



Исследование структуры и свойств бинарных и тернарных сплавов Al-Ni-РЗМ, полученных при затвердевании их расплавов под высоким давлением

Жуйкова А.С.¹, Меньшикова С.Г.^{1,2}

¹Удмуртский государственный университет, Ижевск, aannaal907@mail.ru

² Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск

Сплавы Al-Ni-РЗМ (РЗМ-редкоземельный металл), содержащие 80-90 ат.% алюминия, имеют высокую прочность при относительно низком удельном весе. Практическое применение сплавов возможно только при условии достаточно хорошей стабильности сформированной структуры. Известно, что многие технологические процессы проходят через жидкую фазу. Состояние расплава перед закалкой влияет на структуру и свойства сплавов. Различные экстремальные воздействия, в частности, высокое давление оказывают влияние на термодинамику и кинетику затвердевания расплава, приводя к разным изменениям в структуре сплавов.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ: бинарные и тернарный стеклообразующие сплавы системы Al-Ni-РЗМ: $Al_{90}Gd_{10}$, $Al_{90}Y_{10}$, $Al_{87}Ni_8Y_5$.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследовать микроструктуру, фазовый состав и физико-механические свойства сплавов после термобарических воздействий.

Рассматривается влияние высоких давлений и температур на формирование стабильных и метастабильных фаз в сплавах при быстром охлаждении расплавов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Бинарный сплав $Al_{90}Gd_{10}$

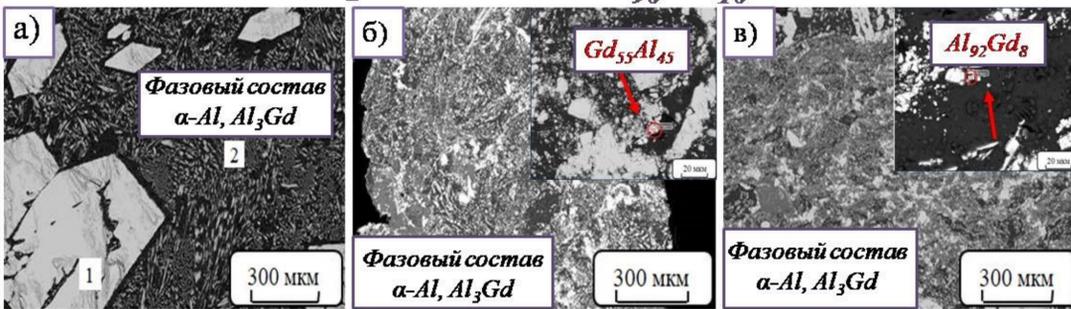


Рис.1. а) исходный образец; б) полученный под давлением 5 ГПа без плавления; в) полученный из расплава под высоким давлением 10 ГПа путем быстрого охлаждения расплава со скоростью 1000 град/с, при температуре закалки 1800 К

Таблица 1. Значения физико-механических характеристик исследуемых образцов

| Характеристика | Исходный образец эвтектика + интерметаллид | Исходный образец эвтектика | Исходный образец интерметаллид | Образец без нагрева | Образец с нагревом |
|--|--|----------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------|
| Микротвердость Н, ГПа | 3.500±2.440 | 0.830±0.094 | 6.170±0.750 | 1.030±0.331 | 1.270±0.440 |
| Приведенный модуль упругости E_p , ГПа | 76.870±8.070 | 74.230±4.460 | 84.040±11.380 | 78.910±7.820 | 60.440±12.080 |
| ν/E_p | 0.028±0.029 | 0.011±0.009 | 0.073±0.007 | 0.013±0.003 | 0.021±0.005 |

Бинарный сплав $Al_{90}Y_{10}$

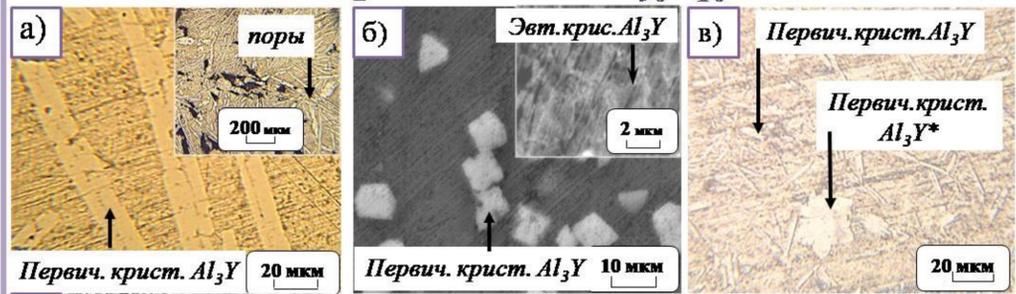


Рис.2. а) исходный образец; б) полученный под давлением 2-5 ГПа, 1770 К; в) полученные под давлением 7 ГПа, 1770 К; г) 9 ГПа, 2080 К

