

¹ГНЦ ФГУП «Центр М.В. Келдыша»

²Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»

³РТУ МИРЭА, Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ПРОЦЕССЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ Ti50Ni20Cu30

Ситников Н.Н.^{1, 2}, Сундеев Р.В.³, Хабибуллина И.А.¹, Шеляков А.В.², Высотниа Е.А.¹

Цель работы

Целью данной работы являлось изучение влияния ИПД в условиях кручения под высоким квазигидростатическим давлением на формирование структуры в сплавах TiNi-TiCu с содержанием меди более 30 ат. %.

Этапы выполнения работы

- Получение быстрозакалённых аморфных лент сплавов TiNi-TiCu с содержанием меди более 30 ат. % методом сверхбыстрой закалки из расплава и подготовка образцов для кручения под высоким давлением.
- Подбор режимов интенсивной пластической деформации методом кручения под высоким давлением (КВД).
- Обработка подготовленных образцов сплавов $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{20}\text{Cu}_{30}$, $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{16}\text{Cu}_{34}$, $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{12}\text{Cu}_{38}$ методом КВД.
- Исследование процессов кристаллизации продеформированных сплавов в калориметре и изучение структуры полученных образцов до и после КВД и после отжига.

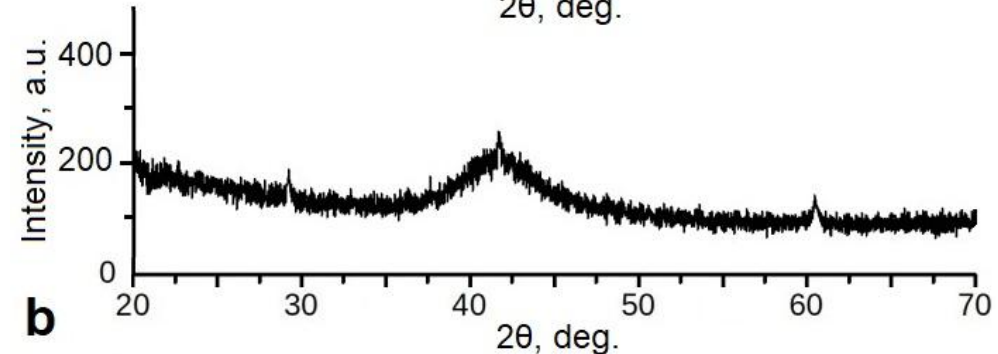
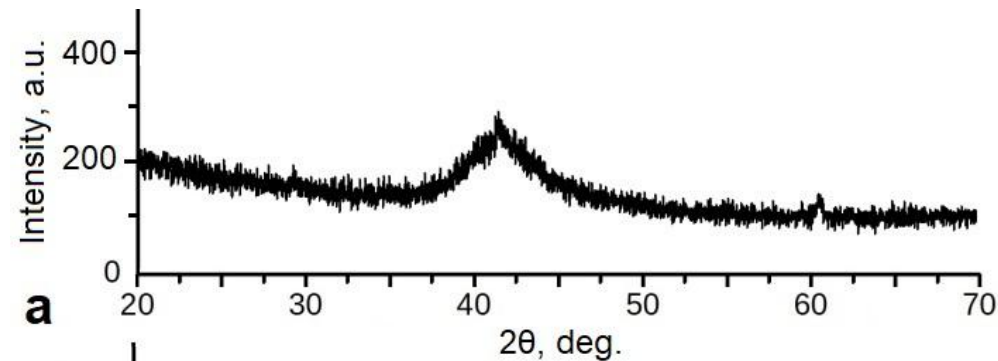
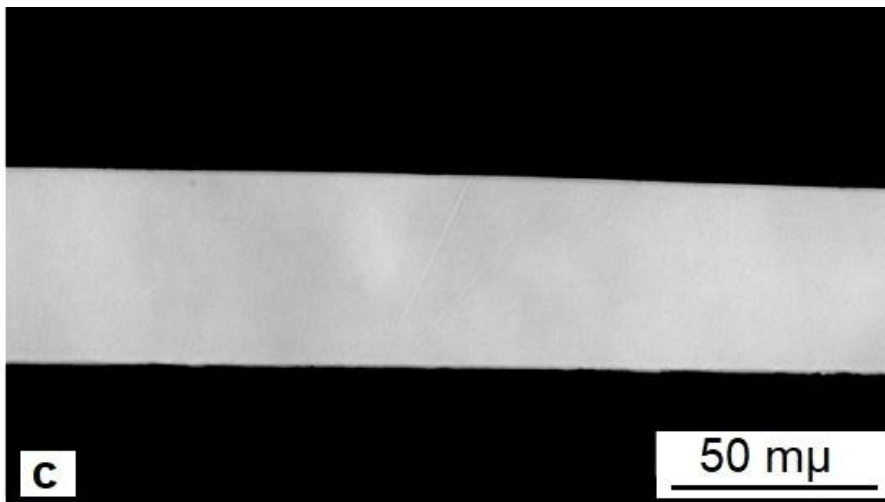
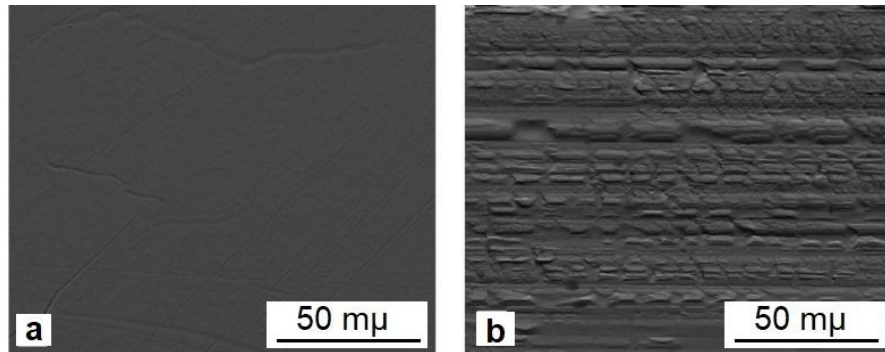
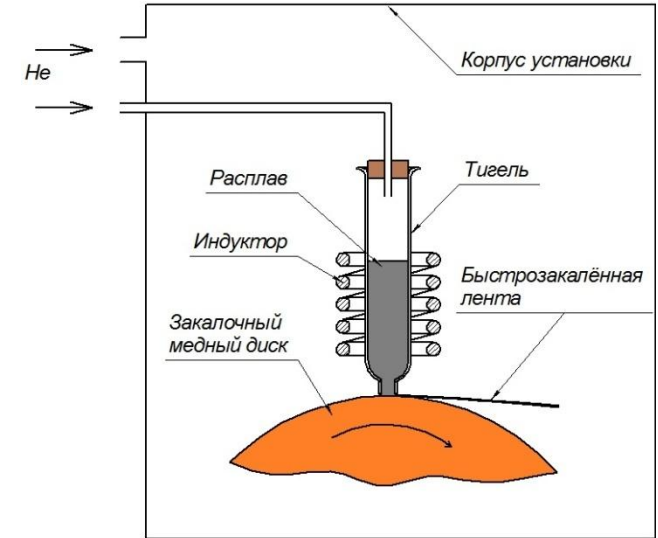
Получение тонких лент из сплава с ЭПФ методом быстрой закалки из расплава

