

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БОРА С РАСПЛАВЛЕННЫМ ТИТАНОМ

С.Г. Вадченко, Н.И. Мухина, А.С. Щукин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук, Черноголовка, Россия
*vadchenko@ism.ac.ru

Горение смесей титана с бором отличается от других подобных систем (смесей металлов IV-V групп с углеродом, бором или кремнием) высокой скоростью горения и малым критическим диаметром образцов, при котором еще возможен процесс распространения волны горения, но природа этого явления до сих пор не выяснена. Кроме того, отсутствуют кинетические данные о реакции расплава титана с бором. В данной работе исследованы реакции расплава титана с борными волокнами и процессы растекания расплава по поверхности пористого бора. Для исследования кинетики взаимодействия бора с расплавленным титаном использовали устройство, показанное на рис. 1.

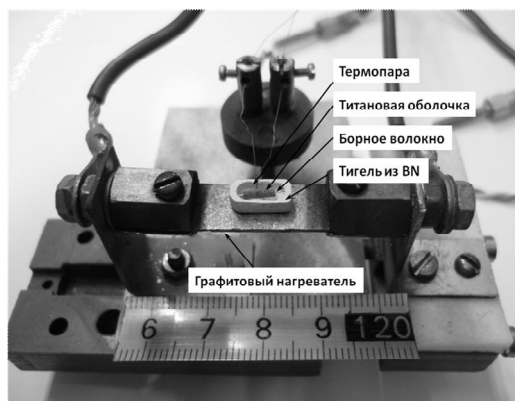


Рис. 1. Устройство для исследования кинетики взаимодействия бора с расплавом титана.

Стандартные борные нити диаметром около 140 мкм запрессовывали в таблетку диаметром 1 мм из титанового порошка с размерами частиц менее 20 мкм. Таблетку укладывали в тигель из нитрида бора, и дополнительно засыпали порошком титана. Тигель, с погруженной в него термопарой из сплава ВР5/ВР20 закрепляли на графитовой подложке, нагреваемой электрическим током. Устройство помещали в рабочую камеру универсального вакуумного поста ВУП-5, которую откачивали до давления 0,05–0,1 Па. Нагрев титана до температуры плавления происходил за 1,5–2 с. Через заданное время нагрев отключали, время охлаждения тигля с образцом от температуры плавления до 800 °С составляло около 3–5 с. На рис. 2. показаны внешний

вид и микроструктура поверхности исходного борного волокна и после реакции с титаном при пиковом нагреве до температуры плавления титана. Учитывая высокое давление паров титана при температуре плавления (0,38 Па) и скорость испарения $2,6 \cdot 10^{-5}$ г/см²с, можно предположить, что металлизация поверхности борного волокна в этом случае происходила через газовую фазу.

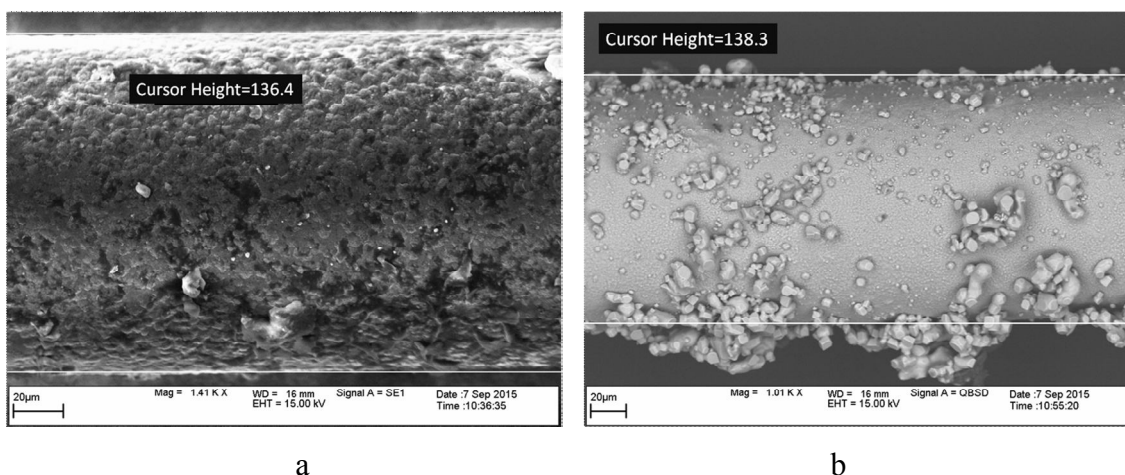


Рис. 2. Внешний вид и микроструктура поверхности исходного борного волокна (а) и после пикового нагрева образца до температуры плавления титана (b).

При больших временах взаимодействия борное волокно растворяется в расплаве, но уменьшение его диаметра не приводит к нарушению контакта бора с титаном. Это обусловлено непрерывным растворением образующихся боридов в расплаве. На рис. 3 показана микроструктура продольного излома закристаллизованной оболочки TiB_x и извлеченного из нее остатка борного волокна после 5 секунд нахождения в расплаве титана.

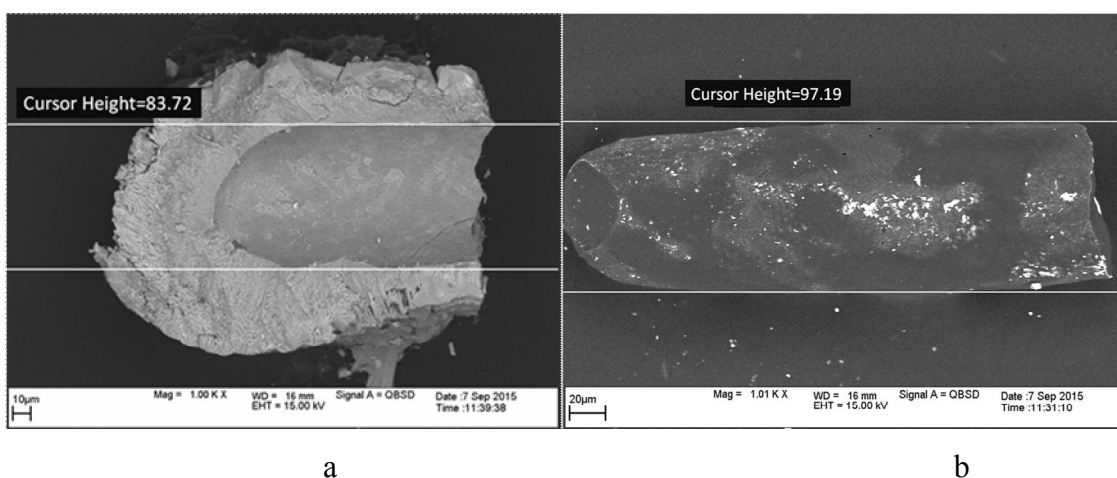


Рис. 3. Макроструктура оболочки TiB_x и остатка борного волокна.

По результатам измерений диаметра борного волокна, оставшегося после его реакции с расплавом, была оценена линейная скорость растворения бора на начальных стадиях взаимодействия, когда можно пренебречь кривизной поверхности. При температуре плавления титана скорость растворения борного волокна составляет около 10 мкм/с. Ранее было установлено, что при низких температурах взаимодействия бор диффундирует в титан из борного волокна, доказательством чего служит образование пористости внутри волокна и отсутствие заметного уменьшения диаметра [1]. Сопоставление результатов, полученных в нашей работе, с данными низкотемпературных исследований показывает, что механизм взаимодействия титана с бором при переходе через температуру плавления титана принципиально меняется и константы диффузии бора в титан не могут быть применены для расчета параметров горения.

Схема исследования растекания титана по пористому бору отличается тем, что вместо тигля на поверхность графитовой ленты укладывали пластину, толщиной 300–400 мкм, полученную прокаткой в валках порошка аморфного бора, а на нее – пластину из титана толщиной 100–120 мкм, также полученную прокаткой порошка титана. При нагреве до температур выше температуры плавления титана, происходило его быстрое растекание по пластине бора. Интерес представляли начальные стадии процесса, при которых происходило локальное плавление титана в точках хорошего теплового контакта с пластиной бора. В этом случае в местах контакта происходило повышение температуры и частичное оплавление бора.

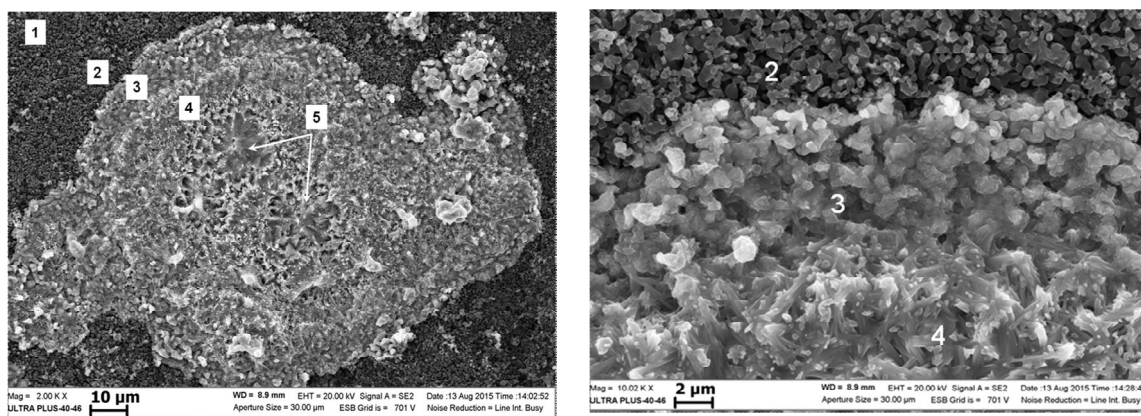


Рис. 4. Микроструктура области взаимодействия титана с пластиной бора, 1 – зона, агломерированных частиц бора; 2 – зона начала взаимодействия; 3, 4 – зона образования боридов, 5 – точки контакта титана с бором.

Взаимодействие титана с бором из точек контакта распространялось на некоторую область, и можно было определить стадии этого процесса. На рис. 4

показана макро- и микроструктура поверхности пластины бора. Содержание титана при переходе от 1-ой к 5-ой зоне увеличивается. Протяженность зоны 3 составляет около 10 мкм и происходит непрерывный переход к зоне другой фазы. В системе Ti–B по данным разных авторов имеются четыре фазы: ромбические TiB и Ti₃B₄, и гексагональные TiB₂ и Ti₂B₅. Учитывая результаты энергодисперсионного анализа, можно предположить, что при движении расплава по поверхности бора, ведущей реакцией является образование TiB₂, который растворяется в титане с образованием TiB.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-03-03531_a).

Литература

[1] J.A. Snide, Technical Report, AFML-TR-67-354, 1968.