

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Ta C ИНТЕРМЕТАЛЛИДАМИ НА ОСНОВЕ Ni-Al В ПРОЦЕССЕ СВС

А.С. Щукин^{1*}, D. Vrel², А.Е. Сычёв¹

¹ Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, ул. Академика Осипьяна, 8, Черноголовка, 142432 Россия

² Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux – LSPM - CNRS UPR3407 Bâtiment L1, 99 avenue J.B. Clément 93 430 Villetaneuse, France

* shchukin@ism.ac.ru

Тантал (Ta) и сплавы на его основе широко применяются в металлургической и химической промышленности, ядерной энергетике и медицине. Весьма актуальной задачей является получение интерметаллидов тантала, сварка тантала с различными металлами с целью получения жаропрочных покрытий, сплавов и биметаллов. Из всех известных металлов тантал обладает наиболее высокой коррозионной стойкостью, которая определяется характеристиками защитной оксидной пленки на его поверхности, которая формируется уже при 280°C. В данной работе проведено исследование взаимодействия Ta-подложки с расплавом на основе Ni–Al в процессе СВС. Интерметаллиды на основе Ni–Al обладают высокой жаростойкостью и высокими прочностными характеристиками при высоких температурах, так же находят широкое применение в современной промышленности. Получение интерметаллидного покрытия на Ta-подложке в режиме СВС даёт возможность изучить особенности формирования покрытия, структуру и свойства. Адиабатическая температура горения смеси Ni+Al составляет ~1630°C. Система Ni–Al–Ta характеризуется высокой растворимостью компонентов, известно [1], что растворимость Ni в Ta составляет 20 ат. % при 1788°C, Al в Ta – 12 ат. % при ~2000°, Ta в Ni – 14 ат. % при 1360°C. При температурах ниже 1630°C возможно формирование интерметаллидов NiAl₃, Ni₂Al₃, NiAl, NiAl₃, Ni₅Al₃, Ni₃Ta, Ni₂Ta, NiTa, Ni₈Ta, Al₃Ta, Al₃Ta₂, а так же тройных соединений TaNiAl, TaNi₂Al, Ta_{0,5}Ni₃Al_{0,5}, Ta₅Ni₂Al₃, Ta₋₅₅Ni₋₁₀Al₋₃₅ и TaNiAl₂ [2–4].

В данной работе, Ta-подложки в виде цилиндров (рис. 1а) размером 6,35 мм (диаметр), 6,35 мм (высота) подвергали механоактивационной (МА) обработке в планетарной мельнице одновременно со смесью порошков Ni+Al (1/1 масс.). В результате МА происходила очистка поверхности Ta-подложки от оксидного слоя, образование рельефного профиля поверхности и нанесение активированной смеси порошков на Ta-подложку (рис. 1б) [5]. Ta-подложки после МА запрессовывали в смесь порошков Ni+Al в виде таблеток размерами 20 мм в диаметре и 10 мм в высоту.

Синтезированные методом СВС образцы (рис. 1в) были исследованы с помощью электронной микроскопии. Было обнаружено, что в результате соединения интерметаллида NiAl с Ta-подложкой сформировалась многослойная переходная зона толщиной от 2 до 30 мкм.

