, подвергнутой закалке, оловянистой бронзы и меди после деформации ДКУП на 1 и 2 прохода

Материал	Обработка	
	1 проход ДКУП	2 прохода ДКУП
Медь М1, отжиг	1500–1640 МПа	1680-1730 МПа
Гафниевая бронза (0,28 ат.%), закалка	1600-1800 МПа	1800-2170 МПа
Оловянистая бронза (0,56 ат.%Sn), отжиг	1820–1960 МПа	2170–2330 МПа



Заключение

Выполнено исследование эволюции структуры гафниевой бронзы при динамическом канально-угловом прессовании на 1 и 2 прохода и проведено сравнение с эволюцией структуры меди М1 при такой же обработке. Показано, что результатом легирования гафнием является более интенсивное упрочнение по сравнению с медью за счет включения механизма двойникования и уменьшения вероятности протекания процессов возврата и рекристаллизации при высокоскоростной деформации. По сравнению с чистой медью гафниева бронза упрочняется быстрее и для нее может быть достигнута более высокая твердость, чем для меди. Кроме того, можно ожидать дальнейшего упрочнения при последующем старении.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !