

Квеглис Л.И., Абылкалыкова Р.В., Рахимова У.А.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВАХ NI-AL ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

L.I. Kveglis, R.V. Abylkalykova, U.A. Rakhimova

STUDIES OF STRUCTURAL TRANSFORMATION IN ALLOYS NI-AL UNDER STATIC LOADING

УДК:614/78-95

В статье рассматриваются исследования структурных превращений в сплавах Ni-Al при статическом погружении.

This article reviews studies of structural transformations in alloys Ni-Al under static loading.

Актуальность исследований сплавов системы Ni-Al связана с широким использованием этих сплавов как конструкционных материалов в ракетостроении, машиностроении. Одна из самых главных особенностей сплавов Ni-Al является положительная температурная зависимость предела текучести. Интерметаллид Ni₃Al имеет всевозрастающее применение в авиационной и космической промышленности из-за легкости прочности и жаростойкости. Сплав обладает комплексом различных свойств, рациональное сочетание которых позволяет получать оптимальные конструкции. Подбором соответствующих условий термообработки можно регулировать изменения структуры. В работе [1] установлено, что введение в сплав легирующих элементов нарушает идеальную квазикубическую структуру γ-фазы и изменяет ее преимущественную ориентацию. Отжиг в значительной степени изменяет морфологию этой фазы [2]. Стабильность межфазных границ может меняться в процессе механического воздействия.

Целью данной работы является исследование структурных превращений при эффекте обратимой памяти формы в сплавах системы Ni-Al. Исследования проводились на образцах сплава Ni-Al с содержанием никеля - 75 ат. % и алюминия - 25 ат.%. Проводился анализ структурных особенностей, обнаруженных на массивных образцах сплава Ni-Al в сравнении с результатами, полученными в ходе исследования структуры пленочных образцов Ni-Al. Работа посвящена выяснению причин формирования атомно-упорядоченных структур в межзёрнных границах массивных образцов под действием температуры и статических нагрузок.

На рисунке 1 приведена фазовая диаграмма системы Ni-Al.

Видно, что система Ni-Al имеет много фазовых превращений. Для сплава Ni-Al характерен эффект памяти формы, т.е. способность материала возвращать свою первоначальную форму, измененную при нагрузке под действием температуры. В работах [1] показано, что мартенситный механизм фазовых превращений в системе Ni-Al предполагает

исключительную роль сдвиговых деформаций в инициировании фазовых превращений. Поэтому следует ожидать образования новых фаз под действием механических нагрузок.

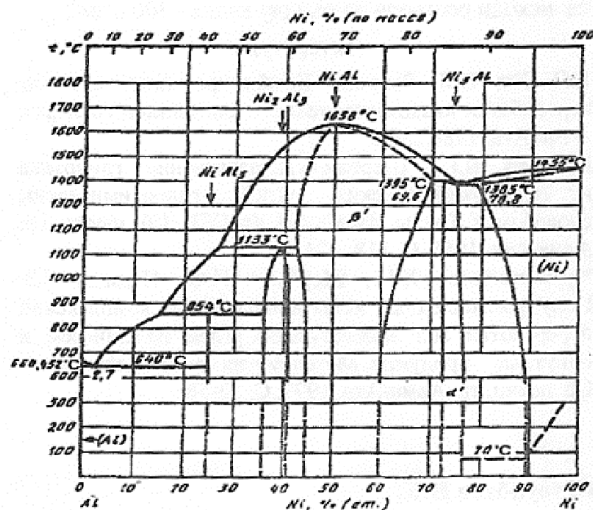


Рис. 1. Диаграмма фазовых равновесий в системе Ni-Al.

Причина эффекта памяти формы связывается с мартенситным превращением, такие превращения начинаются с межзёрненной границы [3].

Авторы обнаружили возникновение межзёрненной прослойки при мартенситном переходе (Рис. 2).

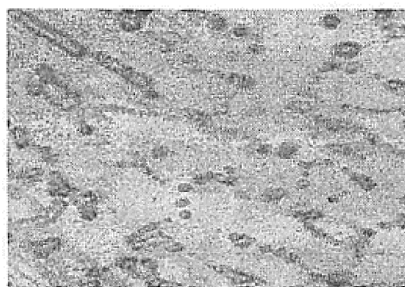


Рис. 2. Оптическая микрофотография образования новых фаз в области межзёрнных границ в Ni-Al [3].

Образцы Ni₃Al после выдержки при температуре 1150 подвергались закалке в воду, а затем статическому, растягивающему нагружению в течение 40 минут до разрыва. Кусочки разорванного образца были исследованы методом рентгеновской дифракции. На рисунке 3 показана дифракция рентгеновских лучей вдали от зоны разрыва. Верхняя

дифракционная картина соответствует ГЦК-решетке. На нижнем рисунке мы видим сложную структуру, полученную от зоны разрыва. Предположительно это фаза Ni_3Al а так же смесь двух фаз $B2-NiAl$ и $L1_0$ фазы.