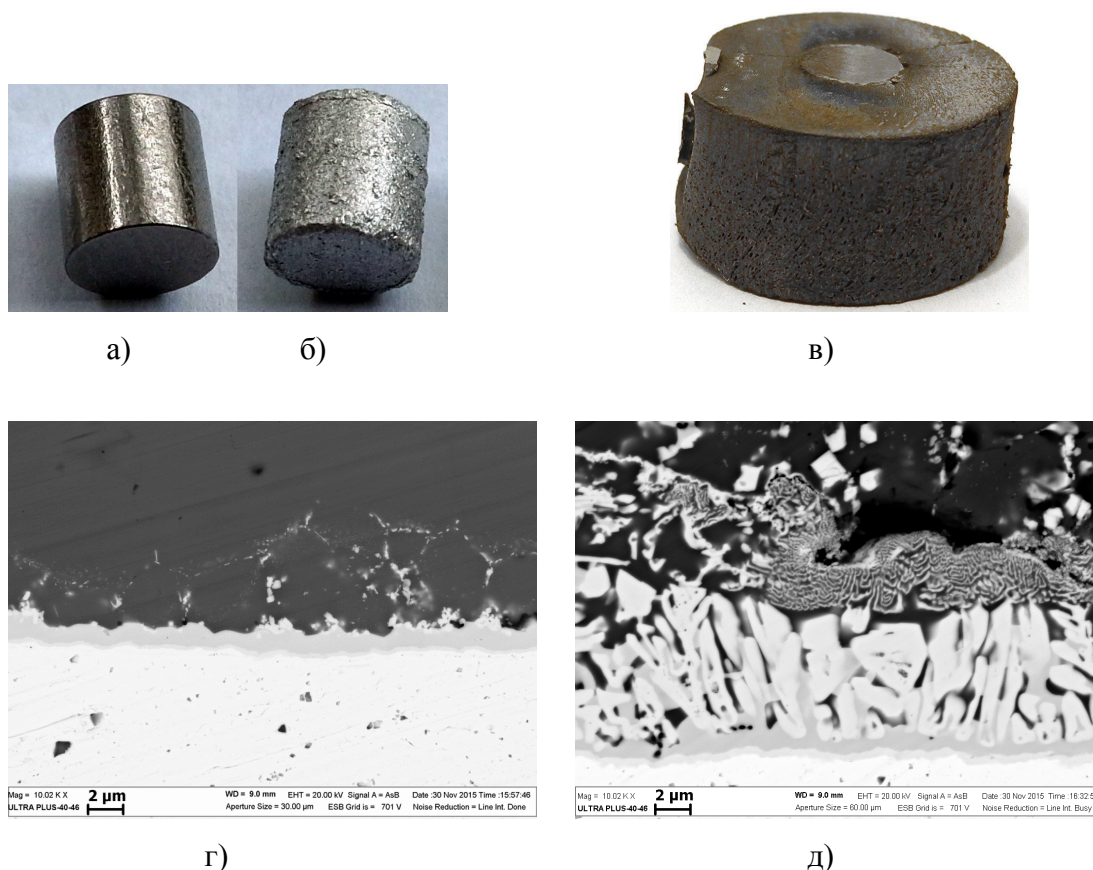
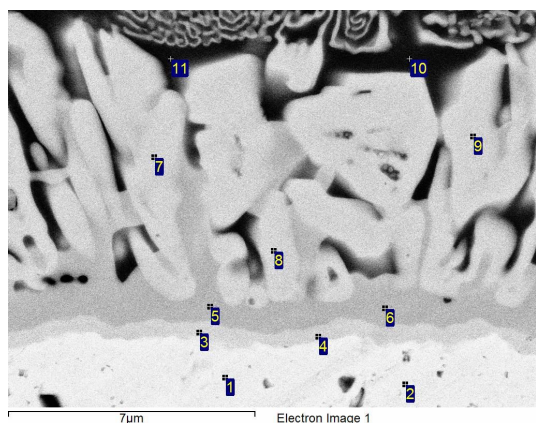


Рис. 1. Та-подложка до (а) и после (б) механоактивации; (в) – образец после сжигания; (г), (д) – СЭМ изображения границы раздела между Та (снизу) и NiAl (сверху).

Ближний к подложке слой («Фаза 1», точки 3 и 4 на рис. 2) характеризуется однородной формой и толщиной от 0,25 до 0,6 мкм. Следующий слой («Фаза 2», точки 5 и 6 на рис. 2) характеризуется более развитой формой, и на некоторых участках его толщина достигает 30 мкм, проникая вглубь NiAl в виде эвтектических структур. По данным электронно-дисперсионного анализа состав этого слоя близок к тройному соединению TaNiAl, которое имеет широкую область гомогенности по Ni. Со стороны наплавленного слоя NiAl в зоне контакта наблюдается образование ещё одной фазы («Фаза 3», точки 7, 8 и 9 на рис. 2) в виде вытянутых частиц размером до 5 мкм. Состав «Фазы 3» близок к соединению Ta₅Ni₂Al₃. В результате зёрно-границной диффузии в наплавленном слое Ni–Al на границах зёрен NiAl сформировались зёрна глобулярной формы размером до 0,5 мкм (рис. 1г) предположительно на основе тройной фазы Ta_xNi_yAl_z.

Таким образом, методом СВС с предварительной механоактивацией получено соединение Та-подложки с интерметаллидом NiAl с образованием промежуточных слоёв, которые могут служить упрочняющей фазой и диффузионным барьером при сопротивлении окислению.



Spectrum	Al	Ni	Ta	
1			100	Та-подложка
2			100	
3	21,5	21	57,5	Фаза 1
4	21,6	22,2	56,2	
5	33,6	28,2	38,2	Фаза 2
6	34,1	28,2	37,7	
7	27,9	23,1	48,9	Фаза 3
8	31,6	19	49,4	
9	29,3	21,4	49,4	
10	46,4	48,1	5,5	NiAl покрытие
11	46,2	46,4	7,4	

Рис. 2. Энерго-дисперсионный анализ зоны контакта, ат. %.

Литература

- [1] Диаграммы состояния двойных металлических систем, под ред. акад. РАН Н.П. Лякишева, Машиностроение, Москва, 1996 г., стр. 992.
- [2] Selected Systems from Al-Fe-V to Al-Ni-Zr, ed. by G. Effenberg, S. Ilyenko, Landolt-Börnstein Group, IV Physical Chemistry, 11A3, (2005).
- [3] A. Zakharov, Ternary Evaluation Program, in MSIT Workplace, ed. by G. Effenberg, MSI, Materials Science International Services GmbH, Stuttgart; Document ID: 10.14883.1.20, (1993).
- [4] V. Raghavan, Jour. of Phase Equil. and Diff., 27, 4, (2006) 405-407.
- [5] S. Romankov, W. Sha, S.D. Kaloshkin, K. Kaevitser, Surf. & Coat. Techn., 201, 6, (2006), 3235–3245.