Состав сплава: $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{20}\text{Cu}_{30}$,

$\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{16}\text{Cu}_{34}$,

$\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{12}\text{Cu}_{38}$ (ат. %)

Параметры получаемой ленты: ширина – от 1,5 до 20 мм; толщина – от 30 до 50 мкм

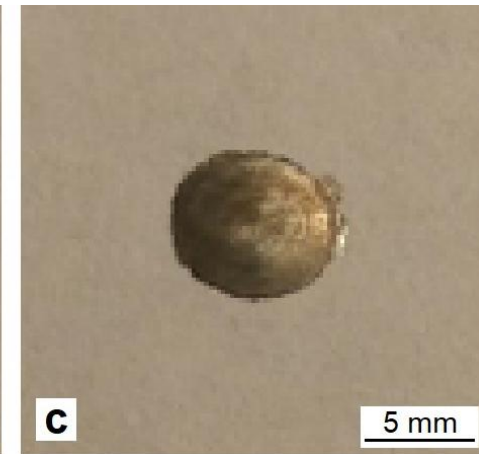
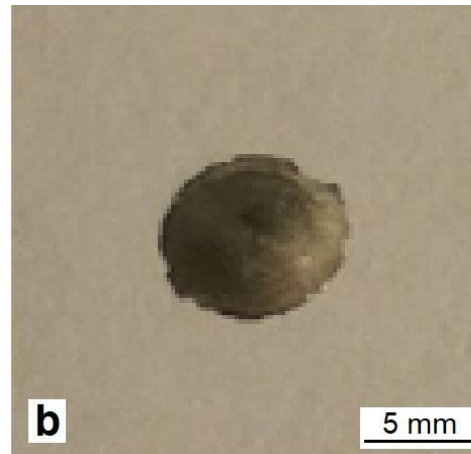
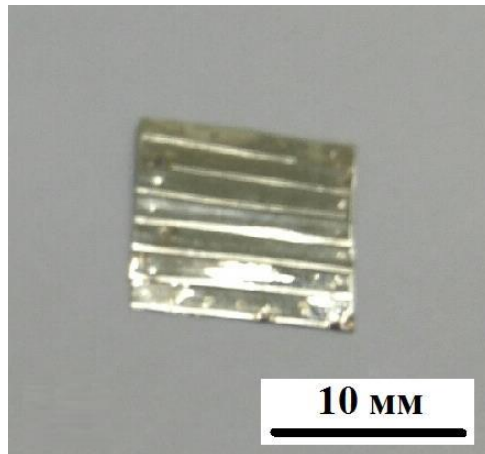
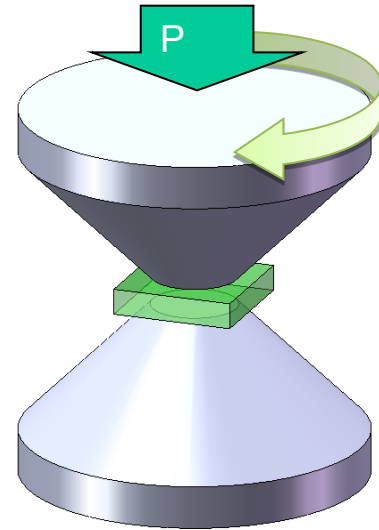


Кручение под высоким давлением

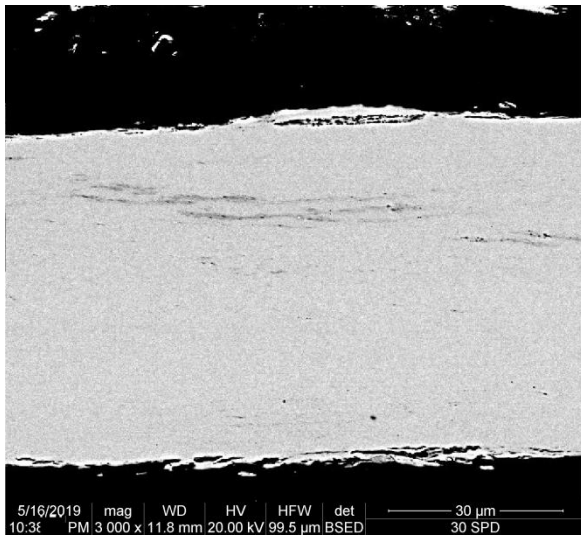


Эксперименты по деформации сплавов TiNiCu посредством КВД проводили в камере Бриджмена

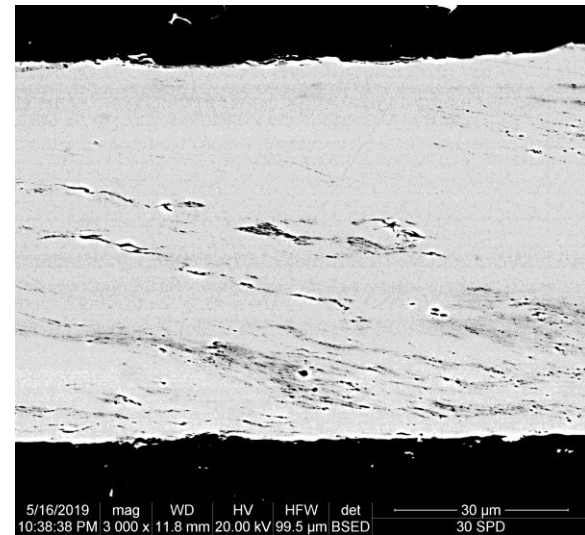
- при комнатной температуре, квазигидростатическом давлении 6 ГПа,
- скорости вращения подвижной наковальни 1 об/мин,
- до величины деформации, соответствующей числу полных оборотов подвижной наковальни $n = 1, 3$ (b), и 5 (c).