Известно, что механические нагрузки влияют на кинетику и температуру мартенситных превращений. В данном случае, согласно диаграмме фазовых

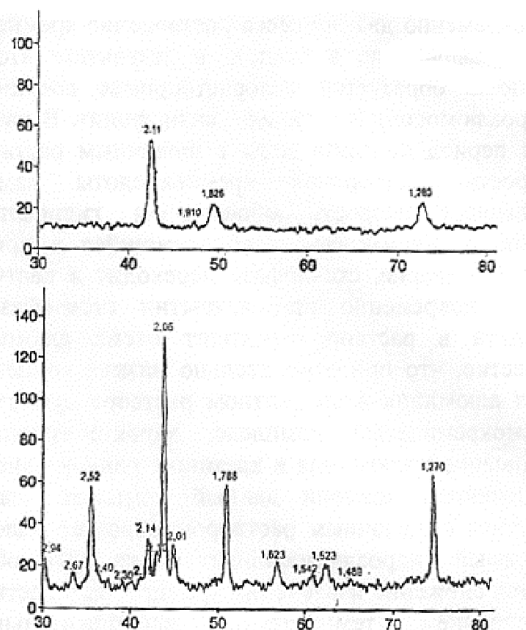


Рис. 3. Картины рентгеновской дифракции массивных образцов сплава Ni_3Al -вверху - вдали от области разрыва образца, нижний спектр получен от области разрыва.

Поскольку наблюдение микроструктуры массивных материалов требует длительной и сложной подготовки, мы обратились к пленочным материалам. Пленки сплава Ni_3Al были получены термическим осаждением в вакууме на стеклянную подложку. Структура соответствовала ГЦК-фазе с атомным упорядочением типа $L1_2$ (см. рис.3 а). Для создания в пленке больших внутренних напряжений ее обработали жидким азотом. В результате произошло изменение ее структуры как показано на рис.3б. Структуру пленки можно сопоставить структуре межзёренной границы, поскольку известно, что напряжения в пленках достигают 10 ГПа за счет различия температурных коэффициентах линейного расширения.

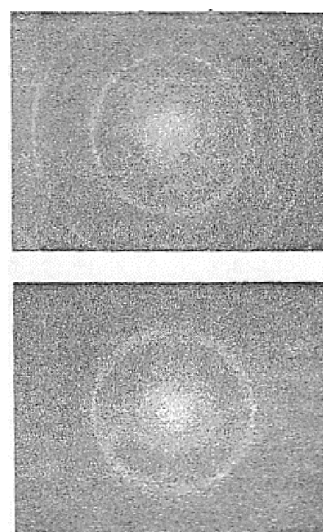


Рис. 4. Картины электронной дифракции пленок сплава Ni_3Al -слева после получения пленки, справа - после обработки ее жидким азотом

равновесий (рис.1), видим, что в сплаве может происходить 2 процесса: дисперсионное твердение с выделением α' - фазы и атомное упорядочение. Оба процесса могут проходить благодаря диффузии. Однако диффузия под действием механических нагрузок может носить краудинный характер [4]. Автор рассматривает систему $Ni-Al$ с помощью методов молекулярной динамики результатом его работы является направленное движение атомов никеля в сторону вакансионных пустот в области будущего разрыва нагруженного материала. Атомы никеля «залечивают» пустоты, заполняя их собой. В результате увеличивается время жизни нагруженной конструкции. В нашем эксперименте хорошо подтверждается теория Полетаева. На рисунке 5 представлена фотография образца Ni_3Al . Слева показан маленький кусочек вырубленный из области разрыва, справа - часть образца, закрепляемая в установке для разрыва. Оба кусочка были подвергнуты измерениям крутящего момента в магнитометре в магнитном поле с напряженностью $H = 6$ килоэрстед. Исследуемый образец, подвешенный на вертикальной торсионной нити, помещают во внешнее магнитное поле и измеряют угол закручивания нити при различной ориентации поля относительно образца. Для определения изменения положения пленки служит комбинация зеркал с отчетной шкалой.

$L = MH \sin \theta$ где L - крутящий момент, отмеченный на оси ординат рис.6; M - намагниченность образца; θ - угол вращения, отмеченный на оси абсцисс рис. 6. Из рисунка 6 видно, что намагниченность насыщения маленького кусочка образца значительно превышает намагниченность большого образца. Этот факт подтверждает теорию Полетаева: в области разрыва скапливаются атомы никеля в достаточно ощутимом

количестве. Магнитометрический метод позволяет измерять частицы никеля диаметром порядка 30 нм.

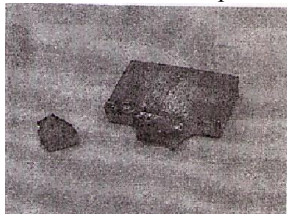


Рис. 5. Образец Ni_3Al : слева - маленький кусочек с большой намагниченностью; справа - большой кусочек с маленькой намагниченностью (см. кривые крутящих моментов).

