ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПРАВЛЕННО ЗАКРИСТАЛЛИЗИРОВАНОГО СПЛАВА Mo-17,5Si-8B

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

Используемые на сегодня для изготовления турбин никелевые суперсплавы исчерпали свой температурный лимит применения (до 1100 °C) в связи с низкой температурой плавления [1]. Таким образом отсутствие новых высокотемпературных материалов является основной причиной медленного развития в области турбиностроения [2].

Одними из наиболее перспективных кандидатов для замены никелевых суперсплавов являются сплавы на основе молибдена. Особенно хорошо себя зарекомендовали молибденовые сплавы легированные кремнием и бором. В литературе есть большое количество примеров получения таких сплавов литьём [3] и методами порошковой металлургии [4]. Метод зонной плавки, используемый в нашем исследовании, является новым подходом к получению Mo-Si-B сплавов.

В данной работе были исследованы микроструктура и механические характеристики сплава Mo-17,5Si-8B (значения заданы в атомных процентах) в зависимости от скорости кристаллизации. Исследуемые сплавы были выращены методом бестигельной зонной плавки неспеченных порошковых прессовок. Скорость кристаллизации составляла 40-80 мм/час.

Как показали металлографический и рентгенофазовый анализы, сплав независимо от скорости кристаллизации, состоял из трёх фаз: Mo_3Si, Mo_5SiB_2 и твёрдого раствора молибдена. В качестве матричной фазы выступал силицид молибдена Mo_3Si, а две остальные фазы располагались в виде дискретных волокон вдоль направления кристаллизации. Также для образцов было подсчитано количество каждой фазы. И здесь была замечена прямая зависимость от скорости выращивания. Так с ростом скорости от 40 до 80 мм/час увеличивается объемная доля твёрдого раствора молибдена (от 15,2 % до 25,4 %), а объемные доли Mo_3Si, Mo_5SiB_2 уменьшаются (63,7 % - 58,2 % и 21,1 % - 16,4 % соответственно).

Выращенные сплавы были испытаны на трёхточечный изгиб в диапазоне температур – 871 – 1093 °C. Было установлено, что повышение скорости кристаллизации и температуры испытаний приводит к повышению прочности композитов. Причём максимальной прочностью (725 МПа) обладал эвтектический сплав выращенный со скоростью 80 мм/час и испытанный при 1093 °C.

Кроме того, была исследована ползучесть этого сплава при 1093 °C. Для испытания были взяты сплавы с скоростями выращивания 40 и 80 мм/час. При напряжениях от 50 до 150 МПа наблюдался небольшой рост сопротивления ползучести с ростом скорости кристаллизации. При нагрузке выше 150 МПа скорость ползучести не зависела от скорости его выращивания. Сравнение скорости ползучести сплава Mo-17,5Si-8B со скоростями ползучести чистого молибдена, никелевого суперсплава CMSX4 и другими сплавами на основе молибдена показало, что исследуемый сплав имеет повышенную стойкость к ползучести и является перспективным кандидатом для изготовления из него деталей газотурбинных двигателей.

1. G. Hasemann et al., Intermetallics 2013, 1.
2. J. J. Kruzic, J. H. Schneibel, R. O. Rritchie, Metallurgical and materials transactions A., 2005 (36 A), 2393.
3. J.H. Schneibel, Intermetallics, 2003 (11), 1.
4. M. Krüger et al., Intermetallics, 2008 (16), 933.