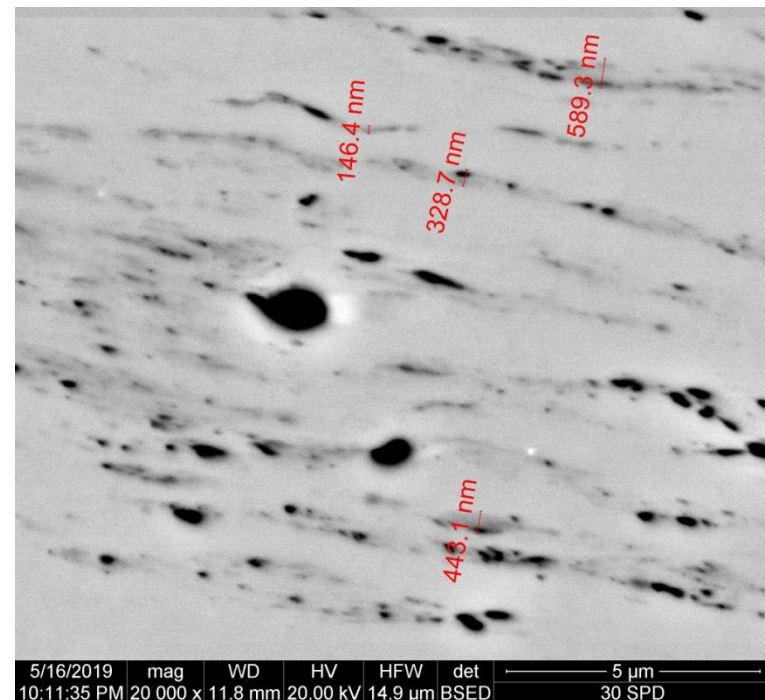
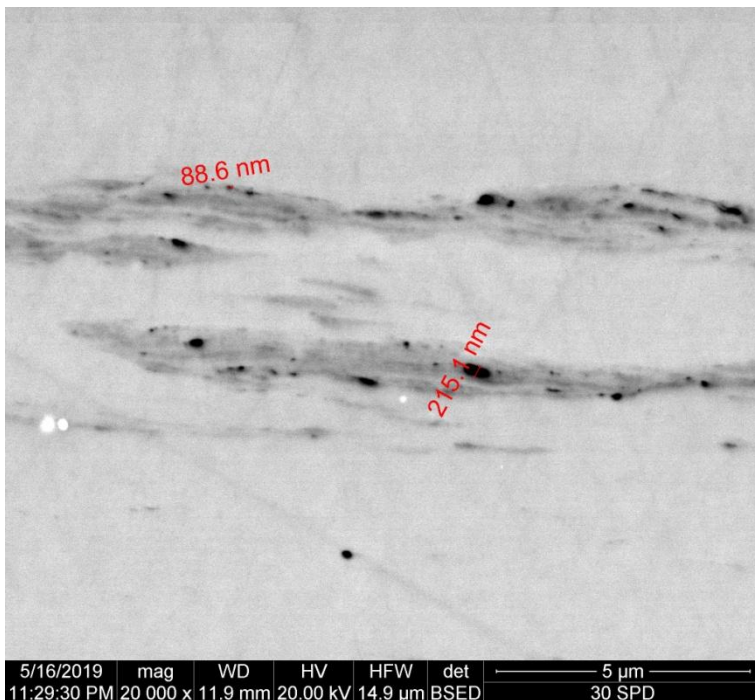
Структура образцов сплава $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{20}\text{Cu}_{30}$ после КВД в поперечном сечении



