

КАРБИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФОЛЬГАХ, ПОЛУЧЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫМ СПОСОБОМ

Коржов В.П.

Институт физики твердого тела РАН, г. Черноголовка, Россия,
korzhov@issp.ac.ru

Представлена микроструктура карбидных покрытий, полученных по твердофазной технологии на лентах ниобия, сплава Nb-2%Zr и Ti-сплава с 10.0%Cr, 7.3%Mo 2.6 мас.%Al. Исследуемые карбидные покрытия относятся к диффузионным покрытиям. Все диффузионные покрытия различаются способом нанесения материала покрытия на поверхность металла. Из известных это – насыщение поверхности металла материалом покрытия из порошковых смесей, из газовых сред (прямоточный и циркуляционный методы), из расплавов металлов или их солей, содержащих диффундирующий элемент, из паст и суспензий (шликерный метод) и диффузионное насыщения поверхности элементом покрытия с использованием вакуума.

В данной работе карбидные покрытия наносились на металлические ленты, чтобы потом использовать их для формирования многослойного пакета, из которого будет получен жаропрочный слоистый композит, упрочненный этими самыми карбидными покрытиями. Другое дело, что используемый способ нанесения покрытия может быть доработан до получения карбида, функционально предназначенного быть покрытием.

Последовательность операций получения отрезков металлических лент с двухсторонним карбидным покрытием такова. Сначала собирался пакет, состоящий из 10–20 лент из ниобия, сплава Nb–Zr или Ti-сплава толщиной несколько десятков микрон, чередующихся с лентами из графита, являющихся продуктом терморасширенного графита (exfoliated graphite) [1]. Пакет подвергался термической обработке (ТО) под давлением до 15 МПа при 1500°C в течение 30–60 мин. После ТО пакет легко разбирался по графитовым слоям и очищался от их остатков.

1. Микроструктура поперечного сечения ленты из Ti-сплава с карбидным металлическим покрытием представлена на рис. 1. Поверхности ленты после ДС оказались достаточно неровными, но само покрытие представляется плотным толщиной от ~3,5 до 6–7 мкм. Исследования с помощью растровой электронной микроскопии и локального рентгено-спектрального анализа дали следующие результаты (рис. 2).

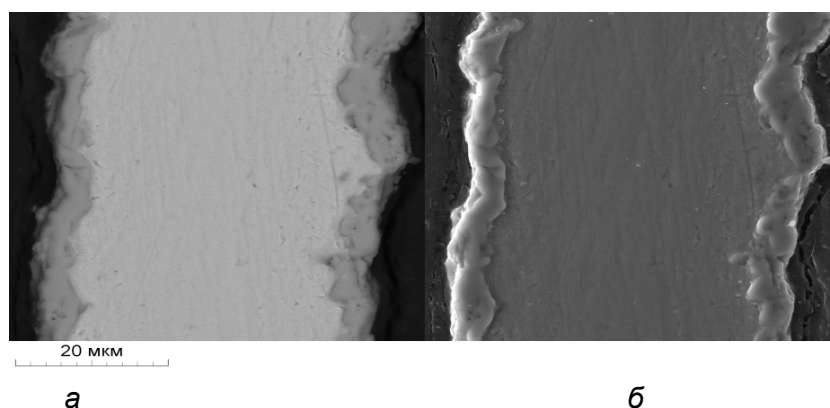


Рисунок 1 - Микроструктура поперечного сечения ленты из Ti-сплава после ТО при 1500°C при съемке во вторичных (а) и отраженных (б) электронах

Составы карбидных покрытий соответствовали монокарбидам на основе титана: $(\text{Ti}, \text{Me})\text{C}$, где Me – Cr, Al, Mo. Для лент из пакетов, подвергавшихся ТО под давлениями 8 и 15 МПа, состав покрытий изменялся так мало, что, будучи приведенными к химическим индексам, они оказались неразличимыми по составу: $(\text{Ti}_{1,18}\text{Me}_{0,01})_{1,19}\text{C}_{0,81}$.

Согласно двойной диаграммы состояний Ti–C состав лент из Ti-сплава (~72,5Ti, ~21,5Me и ~6 ат.%C) соответствовал эвтектической области α -(Ti,Me) + (Ti,Me)C. Концентрации Me и C были близки к эвтектическому составу.

