

УДК 538.931+669.35-404

DOI: 10.17223/00213411/64/6/68

О.А. ЧИКОВА^{1,2}, Н.И. СИНИЦИН¹, В.В. ВЬЮХИН¹**ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ СПЛАВОВ Fe–Mn В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ ***

Измерено удельное электросопротивление сплавов Fe–Mn с содержанием марганца 3,9, 6,0, 8,2, 10,3 и 13,2 ат. % в жидком состоянии методом вращающего магнитного поля. Опыты проведены в режиме нагрева от 1720 до 2070 К и последующего охлаждения образца в атмосфере очищенного гелия. Для большинства изученных сплавов обнаружен излом температурной зависимости электросопротивления при нагреве до 1900–2000 К. Установлено, что с ростом содержания марганца в сплаве ρ и $d\rho/dT$ увеличиваются. Проведен теоретический расчет эффективного удельного электросопротивления сплава Fe – 10 ат. % Mn в жидком состоянии при температурах от 1720 до 2770 К. Установлены значения температуры T^* , при которой проводимость гетерогенной системы становится равной проводимости раствора железа в марганце с однородным распределением атомов. Полученные расчетным путем значения $T^* = 2050–2100$ К выше температур 1900–2000 К, при нагреве до которых зафиксирован излом температурной зависимости электросопротивления. Теоретически изучена возможность перколяционного перехода в гетерогенных расплавах Fe–Mn: установлено предельное значение отношения электросопротивлений среды и включения, при котором возможен перколяционный переход. Определялся порог протекания как доля включений, при которой происходит значительное уменьшение эффективного электросопротивления. Расчет эффективного электросопротивления гетерогенного расплава выполнен в приближении Максвелла (интерпретация А.А. Снарского).

Ключевые слова: расплавы Fe–Mn, удельное электросопротивление, температурный коэффициент удельного электросопротивления, метод вращающего магнитного поля, моделирование структуры гетерогенного расплава, метод элементарной ячейки, структурный переход, перколяционный переход.

Введение

Сплавы Fe–Mn нашли широкое практическое применение в качестве высокопрочных конструкционных материалов [1]. Марганец – легирующий элемент для TWIP- и TRIP-сталей, обеспечивающий упрочнение [2]. Уникальное сочетание прочности и пластичности марганцовистых сталей объясняется конкуренцией между различными механизмами упрочнения: появлением мартенсита деформации $\gamma(\text{fcc}) \rightarrow \epsilon(\text{hcp}) \rightarrow \alpha'(\text{bcc})$ и образованием двойников [3]. Выяснение физической природы упрочнения сплавов Fe–Mn предполагает изучение условий их кристаллизации и кинетических свойств в жидком состоянии. Известно, что жидкие многокомпонентные металлические сплавы в определенном интервале температур и концентраций являются многофазными системами и представляют собой химически и структурно неоднородные среды. Для описания проводимости гетерогенных материалов с размерами неоднородностей значительно меньше размеров образца авторы работы [4] предложили расчет, основанный на обобщенном методе самосогласованного поля.

Экспериментальное и теоретическое изучение эффективных значений кинетических свойств металлических расплавов (вязкости, электросопротивления) позволяет определить температуру, при нагреве до которой происходит структурный переход от гетерогенного расплава к расплаву со статистическим распределением атомов [5]. Представления о физической природе аномалий температурных зависимостей кинетических свойств металлических расплавов (вязкости, электросопротивления) также основаны на том, что они вызваны изменением структуры расплава – структурными переходами – разрушением микронеоднородностей [6–9]. Экспериментальное и теоретическое изучение температурных зависимостей удельного электросопротивления жидких сплавов Fe–Mn являлось задачей данной работы. Изучение температурных зависимостей удельного электросопротивления жидких сплавов Fe–Mn проводилось с целью определения температур структурного перехода от гетерогенного расплава к расплаву со статистическим распределением атомов. Жидкий сплав Fe–Mn нами представлялся как гетерогенная система, в которой кластеры атомов железа случайным образом распределены в среде из атомов марганца.

Экспериментальная часть

Образцы сплавов Fe–Mn с содержанием марганца 3,9, 6,0, 8,2, 10,3 и 13,2 ат. % получены в лабораторных условиях в инертной атмосфере. Сплавление исходных материалов (электролитического марганца (~ 99,7% Mn) и карбонильного железа (~ 99,8% Fe)) проводили в печи Таммана

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90198.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>