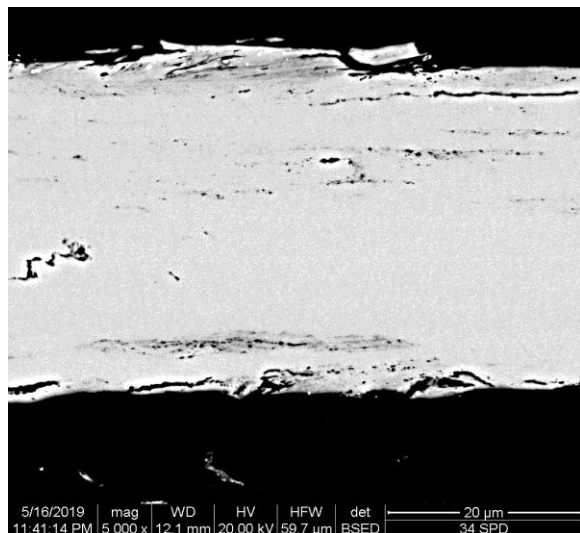
n=3



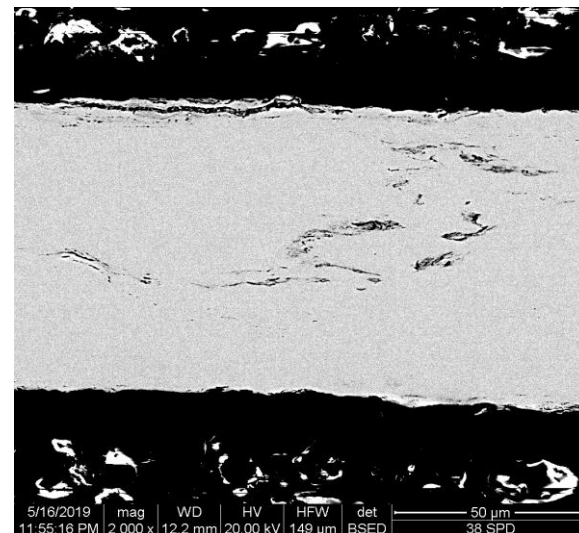
n=5



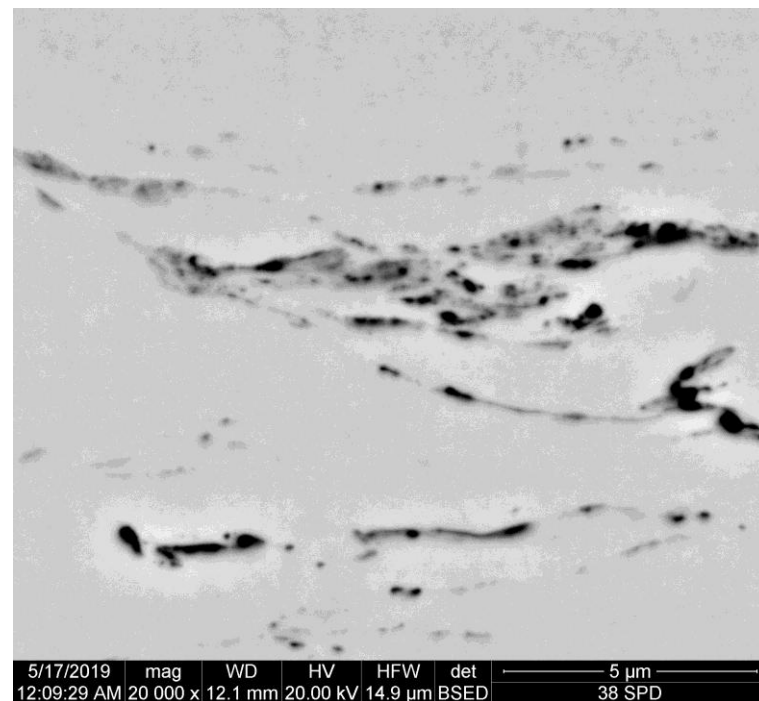
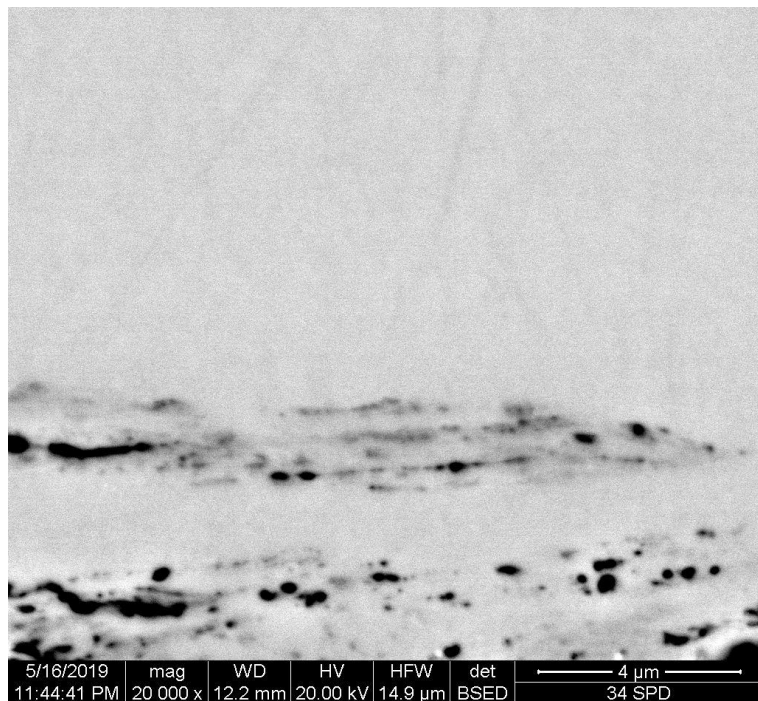
Структура образцов сплавов $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{16}\text{Cu}_{34}$ и $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{12}\text{Cu}_{38}$ после КВД при $n=5$ в поперечном сечении



