



Сплавы на основе системы Ni-Mn являются кандидатами в сплавы с эффектами памяти формы (ЭПФ) за счет реализуемого в них термоупругого мартенситного превращения. Однако большинство цветных сплавов с ЭПФ, в том числе исследуемые в настоящей работе, в поликристаллическом состоянии имеют, в отличие от никелида титана, низкую пластичность, что не позволяет реализовать присущие им ЭПФ. Поэтому становится важным изучить особенности их разрушения.

В работе были изучены литые сплавы системы Ni-Mn-Al (составы указаны в табл.1) методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгено-фазового структурного анализа, модуля упругости, микротвердости в ЦКП ИФМ УрО РАН. Ранее было установлено, что температуры мартенситного превращения снижаются в зависимости от легирования и, соответственно, фазовый меняется состав (табл.1) [1, 2]. Все исследования проводились при комнатной температуре Тг.

Показано, что наибольшей микротвердостью обладает сплав бинарного эквивалентного состава. Анализ микроструктуры его излома показал, что разрушение происходит по транскристаллитному типу и носит преимущественно хрупкий характер (рис. 2, а). Установлено, что легирование понижает микротвердость и упругость и, вероятно, повышаются характеристики пластичности. О повышении вязкости свидетельствует СЭМ-изображение сплава Ni₅₀Mn₂₅Al₂₅. На изображении (рис. 2, б) продемонстрирован хрупко-вязкий излом. Структура представлена квазихрупким сколом с характерными гладкими областями и вытянутыми «язычками», которые свидетельствуют о более вязком характере разрушения. Это закономерно, поскольку данный сплав при температуре испытаний находился в аустенитном состоянии с кристаллической решеткой L₂. Интересно проанализировать фрактографические изображения сплава, легированного 18 ат. %. Указанный сплав при комнатной температуре находится в мартенситном состоянии с длиннопериодной кристаллической решеткой 14M. Значения твердости сплава Ni₅₀Mn₃₂Al₁₈ (табл. 1) значительно ниже микротвердости бинарного сплава и сравнимы с микротвердостью сплава с 25 ат.% Al. Особенности фрактографии сплава с 18 ат.% Al изображены на рис. 2. Показано, что он может разрушаться хрупко (в), как правило, по границам зерен, а также квазихрупко по объему зерна с элементами вязкого разрушения. Также следует отметить, что по телу мартенситных пластин происходит хрупкий скол, а по межпластинчатым границам – вытянутый вязкий отрыв.

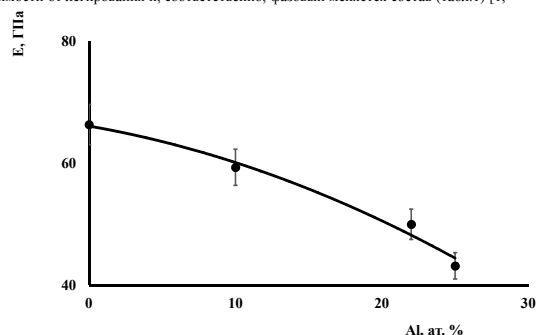


Рисунок 1 Зависимость модуля упругости сплавов системы Ni₅₀Mn_{50-y}Al_x

Таблица 1 – Значения критических точек, фазовый состав и значения микротвердости сплавов системы Ni₅₀Mn_{50-y}Al_x

У, ат.%	M _s , К	A _r , К	Фазовый состав при Т _r	Микротвердость при Т _r , ГПа
0	970	1020	L1 ₀	4,30
10	635	690	L1 ₀	3,52
18	505	540	14M	2,90
20	~290	~290	10M	3,79
22	290	315	10M+ B2	3,79
24	-	-	B2	-
25	-	-	L2 ₁	3,10

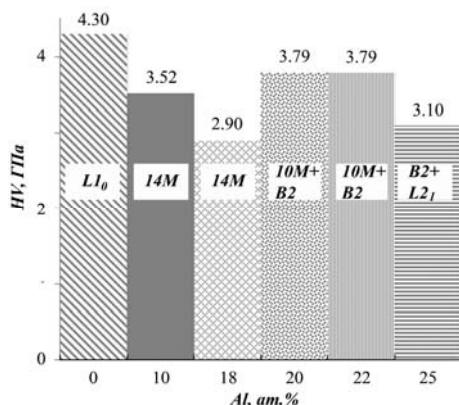


Рисунок 3 – Распределение микротвердости в зависимости от химического состава

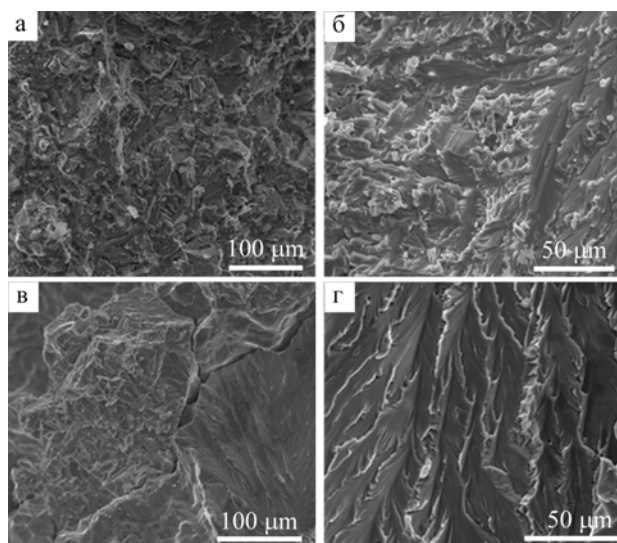


Рисунок 2. Фрактографические изображения сплавов: а – Ni₅₀Mn₅₀, б – Ni₅₀Mn₂₅Al₂₅, в, з – Ni₅₀Mn₃₂Al₁₈, полученные методом СЭМ

Результаты измерений микротвердости приведены на диаграмме на рисунке 3. При легировании алюминием до 18 ат. % понижается сопротивление 14M мартенсита индентору твердомера. Можно предположить, что, находясь в преаустенитном состоянии с более низкими модулями упругости, данные сплавы имеют меньшую твердость.

Повышение микротвердости в сплавах с 20 и 22 ат. % Al может быть связано с дальнейшей сменой типа кристаллической структуры мартенсита от 14M к 10M. Данный факт коррелирует с тем, что критические температуры в данных сплавах близки к комнатной, при которой производились замеры микротвердости. Кроме того, повышение микротвердости в сплавах с 20 и 22 ат. % Al может быть связано с наличием в двухфазном (B2 + 10M)-сплаве мартенситных пластин, более тонких, чем в сплавах с меньшим содержанием легирующего компонента, обеспечивающим дополнительное зернограницное упрочнение. В сплавах с 24 и 25 ат. % Al тип сверхструктуры изменяется от B2 и L₂ и микротвердость несколько снижается.

Таким образом, в настоящей работе были установлены основные закономерности влияния легирования и, как следствие, структурно-фазовых состояний сплавов на особенности их разрушения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Е.С. Белослудцева, Н.Н. Куранова, Н.И. Коуров, В.Г. Пушин, В.Ю. Стукалов, А.Н. Уксусников, ЖТФ, 2015, Т. 85, № 7, с. 55-59.

2.Е.С. Белослудцева, А.В. Пушин, А.Э. Свирид, В.Г. Пушин, Т.П. Толмачев, Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2019, V. 21. — P. 33–41.

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

Работа выполнена в рамках Госзадания (шифр «Структура») г.р. № «Структура» Гр. №122021000033-2