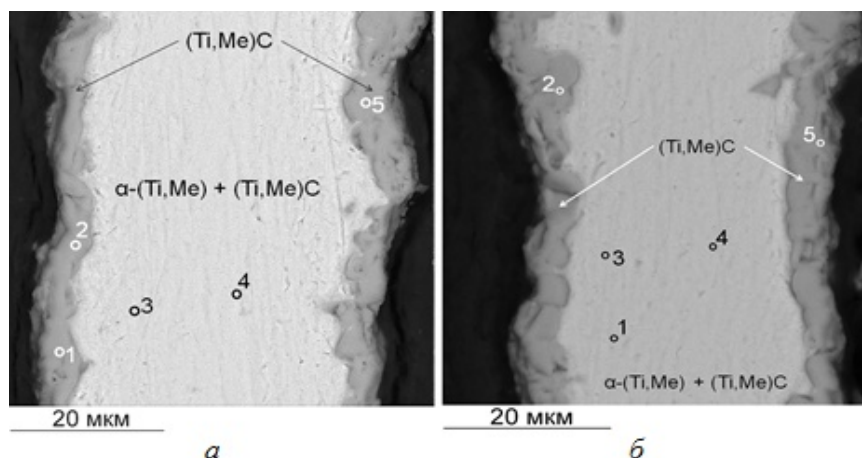


Рисунок 2- Микроструктура поперечного сечения отрезков ленты из Ti-сплава после ТО под давлением при 1500°C: 1–5 – номера спектров, а и б – образцы лент из пакетов после ТО при давлениях соответственно 8 и 15 МПа

2. Покрытия на Nb-лентах толщиной 60 и 70 мкм. По структуре и внешнему виду карбидные покрытия на поверхности Nb-лент выглядели удовлетворительно (рис. 3). Толщина покрытия составляла ~9 мкм и, в отличие от покрытий на лентах Ti-сплава, оставалась постоянной по всей длине Nb-лент.

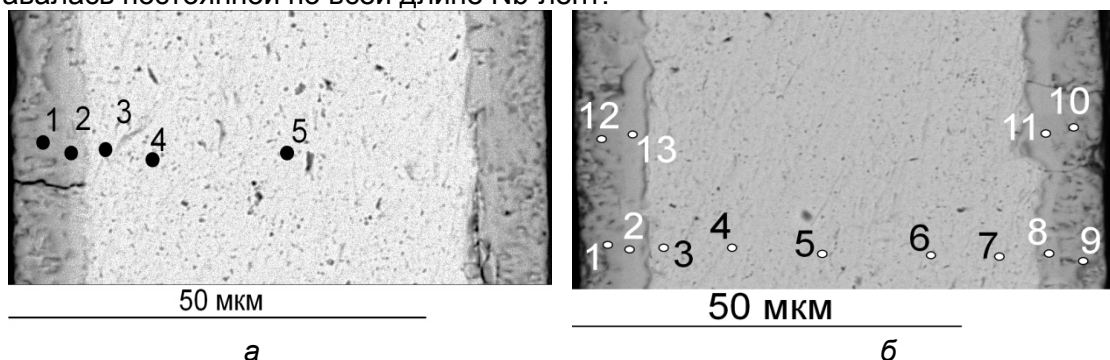


Рисунок 3 - Микроструктура поперечного сечения Nb-лент с двухсторонними карбидными покрытиями. Толщина Nb-лент 60 (а) и 70 мкм (б). Цифрами 1–5 и 1–12 обозначены номера спектров

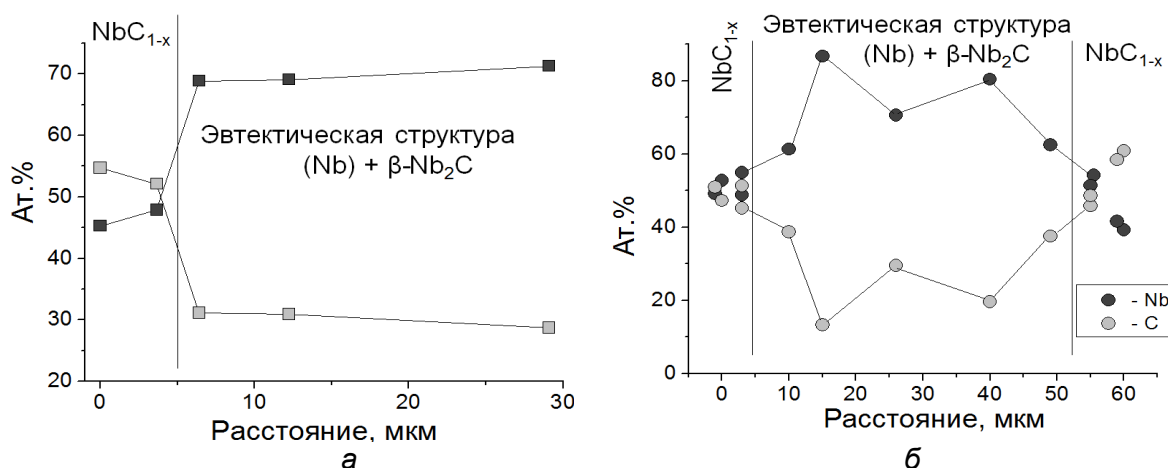
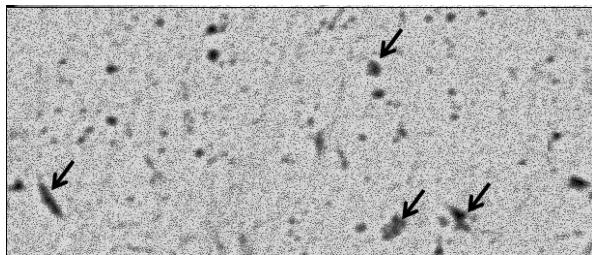


