

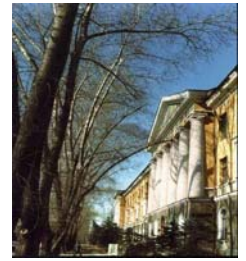
СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БИНАРНОМ ЭКВИАТОМНОМ СПЛАВЕ $Ni_{50}Mn_{50}$ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ СТАРЕНИИ

Белослудцева Е.С.^{1,2}, Винокуров Д.Е.^{1,2}, Царигородцева А.А.²

¹Институт физики металлов УрО РАН, 18, ул. Софьи Ковалевской, г. Екатеринбург, 620137, РФ,

²Уральский федеральный университет, 19, ул. Мира, г. Екатеринбург, 620002, РФ

**ebelosludceva@mail.ru*



В работе подробно исследована морфология мартенсита в сплаве $Ni_{50}Mn_{50}$ на разных масштабных уровнях. Анализ изображений микроструктуры и микроэлектроннограмм показал, что иерархия однотипных структур соответствует нескольким размерным уровням: от сотен микрометров до величин в нескольких нанометров, соответствующих межплоскостным расстояниям. Мартенсит имеет преимущественную морфологию в виде иерархии пакетов тонких (отношение длины к толщине $\sim 10:1$) пластинчатых и внутренне двойникованных кристаллов с плоскими границами габитусов $\{111\}L1_0/\{101\}B2$. Системы двойникового сдвига $L1_0$ -мартенсита $\{111\}<112\supseteq$ ГЦТ (или $\{101\}<11\bar{0}\supseteq$ ОЦТ) близки к мягкой моде Зинеровского типа $\{101\}<101\supseteq B2$, типичной для ОЦК-кристаллов [1, 2]. Такая хорошо организованная структура сплавов формируется за счет самосогласованного роста мартенситных кристаллов (определяемого наиболее выгодным направлением мартенситных сдвигов), т.е. так, чтобы суммарная макроскопическая деформация и упругие напряжения были минимальными. Это в свою очередь определяет формирование самоакомодирующей пакетной иерархии субструктуры кристаллов мартенсита всех кристаллографически эквивалентных ориентаций с первичным микродвойникованием, вторичным нанодвойникованием и образованием дефектов упаковки.

В результате естественного старения (порядка 20 лет) впервые обнаружено [3], что произошло фазовое расслоение сплава $Ni_{50}Mn_{50}$ в результате перераспределения никеля и марганца. Образовавшиеся выделения характеризуются округлыми границами и разноразмерностью (от 1 до 10 мкм). Объемная доля таких выделений $\sim 20\%$. Установлено, что в этих областях содержание никеля больше на 2...3 ат. % от стехиометрического состава. Соответственно, в матрице образца наблюдается повышенное содержание марганца по сравнению с химическим составом, наблюдаемым до распада. При этом оставшая часть сохраняет мартенситную структуру, что также подтверждается результатами рентгеноструктурного фазового анализа.

Методом EBSD-анализа установлено, что образовавшиеся области представляют смесь двух фаз – раздвойникованная фаза $NiMn$ ($L1_0$) и Ni_3Mn (кубическая решетка). При этом объемная доля кубической фазы составляет 30% от размера области или 2% от всей поверхности исследования.

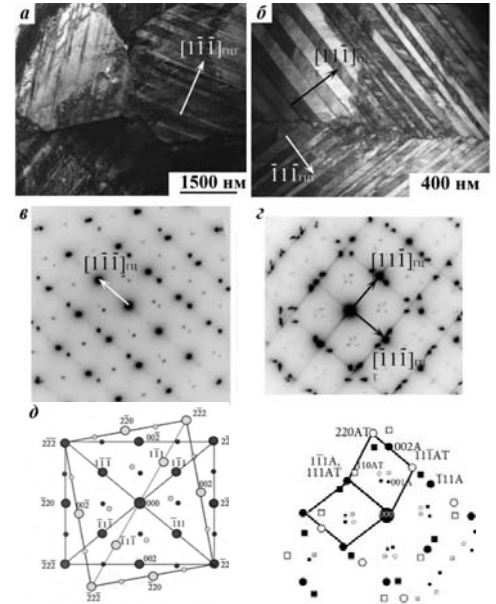


Рис. 1. Светлопольные изображения (а, б) микроструктуры сплава $Ni_{50}Mn_{50}$, микроэлектроннограммы (в, з) и схемы их расшифровок