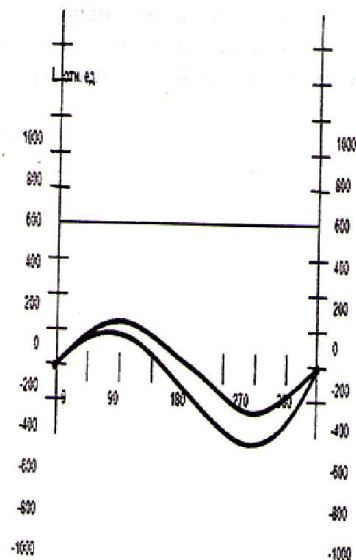
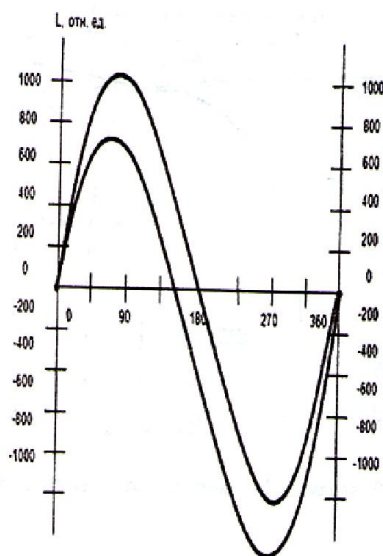


Рис. 6. Кривые крутящих моментов, полученные от разных участков разорванного образца: слева - от маленького кусочка, отделенного от области разрыва; справа - от большого кусочка, находящегося на периферии области разрыва.

Согласно диаграмме фазовых равновесий, приведенных в работе [5] намагниченность сплава Ni-Al при комнатной температуре близка к нулю для исследуемых составов. Соединение Ni_3Al немагнитно. Гвайер нашел, что сплавы никель-алюминий с небольшим содержанием кобальта магнитны при комнатной температуре при содержании алюминия свыше 10%.

Теория Полетаева хорошо согласуется с моделью сдвиговой трансформационной зоны, проиллюстрированной в экспериментальной работе [6].

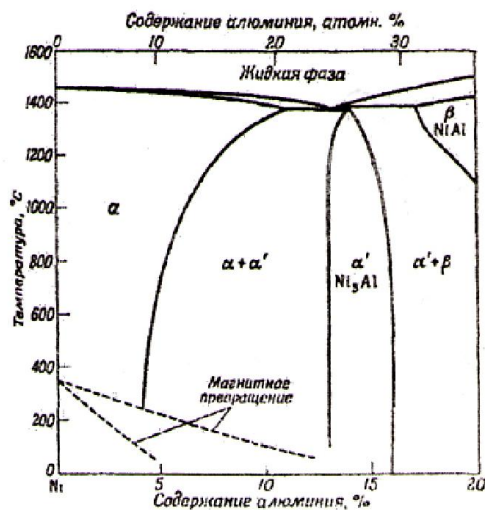


Рис. 7. Диаграмма фазового равновесия сплавов Ni-Al [5].

ВЫВОДЫ

1. В сплаве Ni-Al в массивном и пленочном состоянии обнаружена межзеренная межграницная прослойка, имеющая сложную структуру.
2. Делается попытка описать обнаруженные структурные и магнитные превращения в сплавах Ni-Al с помощью теорий, основанных на модели возбужденных атомов.

Литература:

- [1] M. Atzmon, Phys. Rev. Lett., 64 (1990) 487, 4 (В.К. Портной, А.М. Блинов, И.А. Томилин, В.Н. Кузнецов, Т. Кулик ФММ6 93 (2002) 42
- [2] Козлов Э.В., Попова Н.А., Никоненко Е.Л. и др. Фундаментальные проблемы современного материаловедения № 1, 2005, с. 106-109
- [3] Sidhom H., Portier R., An icosahedral phase in annealed austenitic stainless steel // Philosophical Magazine Letters, 1989, V. 59, № 3, P. 131-139. Е.В.Шалаева, А.Ф.Прекул. Ориентационные соотношения икосаэдрической фазы и твердого раствора в квазикристаллообразующих сплавах. ФММ 2006, вып 101, №2 с 158-170
- [4] Полетаев Г.М., Атомные механизмы диффузии в металлических системах с ГЦК решеткой, диссертация д. ф.-м.н., Барнаул 2006
- [5] Р. Бозорт, Ферромагнетизм, ИИЛ, Москва, 1956, 78 с.
- [6] L.I. Kveglis, V.A. Seredkin, A.V. Kuzovnikov, JETP Letters, Vol. 82, №> 1, 2005, pp. 22-25.

Рецензент: профессор Квеглис Л.И.