

**ПРЕИМУЩЕСТВЕННАЯ ОРИЕНТАЦИЯ И ДЕФЕКТНОЕ СТРОЕНИЕ  $\gamma'$ - ФАЗЫ В СПЛАВЕ  
НА ОСНОВЕ Ni-Al-Cr, ЛЕГИРОВАННОГО ЛАНТАНОМ**

Л.Ф. Шергаева, Н.А. Попова, Н.Р. Сизоненко, Е.Л. Никоненко

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Е.Л. Никоненко

Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, Томск, пл.Соляная, 2, 634003

E-mail: [vilatomsk@mail.ru](mailto:vilatomsk@mail.ru)

**PREFERRED ORIENTATION AND THE DEFECT STRUCTURE  $\gamma'$ -PHASES IN ALLOY ON THE  
BASIS OF NI-AL-CR ALLOYED BY THE LANTHANUM**

L.F. Shergaeva, N.A. Popova, N.R. Sizonenko, E.L. Nikonenko

Scientific Supervisor: senior Researcher E.L. Nikonenko

Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk

Tomsk State University of Architecture and Building, Soljanaja str. 2, Tomsk 634003, Russia

E-mail: [vilatomsk@mail.ru](mailto:vilatomsk@mail.ru)

***Abstract.** Methods of the diffraction submicroscopy on thin folga conducted a research of slozhnolegированны superalloy on the basis of Ni-Al-Sr prepared with method of a directional crystallization containing, by  $\gamma'$ -and  $\gamma$  phase. It is established that introduction to alloy of a lanthanum changes preferred orientation of  $\gamma'$  - phase. Annealing of the alloy alloyed by a lanthanum leads to scattering of texture.*

**Введение.** В суперсплавах, содержащих ( $\gamma+\gamma'$ )-фазы, как правило, между  $\gamma$ - и  $\gamma'$ -фазами имеется полное ориентационное соответствие. Одним из способов получения таких сплавов является метод направленной кристаллизации. Можно ожидать, что изготовленный таким способом суперсплав должен обладать хорошо организованной текстурой [001]. Однако введение большого количества разнообразных легирующих элементов, в том числе лантана, а также отжиг суперсплава могут изменить его текстуру. Исследованию этого вопроса и посвящена настоящая работа.

**Материал и методы исследования.** Состав суперсплава образован следующими элементами: 70,84...71,0 ат.%Ni, 17,0...17,08 ат.%Al, 5,73...5,74 ат.%Cr, 1,98 ат.%Mo, 1,7 ат.%Ti, 0,88 ат.%W. Дополнительно вводился лантан в трех различных концентрациях: 0.015; 0.10 и 0.30 вес.%.

Исследуемые образцы сплава были получены в результате направленной кристаллизации. Затем образцы подвергались отжигу при температуре 1273 К и выдержках в течение 10 и 25 часов. Основными методами исследования являлись метод дифракционной электронной микроскопии (ПЭМ) на тонких фольгах и рентгеноструктурный анализ.

**Результаты и их обсуждение.** Исследуемый сплав в общем случае состоит из шести фаз. Основной фазой является  $\gamma'$ -фаза. Присутствуют в сплаве лантаниды  $\text{La}_2\text{Ni}_3$  и  $\text{Al}_2\text{La}$ . Еще одна фаза, которая обозначена как  $\alpha_2$ -фаза. Помимо этих фаз в небольших количествах наблюдаются частицы карбида  $\text{La}_2\text{C}_3$ , расположенные на дислокациях в  $\gamma'$ -фазе. Содержание этих фаз в сплаве зависит от концентрации лантана и термической обработки сплава, но их присутствие сохраняется во всех случаях.

$\gamma$ -фаза присутствует во всех случаях кроме предельной термообработки – отжига при  $T = 1273$  К в течение 25 часов.

Рассмотрим преимущественную ориентацию  $\gamma'$ -фазы, т.е. текстуру. Отжиг сплава при  $1000^\circ\text{C}$  сильно усложняет текстуру сплава. В таком же направлении влияет увеличение концентрации лантана. Это подтверждает, что содержание лантана и образование лантанидов влияет на морфологию и дефектную структуру  $\gamma'$ -фазы. Прежде всего, рассмотрим текстуру. В исходном состоянии (неотожженном) при малой концентрации лантана присутствуют две ориентировки:  $[001]$  и  $[112]$  (рис.1а-в), причем первая ориентация встречается вдвое чаще, чем вторая.

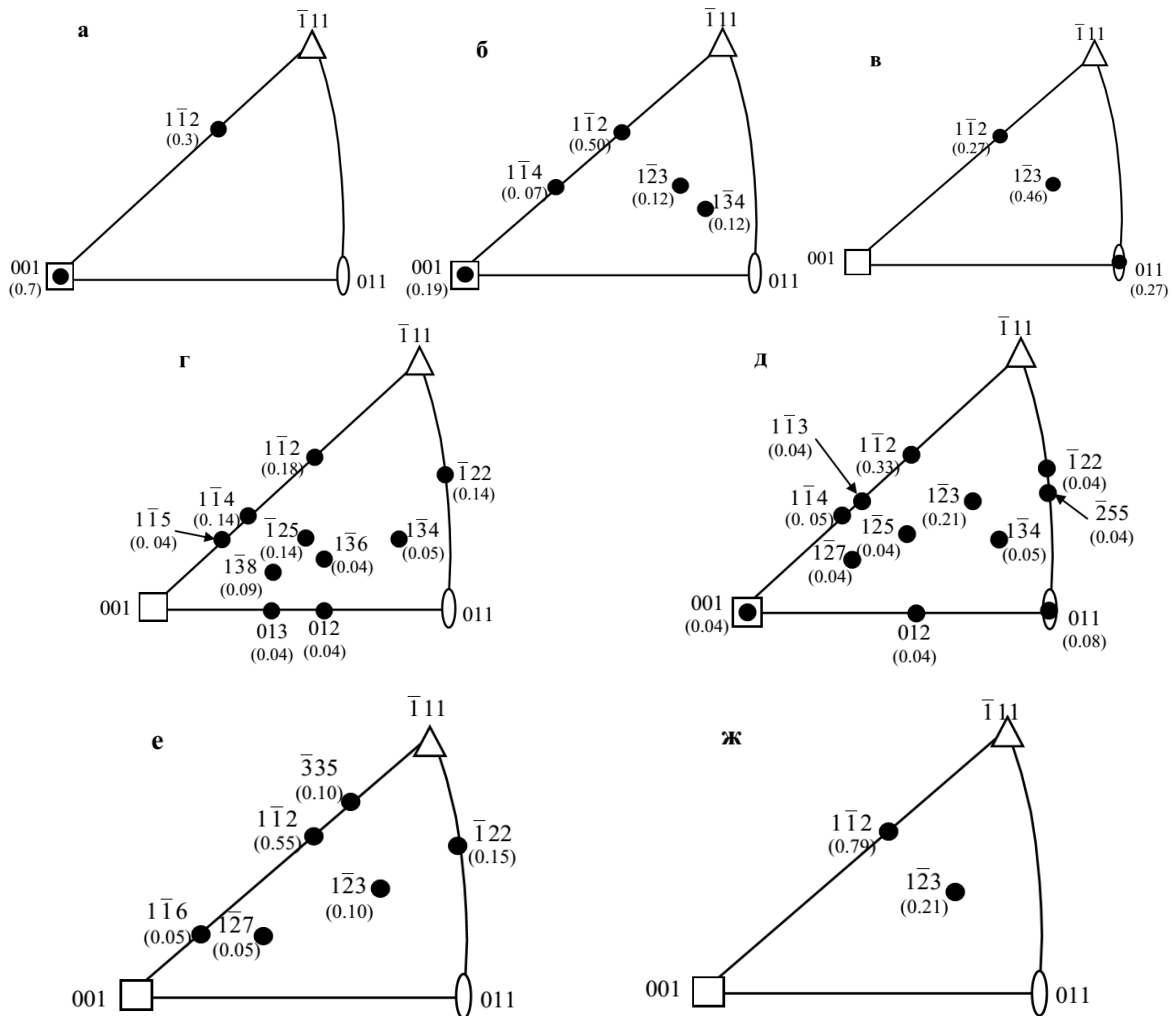


Рис.1. Изменение текстуры при изменении (а-в) концентрации лантана ( $C_{La}$ ) в неотожженном сплаве (а – 0.015 вес.%; б – 0.1 вес.%; в – 0.3 вес.%; г-д) продолжительности отжига  $t$  при  $1000^\circ\text{C}$   $C_{La} = 0.1$  вес.%; г – 10 часов; в – 25 часов; продолжительности отжига  $t$  при  $1000^\circ\text{C}$   $C_{La} = 0.3$  вес.%; е –  $t = 10$  часов; ж –  $t = 25$  часов (в скобках указаны объемные доли присутствующих ориентаций)

С ростом концентрации лантана роль ориентировки  $[001]$  быстро убывает, и она заменяется ориентировками вдоль биссектрисы треугольника  $112 - 011$ . Совершенно очевидно, что введение лантана подавляет формирование кубической ориентации. В таком же направлении действует отжиг при температуре  $1000^\circ\text{C}$ : сначала наблюдается рассеяние текстуры, а затем консолидация текстуры вдоль направления  $[112] - [011]$  (рис.1г-ж).

Отжиг слабо влияет на величину скалярной плотности дислокаций  $\gamma'$ -фазы. Она остается высокой. Как показали проведенные измерения, изменения скалярной плотности дислокаций близки к значению дисперсии её величины (рис.2а). Дифракционный анализ показывает, что большая часть дислокаций в  $\gamma'$ -фазе залегает в положениях дислокационных барьеров, типичных для ГЦК решетки. Чаще всего это барьеры Кира-Вильсдорфа.

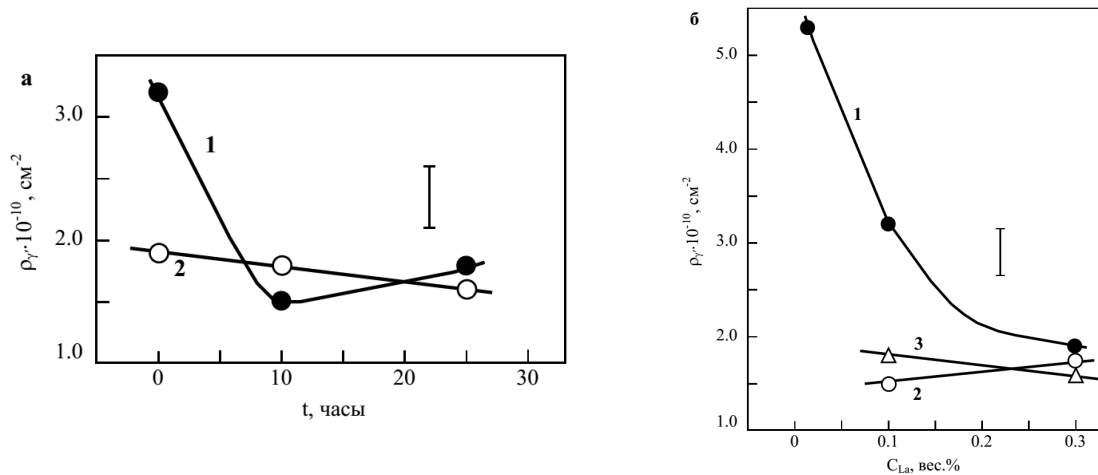


Рис.2. Изменение скалярной плотности дислокаций  $\rho_{\gamma'}$  в  $\gamma'$ -фазе в отожженном при  $T = 1000^{\circ}\text{C}$  в сплаве а - от продолжительности отжига  $t$  (концентрация лантана составляет: 1 – 0.1 вес.%; 2 – 0.3 вес.%); б - от концентрации лантана  $C_{La}$ . (продолжительность отжига составляет: 1 –  $t = 0$ ; 2 – 10 часов; 3 – 25 часов)

Влияние концентрации лантана на величину  $\rho$  существенно только в исходном состоянии сплава (рис.2б, кр.1). В отожженном состоянии зависимость величины  $\rho$  от концентрации лантана невелика (рис.2б, кр.2-3). Таким образом, подтверждается мнение о том, что лантан прежде всего осложняет рост совершенных кристаллов при кристаллизации суперсплава.

Сопоставление данных о скалярной плотности дислокаций  $\rho$  и неоднородности твердого раствора  $\gamma'$ -фазы, характеризуемые величиной  $\Delta d$  (см. рис.3), свидетельствует о следующем.

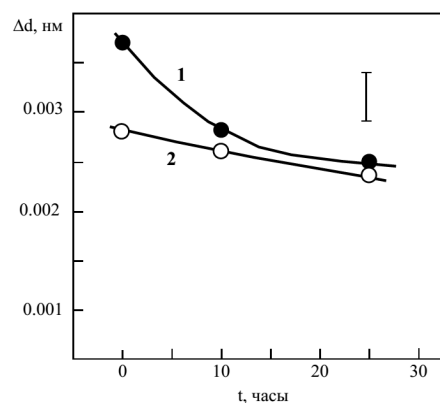


Рис.3. Изменение полуширины линии (111) от продолжительности отжига  $t$  в исследуемом сплаве 1 –  $C_{La} = 0.1$  вес.%; 2 -  $C_{La} = 0.3$  вес.%

Во-первых, имеет место значительная неоднородность  $\gamma'$ -фазы. Во-вторых, наблюдается корреляция между степенью неоднородности твердого раствора и скалярной плотностью дислокаций в  $\gamma'$ -фазе. В-третьих, исследования показали, что неоднородность твердого раствора  $\gamma'$ -фазы является причиной появления в ней высокой плотности дислокаций.