

СТОЙКОСТЬ ПРОТИВ ОКИСЛЕНИЯ И ПОЛЗУЧЕСТИ НАПРАВЛЕННО ЗАКРИСТАЛЛИЗИРОВАННОГО СПЛАВА Mo-8,7Si-17,4B

Болбут В.В., Богомол Ю.И., Лобода П.И., Хасеманн Г.⁽¹⁾, Крюгер М.⁽¹⁾

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
проспект Победы, 37, Киев, 03056, Украина, e-mail: vbolbut@ukr.net
Отто-фон-Гёрике университет Магдебург, Университетсплатц 2, Магдебург,
39106, Германия, e-mail: manja.krueger@ovgu.de

Сплавы на основе молибдена благодаря высокой температуре плавления и отличной устойчивости против ползучести могут быть использованы в качестве будущих высокотемпературных материалов для стационарных газовых турбин и турбин самолетов.

Механические свойства и стойкость к окислению молибденовых сплавов могут быть улучшены путем добавления Si и B, так как их взаимодействие с Mo приводит к образованию жаростойких интерметаллидных фаз [1]. Сперва в центре внимание учёных были силициды молибдена $MoSi_2$ и Mo_5Si_3 . Однако фаза Mo_5Si_3 неустойчива к окислению даже при 1000 °C [2], а $MoSi_2$ выше 1200 °C имеет заметную ползучесть [3]. В дальнейшем исследования фазы Mo_5SiB_2 показали, что она не только имеет хорошую стойкость к окислению в широком диапазоне температур, но также обладает хорошим сопротивлением ползучести при повышенных температурах. Именно поэтому, по мнению ряда исследователей [4,5], сплавы системы Mo-Mo₅SiB₂ являются перспективными кандидатами для применения при высоких температурах.

В данной работе были исследованы микроструктура, стойкость к окислению и ползучести направлено закристаллизованного эвтектического сплава Mo-8,7Si-17,4B (значения заданы в атомных процентах). Исследуемый сплав был выращен методом бестигельной зонной плавки неспеченных порошковых прессовок. Скорость кристаллизации составляла 60 мм/час.

Исследование микроструктуры сплава показало, что материал состоит с двух фаз: твёрдого раствора молибдена и Mo_5SiB_2 (матричная фаза). Частицы твёрдого раствора имеют равновесную форму и равномерно распределены по объему сплава, при этом не наблюдается никакой зависимости микроструктуры от направления кристаллизации. Согласно фазовому анализу сплав состоит из 41 об. % твёрдого раствора молибдена и 59 об. % Mo_5SiB_2 .

Кроме того, проверялась стойкость сплава к окислению с помощью изотермического и циклического испытаний при 1100 °C. Было установлено, что стойкость к окислению у сплава Mo-8,7Si-17,4B одна с наилучших среди уже изученных сплавов системы Mo-Si-B. При изотермическом испытании за 200 часов потеря массы сплавом составила лишь 30 мг/см² поверхности; во время циклического испытания потери материала за 100 часов составила 25 мг/см² поверхности. Также были рассмотрены процессы роста защитного оксидного слоя. На начальном этапе окисления (первый час) на поверхности сплава еще не был сформированный оксидный слой, что вызвало быструю потерю массы. В ходе дальнейшего окисления был сформирован плотный оксидный слой, и процесс потери массы стабилизировался. Кроме этого, химический анализ показал, что сам защитный слой состоит из двух оксидов: SiO_2 и MoO_2 .

Сравнение результатов испытаний на ползучесть показали, что исследуемый сплав Mo-8,7Si-17,4B имеет скорость ползучести минимум на два порядка ниже чем у других молибденовых сплавов системы Mo-Si-B, никелевых суперсплавов и чистого молибдена.

1. H. Nowotny, E. Dimakopoulou, H. Kudielka, *Mh. Chem.*, 1957 (88), 180.
2. R.W. Bartlett, J.W. McCamont, P.R. Gage, *Journal of the American Ceramic Society*, 1965 (48).
3. S. Bose, *Materials Science and Engineering A*, 1992 (155), 217.
4. Fang Wang, Aidang Shan, Xianping Dong, Jiansheng Wu, *Journal of Alloys and Compounds*, 2008 (462), 436.
5. K. Yoshimi et al., *Intermetallics*, 2002 (10), 407.