Таблица 2. Параметры получения образцов и характеристики их структурных составляющих

| Образец | Параметры получения образцов | Размер первичного интерметаллида | Микротвердость эвтектики, ГПа |
|--------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 исходный образец | атмосферное давление 0.1 МПа (печь Тамана) | 75.0 ± 0.1 | 530 ± 20 |
| 2 | 0.8 ГПа, 3 мин, 1050 К, 5 град/с (камера «поршень-цилиндр») | 12.0 ± 0.1 | 550 ± 20 |
| 3 | 5.0 ГПа, 10с, 1500 К, 1000 град/с (камера типа «тороид») | 5.0 ± 0.1 | 2000 ± 20 |

Тернарный сплав $Al_{87}Ni_8Y_5$

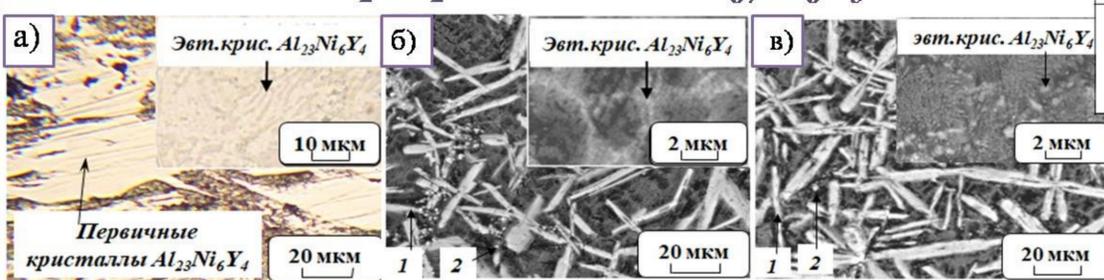


Таблица 2. Фазовый состав образцов

| Исходный образец | Фазовый состав |
|------------------------|---|
| Исходный образец | $\alpha - Al, Al_{23}Ni_6Y_4, Al_{65}Ni_{26}Y_9, Al_{65}Y_{31}Ni_4$ |
| 1.8 ГПа, 1 мин, 1520 К | $\alpha - Al, Al_{23}Ni_6Y_4, Al_{65}Ni_{26}Y_9, Al_{65}Y_{31}Ni_4$ |
| 2.2 ГПа, 1 мин, 1470 К | $\alpha - Al, Al_{23}Ni_6Y_4, Al_{65}Ni_{26}Y_9, Al_{65}Y_{31}Ni_4$ |
| 2.2 ГПа, 3 мин, 1470 К | $\alpha - Al, Al_{23}Ni_6Y_4, Al_{65}Ni_{26}Y_9, Al_{65}Y_{31}Ni_4$ |

Рис.3. а) исходный образец; б) полученный под давлением 1.8 ГПа, 1520 К; в) полученный под давлением 2.2 ГПа, 1470 К; г) под давлением 2.2 ГПа, 1470 К

Камера высокого давления типа «тороид»

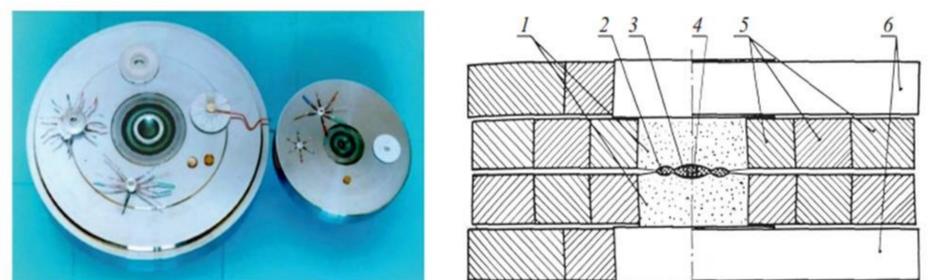


Рис.4. 1 – твердый сплав, 2 – тор, 3 – центральная часть в виде чечевицы, 4 – нагреватель и образец, 5 – стальные кольца, 6 – опорные плиты

Выполнены исследования структуры и свойств образцов $Al_{90}Gd_{10}$, $Al_{90}Y_{10}$, $Al_{87}Ni_8Y_5$, полученных при закалке их расплавов под давлением до 10 ГПа в температурном диапазоне до 2000 К. Вследствие высокой скорости затвердевания и механического уплотнения под высоким давлением полученные образцы мелкодисперсные, однородные, плотные. При давлениях выше 5 ГПа и температурах закалки расплавов выше 1770 К в сплавах обнаружены новые фазы. В сплаве $Al_{90}Gd_{10}$, кроме равновесных фаз $\alpha-Al$ и Al_3Gd , присутствуют фазы $Gd_{55}Al_{45}$ и $Al_{92}Gd_8$. В сплаве $Al_{87}Ni_8Y_5$, кроме равновесных фаз $\alpha-Al$, $Al_{23}Ni_6Y_4$, фазы составов $Al_{65}Ni_{26}Y_9$, $Al_{65}Y_{31}Ni_4$. В сплаве $Al_{90}Y_{10}$ формируются, кроме $\alpha-Al$, высокотемпературные и низкотемпературные фазы Al_3Y .

Работа выполнена в рамках Проекта РНФ (№ 22-22-00674). Образцы под высоким давлением получены в ИФВД РАН, г. Москва, г. Троицк.

Авторы выражают признательность д.ф.-м.н., Академику РАН Бражкину В.В. за оказанное содействие в получении образцов в камере типа «тороид».