

УДК669.017

Е. В. Святышева

ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», г. Санкт-Петербург

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,

г. Санкт-Петербург

prk3@crism.ru

Научные руководители – проф., д-р техн. наук *С. Ю. Кондратьев*^{2,1}, канд. техн. наук.

С. Н. Петров^{1,2}

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ КАРБИДОВ НИОБИЯ В ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВАХ HP40NbTi

АННОТАЦИЯ

Методом просвечивающей электронной микроскопии исследована структура жаропрочных сплавов HP40NbTi в исходном литом состоянии и после высокотемпературной выдержки при 1150 °С. Проанализированы фазовый состав и морфология упрочняющих карбидных фаз в структуре сплавов. Использован метод просвечивающей электронной микроскопии. Идентификация дисперсных фаз проводилась методом одиночных рефлексов. Выявлены особенности строения карбидов ниобия и предложено объяснение их формирования в процессе кристаллизации.

Ключевые слова: электронная микроскопия, структура, межфазные границы

ABSTRACT

The structure of the heat resisting alloys HP40NbTi in an initial cast state and after high-temperature endurance at 1150 °C was investigate by the method of transmission electronic microscopy. The phase structure and morphology of the strengthening carbide phases in a structure of alloys were analyses. The method of transmission electronic microscopy is used. Identification of disperse phases in the structure of the alloy carried out by the method of single reflexes. Features of a structure of niobium carbides has been revealed and the explanation of their formation during crystallization is offered.

Keywords: electronic microscopy, structure, interphase borders

В нефтеперерабатывающей промышленности для установок, работающих при высоких температурах, используют литые жаропрочные жаростойкие сплавы типа HP серии. Следствием жестких условий эксплуатации сплавов является нестабильность их структуры и эксплуатационных свойств [1–3]. Таким образом, характер и кинетика структурных изменений определяют работоспособность жаропрочных HP сплавов при длительной высокотемпературной эксплуатации.

Соответственно, изучение изменения структуры упрочняющих фаз в этих сплавах при температурах эксплуатации является актуальной задачей, решение которой позволит увеличить срок службы изготавливаемых из них высокотемпературных установок.

Целью работы является исследование строения карбидов ниобия в сплаве HP40NbTi (0.45C-26Cr-35Ni-2Si-2Nb) в исходном литом состоянии, а также после охлаждения с различной скоростью от температуры 1150 °С.

Исследование тонкой структуры сплавов проводили методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с использованием микроскопа FEI Tecnai G² 30 S-TWIN. Образцы для исследования изготавливали методом ионного препарирования с использованием растрового двулучевого электронно-ионного микроскопа Quanta 200 3D FEG. Элементный анализ проводили с помощью энергодисперсионного рентгеновского детектора EDAX. Идентификация фаз проводилась пакетом программ методом одиночных рефлексов, разработанным в ЦНИИ КМ «Прометей»[4].

Результаты электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа показали, что микроструктура литого сплава состоит из зерен γ -фазы, эвтектики (γ + карбиды) и отдельных карбидов в матричной γ -фазе (рис. 1). Матричный γ -твердый раствор является неоднородным и характеризуется грубой дендритной ликвацией. Эвтектика расположена по границам матричных зерен и образована карбидом хрома M_7C_3 и γ -фазой. Карбиды ниобия не входят в состав эвтектики, а располагаются в виде отдельных включений в матрице. Содержание включений карбида ниобия в структуре литого сплава составляет ~ 1,5 % (об.), а их размер изменяется от долей микрона до ~ 10 мкм, причем доля мелких (< 2 мкм) карбидов составляет ~ 30 % в их общем количестве.

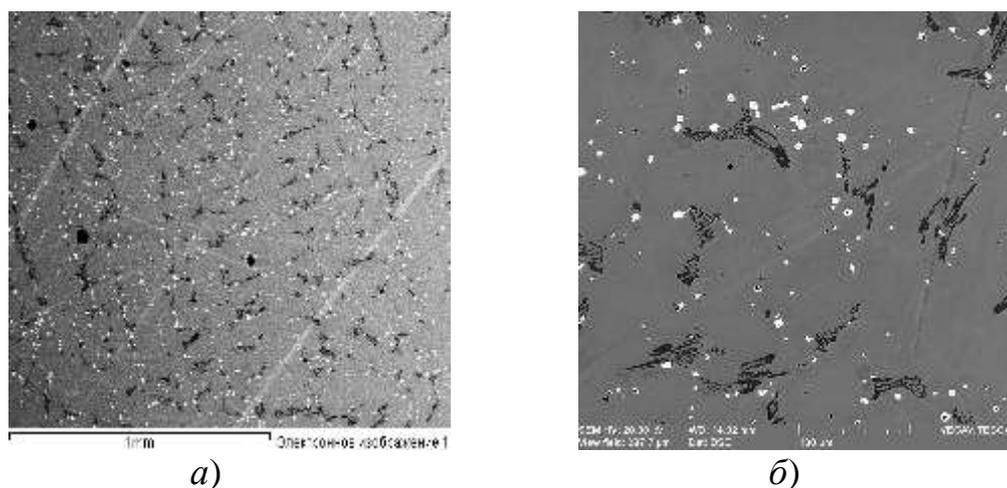


Рис. 1. Микроструктура литого сплава HP40NbTi при различных увеличениях: эвтектические карбиды хрома (темные), карбиды ниобия (белые), матричная γ -фаза (серая основа). РЭМ

При большом увеличении электронного микроскопа выявлено, что большинство включений карбида ниобия, особенно более крупных, представляет собой конгломерат из нескольких кристаллитов неправильной формы с ровными гранями. На рис. 2 показано включение карбида ниобия, состоящее из семи кристаллов. Методом одиночных рефлексов с использованием ПЭМ была определена кристаллическая модификация каждого кристалла. В результате анализа установлено, что включение является неоднородным по составу и строению. Отдельные кристаллы, образующие единую частицу, различаются по соотношению Nb/C и типу кристаллической решетки.