Рисунок 4 - Концентрационные профили по сечениям Nb-лент толщиной 60 и 70 мкм с карбидными покрытиями (см. рис. 3)

Различие Nb-лент по толщине – 60 и 70 мкм – было причиной заметного различия концентрационных составов покрытий и срединных объемов полученных композитов NbC/(Nb)/NbC, где (Nb) – Nb-твердый раствор. Покрытия были из монокарбида ниобия NbC_{1-x}, состав которого в зависимости от толщины Nb-ленты изменялся от Nb_{46,6}C_{53,4} (ат.%) $\equiv$ Nb_{0,93}C_{1,07} на ленте толщиной 60 мкм до Nb_{49,0}C_{51,0} (ат.%) $\equiv$ Nb_{0,98}C_{1,02} на ленте толщиной 70 мкм.

После ТО Nb-лента насыщалась углеродом до состава, который согласно диаграмме Nb–C, соответствовал эвтектической области. Фазовый состав эвтектики – (Nb) + β -Nb₂C. Насыщение углеродом ленты толщиной 60 мкм составило от 31,2 (вблизи покрытия) до 28,7 ат.% (в середине ленты) или ~2,3 мас.%. В ленте толщиной 70 мкм изменение концентрации C по толщине было от 38,7 до 13,3 ат.%. Это нашло отражение на концентрационных профилях ниобия и углерода на рис. 4.



20 мкм

Рисунок 5 - Микроструктура эвтектической области Nb-ленты толщиной 60 мкм после ТО при 1500°C под давлением

Большее, чем в ленте 70-микронной толщины, насыщение Nb-ленты толщиной 60 мкм углеродом привело к значительному отклонению его концентрации от эвтектического состава и выпадению вторичного карбида β -Nb₂C. На рис. 5 его темно-серые выделения отмечены стрелками.

3. Лента сплава Nb–2%Zr. Микроструктура поперечного сечения ленты после ТО пакета из ее отрезков, перемежавшихся с графитовыми лентами, представлена на рис 6.

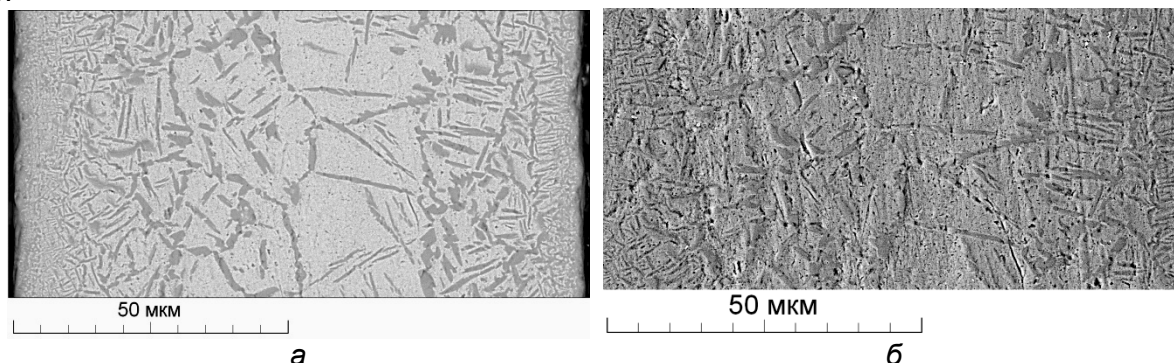


Рисунок 6 - Микроструктура поперечного сечения ленты (Nb–Zr)-сплава после ТО под давлением при 1500°C во вторичных (а) и отраженных электронах (б)

Анализируя оба рисунка можно заключить, что покрытие двухфазное. В непосредственной близости и на глубине до 5–7 мкм оно представляет собой мелкодисперсные выделения карбида на основе циркония в Nb-матрице. По мере продвижения вглубь ленты выделения Zr-карбида увеличивались в размере и вытягивались в иглы. Выделения серого цвета: (Zr_{45,7}Nb_{10,0})C_{44,3} (в ат.%) $\equiv$ (Zr_{0,91}Nb_{0,20})_{1,11}C_{0,89} = = (Zr,Nb)C. Матрица: (Nb_{48,6}Zr_{7,6})C_{43,8} (в ат.%) $\equiv$ (Nb_{0,97}Zr_{0,15})_{1,12}C_{0,88} = (Nb,Zr)C_{1-x}.

На деле оказалось, что лента превратилась в композит из двух хрупких, но прочных структурных составляющих – матрицу из карбида на основе ниобия и выделений карбида на основе титана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проект №17-03-00687-А.

Литература

1. Сорокина, Н.Е. Композиционные наноматериалы на основе интеркалированного графита / Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы» // Н.Е. Сорокина, В.В. Авдеев, А.С. Тихомиров, М.А. Лутфуллин, М.И. Саидаминов – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010. – 50 с.