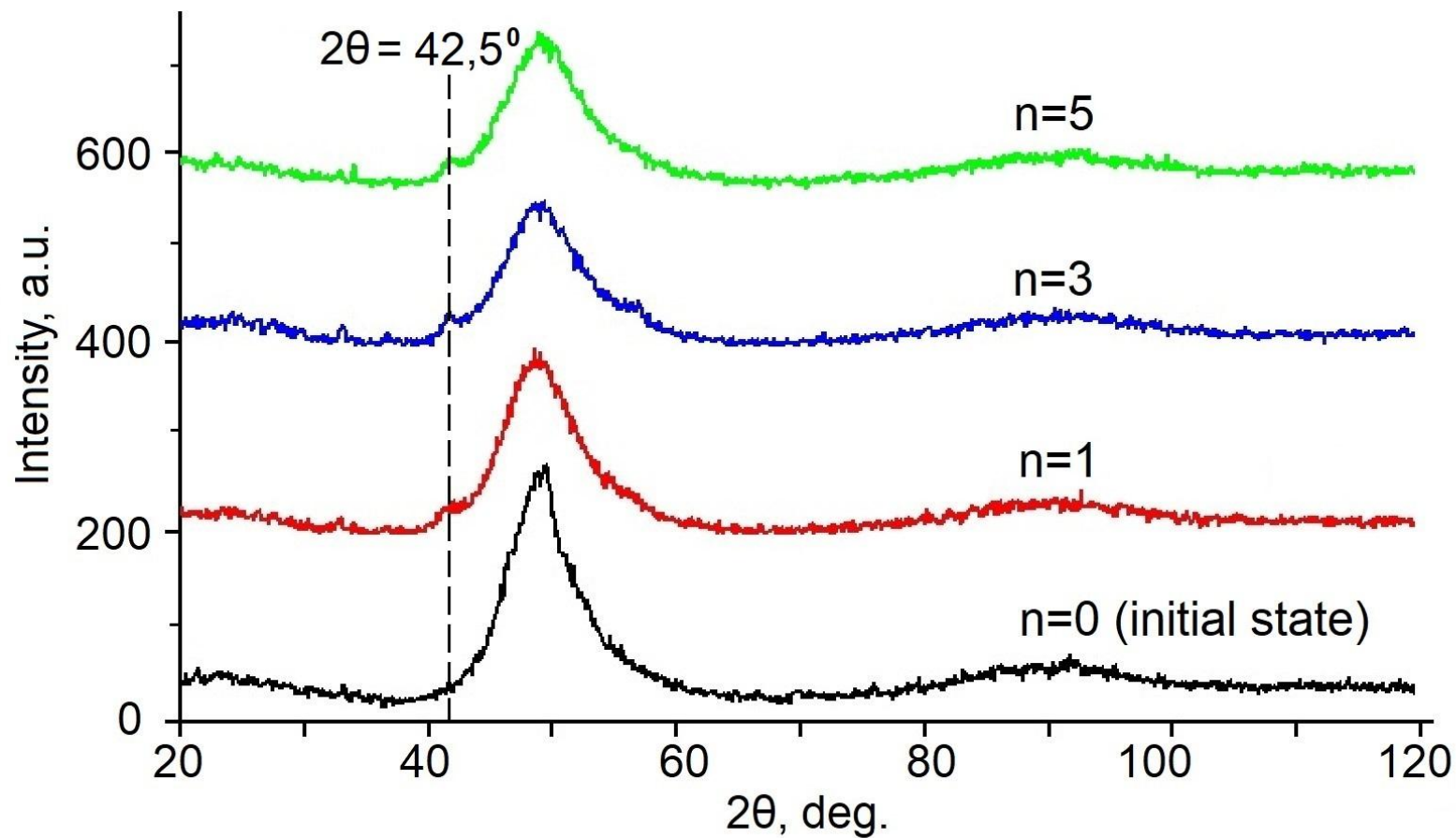
Cu 34 ат.%



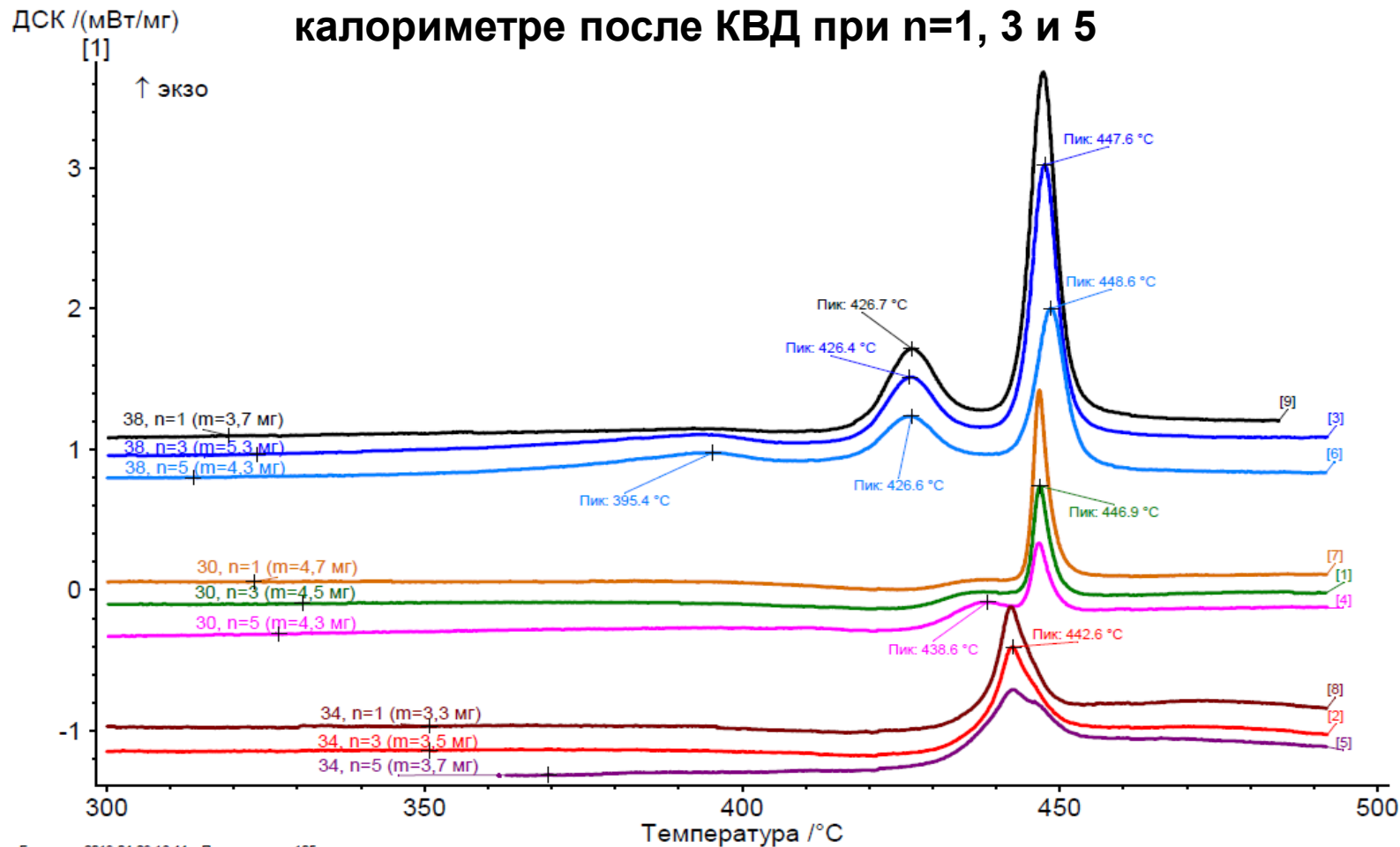
Cu 38 ат.%



Дифрактограммы сплава TiNiCu с 34 ат.% Cu в исходном состоянии и после КВД при $n=1, 3$ и 5

