

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИТА БРОНЗА+НИОБИЙ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЕМ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Рогачев С.О.¹, Никулин С.А.¹, Козлов Д.А.¹, Сундеев Р.В.²

¹НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

²Московский технологический университет (МИРЭА), г. Москва, Россия

E-mail: csaap@mail.ru

В данной работе кручению под высоким давлением (КВД) подвергали заготовку для низкотемпературного сверхпроводника на основе соединения Nb_3Sn . Такая заготовка состоит из бронзовой матрицы с распределенными в ней ниобиевыми волокнами, собранными в шестигранные стренды. Все компоненты заготовки (бронзовая матрица и ниобиевые волокна) характеризуются хорошей деформационной способностью и могут пластически деформироваться с очень высокими степенями (типичные степени деформации вытяжкой при изготовлении сверхпроводящего провода – 12...16).

КВД образцов диаметром 8 мм проводили при комнатной температуре, давлении 6 ГПа в «лунке» глубиной 0.5 мм, расположенной в нижней наковальне, с числом оборотов $N = 1/4; 1/2; 1; 2; 3$ и 5.

После КВД проводили съемку предварительно полированной всей нижней поверхности образцов (продольный шлиф), а также их поперечных шлифов, на сканирующем электронном микроскопе в режиме отраженных электронов. Рентгеновский анализ проводили на дифрактометре ДРОН 3М с излучением $CoK\alpha$. Изменение ширины линий ниобия и матрицы с увеличением числа оборотов КВД измеряли в интервале углов $2\theta = 40-54^\circ$.

Уже после числа оборотов $N = 1/4$ наблюдалось вытягивание Nb-волокон и их смещение вблизи краев образца. После числа оборотов $N = 2...5$ наблюдалось «закручивание» Nb-волокон по всей поверхности образца и в его объеме с формированием характерной «вихревой» структуры (см. рис. 1).

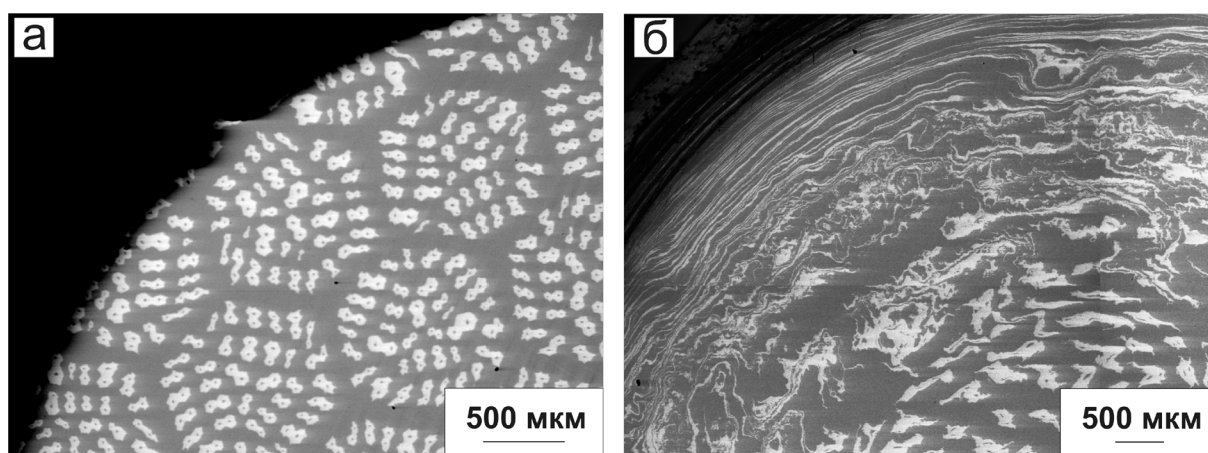


Рисунок 1- Поверхность (продольный шлиф) образца «бронза/ниобий» до (а) и после (б) КВД с числом оборотов $N = 5$

Рентгеновский анализ показал, что с увеличением числа оборотов КВД происходит уширение рентгеновских пиков как ниобия, так и матрицы. При этом уширение линий ниобия происходит менее интенсивно, чем бронзы. В частности, ширина линии ниобия до КВД составила $0,404^\circ$ и с увеличением числа оборотов от $1/4$ до 5 изменилась слабо (до $0,544^\circ$). Наиболее заметно уширение линии наблюдается при числе оборотов $N=2$ (с $0,434^\circ$ до $0,524^\circ$). В то же время ширина линии матрицы уже

452

при числе оборотов $\frac{1}{4}$ увеличивается с $0,392^\circ$ до $0,676^\circ$, и при дальнейшем увеличении числа оборотов монотонно повышается до $0,993\dots 1,009^\circ$.

Такое поведение составных элементов композитной заготовки (бронзовой матрицы и ниобиевых волокон) может быть связано с их различной деформацией при увеличении числа оборотов КВД, а также с различной деформационной способностью бронзы и ниобия (ниобиевые волокна в отличие от бронзовой матрицы более пластичны и менее склонны к наклепу). В результате КВД сдвиговую деформацию в первую очередь претерпевает бронзовая матрица. При увеличении числа оборотов сдвиговая деформация бронзовой матрицы увеличивается, что сопровождается монотонным увеличением уширения дифракционных линий. Напротив, Nb-волокна при малых оборотах (от $\frac{1}{4}$ до 1) претерпевают, в основном, линейную деформацию, т.е. происходит их вытягивание и «закручивание» в объеме бронзовой матрицы. При повышении числа оборотов до 2 и более наблюдается «перемешивание» Nb-волокон с бронзовой матрицей, происходит сдвиговая деформация Nb-волокон, что сопровождается уширением дифракционных линий.

Работа частично выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-кандидатов наук (№ МК-6239.2018.8).