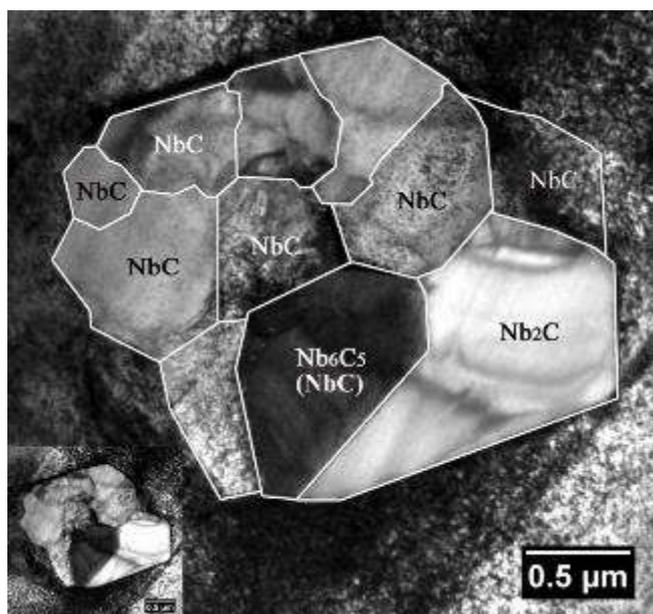
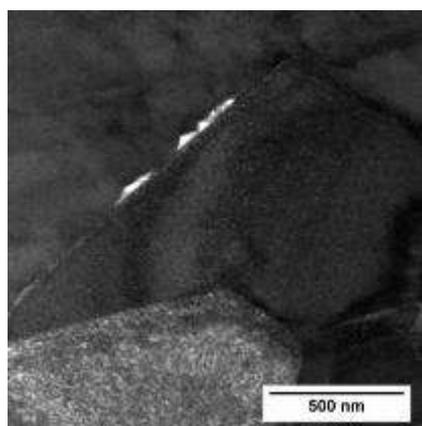
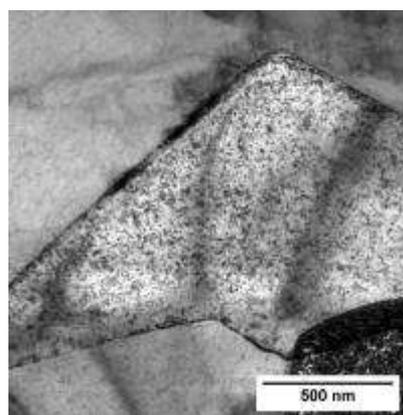


Рис. 2. Строение частицы карбида ниобия в литом сплаве HP40NbTi: светлопольное изображение с указанием идентифицированных фаз. ПЭМ



a)



б)

Рис. 3. Тонкая прослойка карбида хрома $M_{23}C_6$ на границе карбида ниобия с γ -фазой: а – светлопольное, б – темнопольное изображение. ПЭМ

Анализ межфазных границ кристаллов карбида ниобия и γ -твердого раствора показал, что на некоторых ее участках присутствуют включения в виде тонких светлых прослоек (рис. 3). Методом ПЭМ они идентифицированы как карбид хрома $M_{23}C_6$.

Таким образом, микронеоднородность структуры литого сплава HP40NbTi проявляется не только в дендритной ликвации в зернах γ -твердого раствора, но и в сложном строении карбидных фаз. Включения карбидов в структуре сплава представляют собой многофазные образования, неоднородные по химическому составу и кристаллическому строению. Неоднородность структуры модифицированных сплавов HP серии связана с особенностями их кристаллизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудской А. И., Орыщенко А. С., Кондратьев С. Ю., Анастасиади Г. П., Фукс М. Д. Механизм и кинетика фазовых превращений в жаропрочном сплаве 45X26H33C2B2 при длительных высокотемпературных выдержках. Часть 1 // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2014. – № 1 (703). – С. 3–8.
2. Рудской А. И., Кондратьев С. Ю., Анастасиади Г. П., Орыщенко А. С., Фукс М. Д. Механизм и кинетика фазовых превращений в жаропрочном сплаве 45X26H33C2B2 при длительных высокотемпературных выдержках. Часть 2 // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2014. – № 3 (705). – С. 12–19.
3. Sourmail T. Precipitates in creep resistant austenitic stainless steels // *Materials Science and Technology*. – 2001. – V. 17. – № 1. – P. 1–14.
4. Рыбин В. В., Рубцов А. С., Нестерова Е. В. Метод одиночных рефлексов (ОР) и его применение для электронномикроскопического анализа дисперсных фаз // *Заводская лаборатория*. – 1982. – № 5. – С. 16–21.