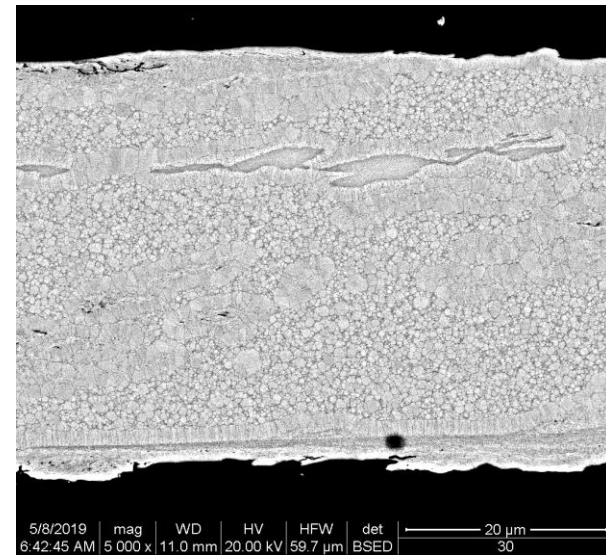
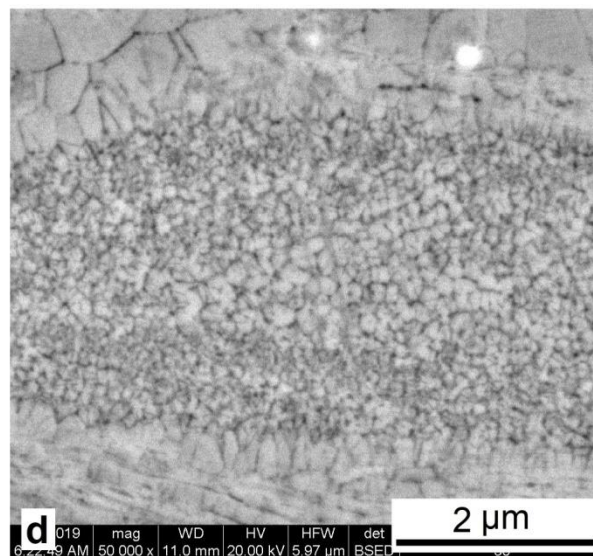
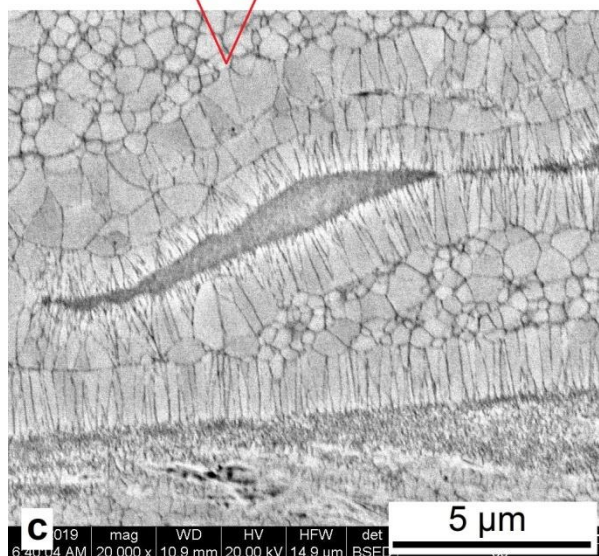
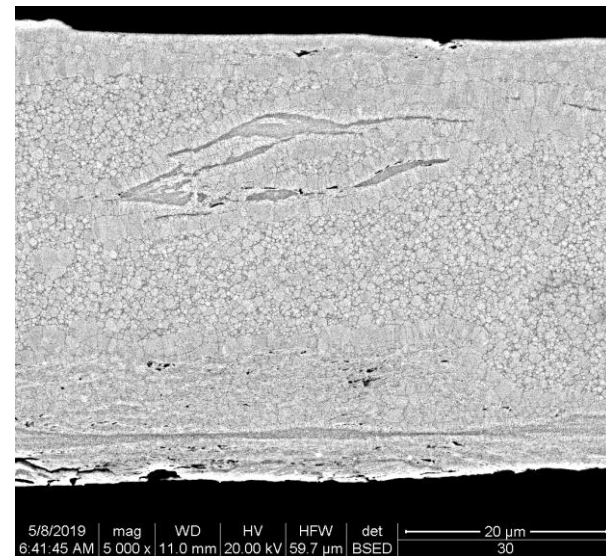
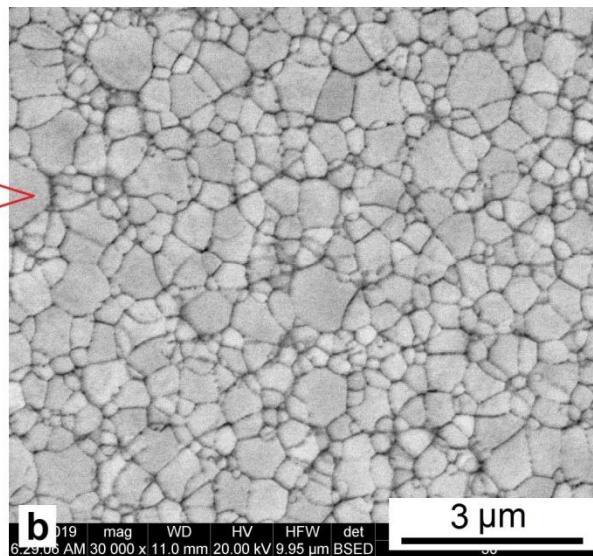
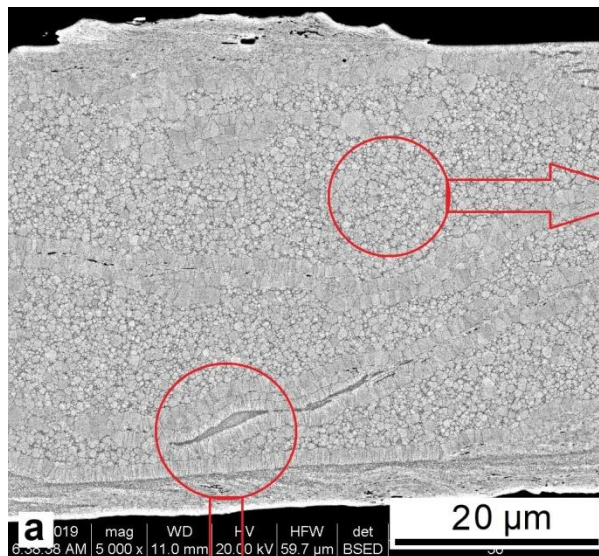


ДСК кривые при кристаллизации сплавов TiNiCu с 30, 34 и 38 ат.% Cu в калориметре после КВД при n=1, 3 и 5