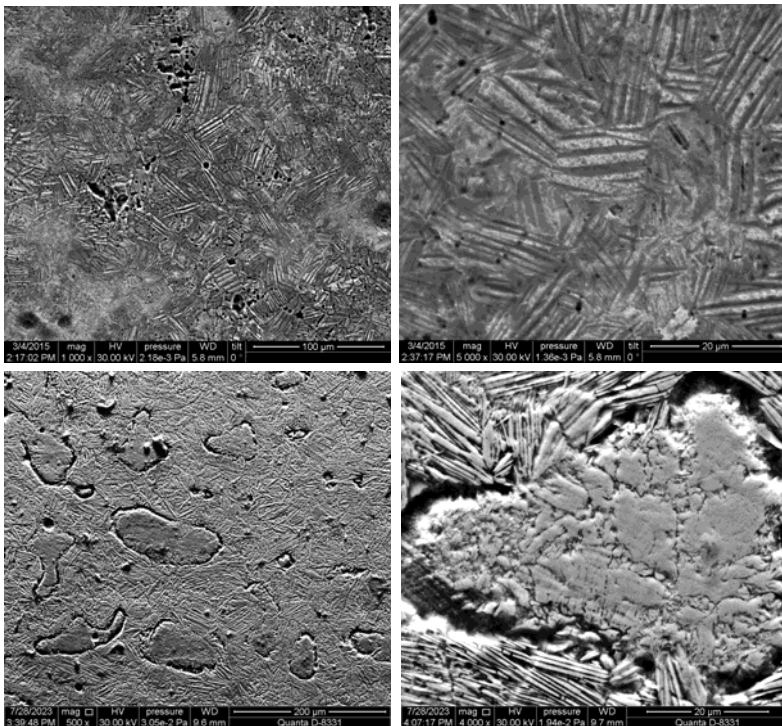


Рис. 3. СЭМ-изображение микроструктуры сплава $Ni_{50}Mn_{50}$ (а, б – исходное, в, з – после естественного старения)

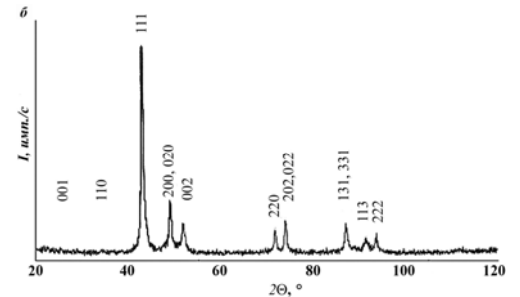


Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма сплава $Ni_{50}Mn_{50}$

Таблица 1. Фазовый состав сплава $Ni_{50}Mn_{50}$ после естественного старения по результатам EBSD-анализа

Фаза	Фазовый состав (%)	Параметры решетки, нм		
		a	b	c
$MnNi$ ($L1_0$)	4	0,369	0,369	0,349
$MnNi_3$ (кубическая решетка)	2	0,359	0,359	0,359
Нулевые решения	94			

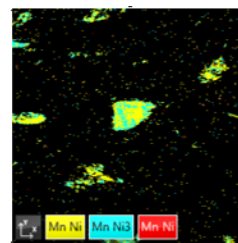
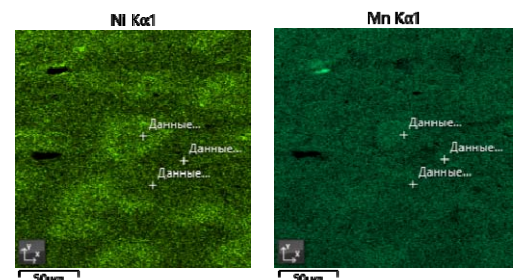


Рис. 4. Распределение фаз в результате EBSD-анализа

Рис. 5. Распределение основных элементов в сплаве $Ni_{50}Mn_{50}$ после естественного старения



Использовали оборудование отдела электронной микроскопии ЦКП "Испытательный центр нанотехнологий и перспективных материалов" ИФМ УрО РАН

Литература

- Хачин, В.Н. Никелид титана: структура и свойства / В.Н. Хачин, В.Г. Пушин, В.В. Кондратьев. – М.: Наука, 1992. – 160 с.
 Белослудцева Е.С. микроструктура, термоупругие мартенситные превращения и свойства B2 сплавов на основе Ni-Mn: дис. ... канд. физ. мат. наук: 01.04.07/ Е.С. Белослудцева- ИФМ УрО РАН, Екатеринбург, 2017 - 167 с.
 Е.С. Белослудцева, В.Г.Пушин, Н.Н. Куранова, Д.Е. Винокуров, А.О. Гусев. Сборник статей XXII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов — молодых ученых. 2023, 311 – 315.