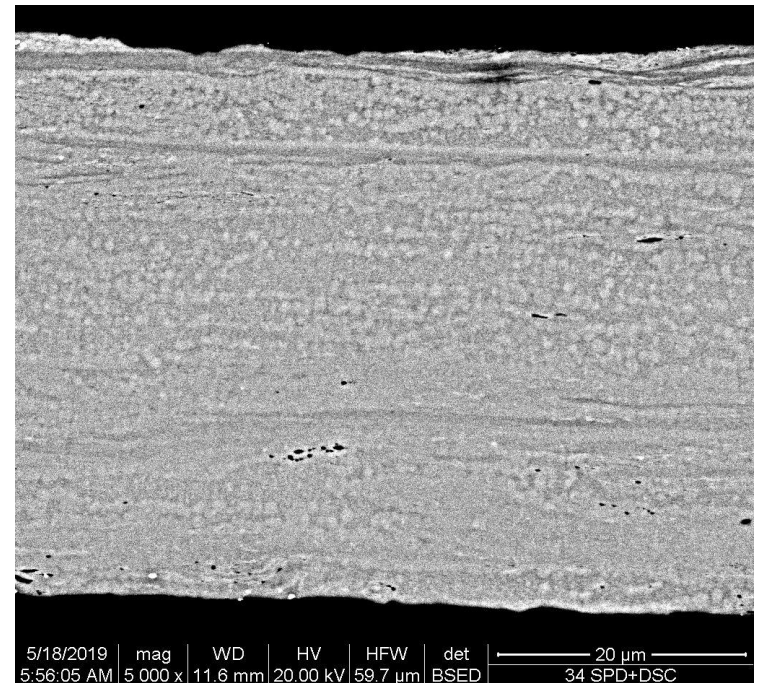
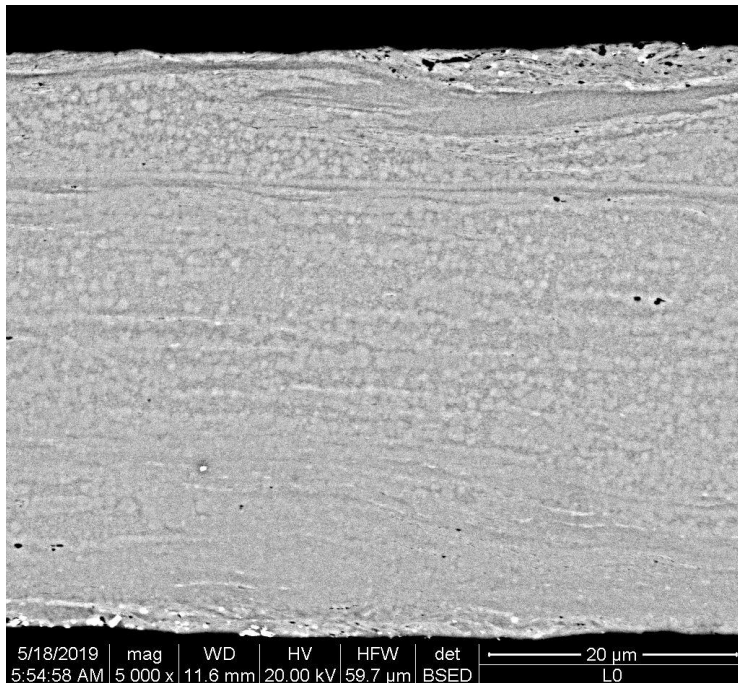
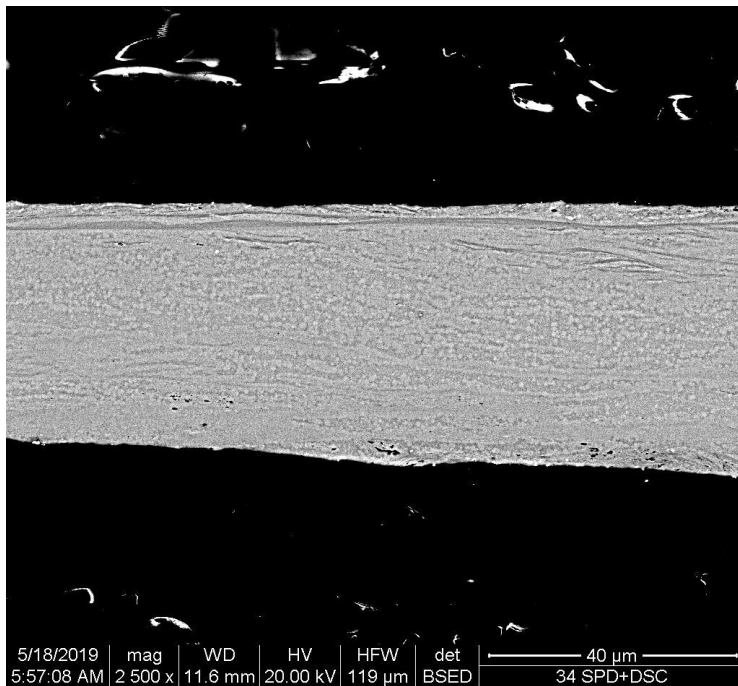


n	ΔH , Дж/г			T_p , °C			T'_p , °C			T''_p , °C
	30Cu	34Cu	38Cu	30Cu	34Cu	38Cu	30Cu	34Cu	38Cu	38Cu
0	32,5	33,6	121,2	446,6	441,5	445,8	—	—	427,1	—
1	25,5	32,1	110,6	446,8	442,3	447,4	438,5	445,3	426,7	—
3	20,8	31,2	87,3	446,9	442,6	447,6	438,4	446,2	426,4	394,0
5	19,0	29,2	62,8	446,7	442,7	448,6	438,6	446,3	426,6	395,4

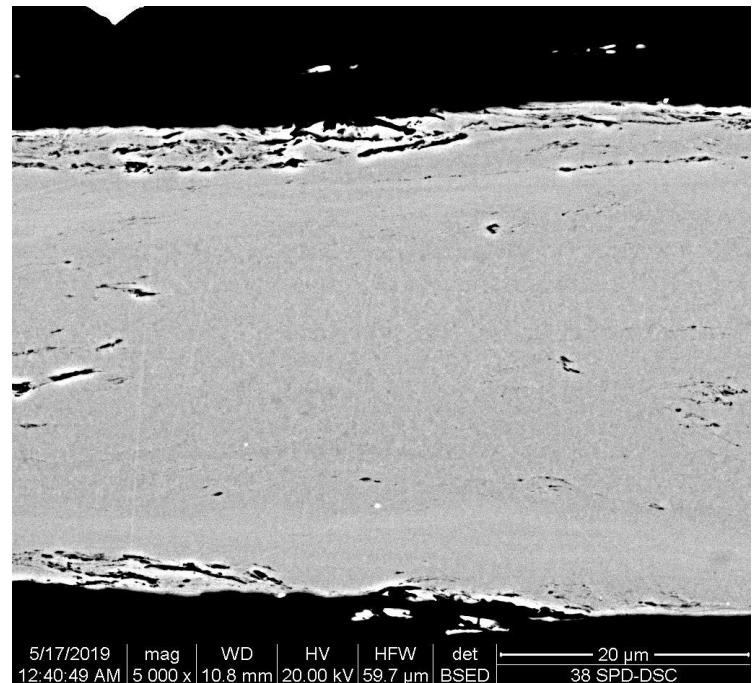
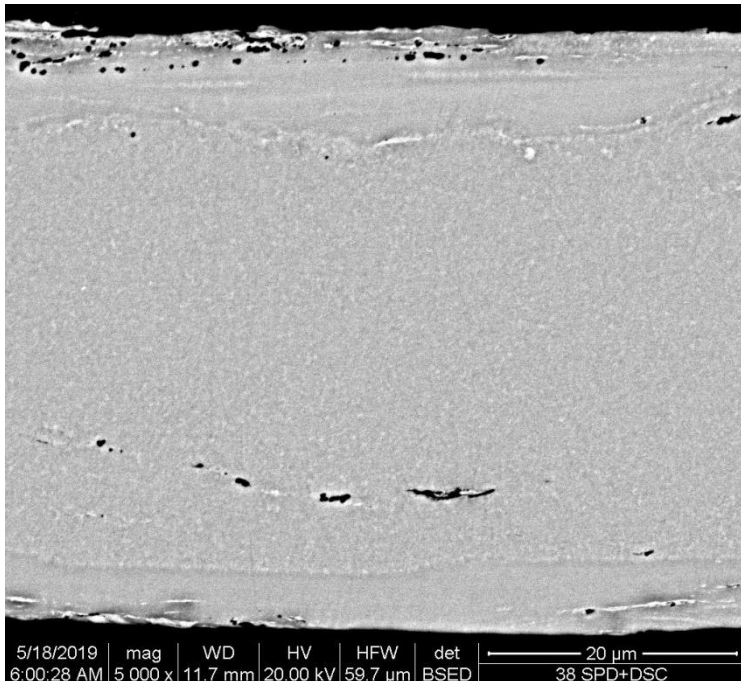
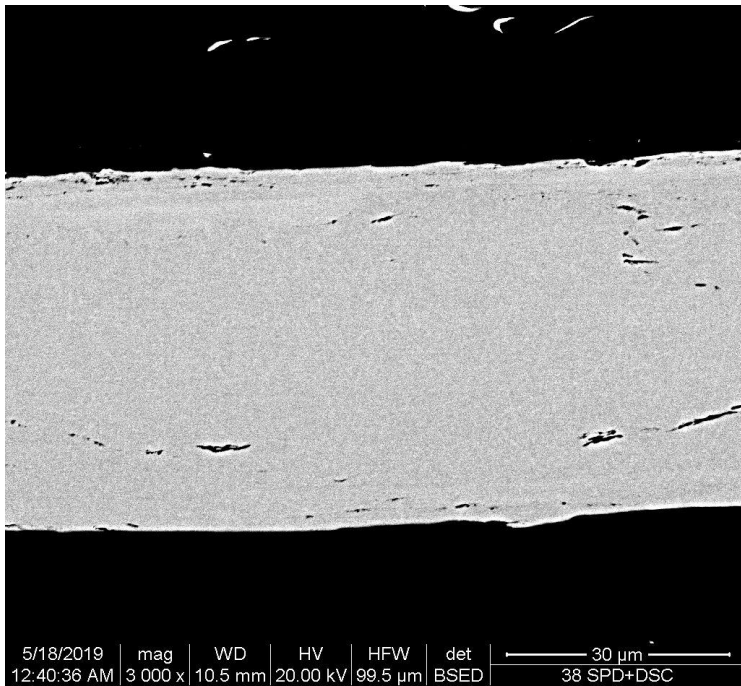
Структура образцов сплава $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{20}\text{Cu}_{30}$ после КВД при $n=5$ и кристаллизации в калориметре в поперечном сечении



**Структура образцов сплава
 $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{16}\text{Cu}_{34}$ после КВД при $n=5$
и кристаллизации в калориметре
в поперечном сечении**



**Структура образцов сплава
 $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{12}\text{Cu}_{38}$ после КВД при $n=5$
и кристаллизации в калориметре
в поперечном сечении**



Основные результаты

- Обнаружено, что КВД аморфных сплавов системы TiNi-TiCu с содержанием меди от 30 до 38 ат.% Cu приводит к нанокристаллизации аморфного состояния, что фиксируется методом РСА.
- СЭМ-исследование микроструктуры показало, что после КВД в сплавах образуются структурные элементы с субмикро- или наноразмерными включениями. При этом их число заметно уменьшается с увеличением содержания меди, что может быть связано с ростом степени аморфизации сплавов.
- Исследование сплавов методом ДСК выявило отличие в характере кристаллизации после КВД сплавов с высоким содержанием меди по сравнению со сплавом с 25 ат.% Cu. Если в сплаве с 25 ат.% Cu рост величины деформации приводит к расширению пика кристаллизации и его смещению в область более низких температур, то в сплавах с 30-38 ат.% Cu наблюдается появление дополнительного отдельного пика в области более низких температур, то есть формируются области, в которых возможна низкотемпературная кристаллизация.
- Установлено, что КВД вызывает снижение теплового эффекта кристаллизации при нагреве сплавов с высоким содержанием меди относительно исходно аморфного состояния, полученного после закалки из расплава. Это, вероятно, свидетельствует о появлении кристаллической фазы в аморфных сплавах после КВД. Отмеченные изменения, по всей видимости, нельзя связать с упругими напряжениями, запасенными при КВД, поскольку они исчезают на более ранних стадиях нагрева в процессе структурной релаксации.

Спасибо за внимание!