

УДК 620.22:544.478.02
**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ИНТЕРМЕТАЛЛИДА NiAl₃, ПОЛУЧЕННОГО В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ**
д.т.н., проф. Серeda Б.П., асп. Савела К.В.,
к.т.н., доц. Кожемякин Г.Б., ст. преп. Белоконь Ю.А.
Запорожская государственная инженерная академия

Введение

Для нового поколения современных катализаторов необходимы материалы, которые сочетают высокую каталитическую активность с низкой плотностью и высокими механическими свойствами. Как известно, физико-химические свойства скелетных никелевых катализаторов зависят от фазового состава исходных сплавов. Согласно диаграмме состояния, системы Ni-Al, в равновесных сплавах удастся идентифицировать следующие фазы: Ni₃Al, NiAl, Ni₂Al₃ и NiAl₃. Большой интерес представляют сплавы на основе алюминидов никеля NiAl₃ [1]. Поэтому в дальнейшем наша работа была направлена на исследование механических свойств только алюминидов NiAl₃.

Кроме того, возможно изготовление из них полуфабрикатов и изделий сложной формы в рамках хорошо отработанного технологического процесса.

В последнее время для получения алюминидов никеля наряду с традиционными методами литья стали использовать приемы порошковой металлургии [2-4]. Естественно, что способ получения материала может во многом определять его структуру и свойства, поэтому возникает необходимость подробного изучения этих характеристик.

В настоящей работе исследованы свойства интерметаллида NiAl₃, полученного из смеси порошков никеля и алюминия методом синтеза в режиме горения с последующей обработкой давлением продукта, разогретого за счет экзотермической реакции.

Методика проведения исследований

В качестве исходных компонентов использовали чистые порошки никеля и алюминия. Дисперсность порошков составляла 100–150 мкм. Схема приготовления шихты включала дозировку, смешивание, заполнение формы, прессование и термическую обработку. Усилие прессования изменяли от 2,5–5 тонн. Иницирование смеси осуществляли при помощи вольфрамовой спирали. Процесс вели в атмосфере воздуха при давлении 1 атм.

Для оценки механических свойств интерметаллида проводили испытания: на сжатие – образцов в форме прямоугольного параллелепипеда размером 4×4×8, на трехточечный изгиб – 5×5×35, на кручение – 1×1×40 мм³. Для растяжения на образцах делали головки, длина рабочей части составляла 20 мм, поперечное сечение – 5×3 мм². Все испытания (по 5 – 7 образцов на каждую точку) проводили на универсальной машине УГ-20, используя специальные захваты при температуре от 293 до 1273 К и скорости деформирования 10⁻³ с⁻¹.

Микроструктуру полученных катализаторов исследовали на световом микроскопе «Neophot-21» и растровом электронном микроскопе «РЭМ-100»,

анализ фазового состава осуществляли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3. Микротвердость катализаторов определяли на приборе ПМТ-3.

Для расчета равновесного состава продуктов системы был использован прикладной пакет программ «АСТРА».

Результаты исследований и их обсуждение

Плотность материала, определенная методом гидростатического взвешивания, оказалась равной $4,71 \cdot 10^3$ кг/м³, что соответствует плотности литого алюминид никеля ($4,73 \cdot 10^3$ кг/м³ по данным работы [5]). Зерна NiAl₃ имеют равноосную форму (рис. 1), их средний размер составляет 30 мкм.

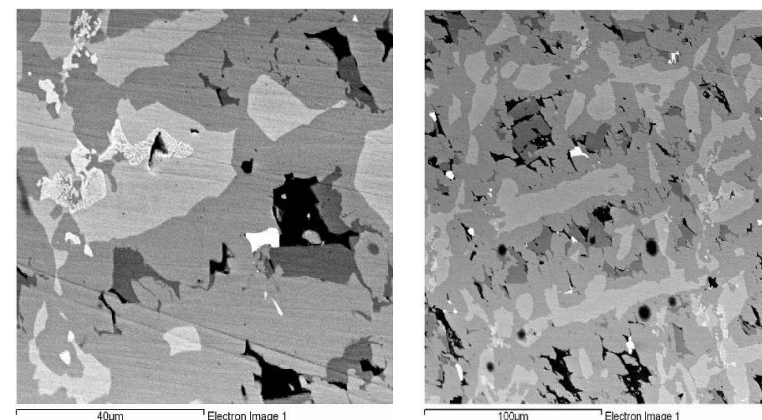


Рис. 1. Микроструктура алюминид никеля, полученного методом синтеза в режиме горения

Предел текучести материала при комнатной температуре составляет 280 МПа. С повышением температуры он монотонно возрастает, достигая максимума (500 МПа) при 873 К, а затем снижается (рис. 2, кривая 1). Аналогичную температурную зависимость предела текучести литого NiAl₃ стехиометрического состава (кривая 2) наблюдали в работе [2]. Максимальное значение σ_T также достигалось при 873 К. Количественное различие между зависимостями 1 и 2 на рис. 2 связано, по-видимому, с тем, что в [2] размер зерна был равен 200 мкм.

Как на изгиб, так и на растяжение при 295 К образцы нагружались упруго вплоть до разрушения, на кривой нагружения не фиксировалось какой-либо пластической деформации. Значения прочности имеют разброс, характерный для хрупких материалов, коэффициент вариации составляет около 5 %. При комнатной температуре среднее значение прочности при изгибе равно 580 МПа, а при растяжении оно в три раза ниже (190 МПа). Предел прочности при растяжении литого стехиометрического поликристалла NiAl₃ при 295 К составляет около 120 МПа [3], а прочность при изгибе

порошкового NiAl_3 , полученного методом горячего прессования, – 250 МПа [4]. По-видимому, более высокая прочность синтезированного материала обусловлена формирующейся в процессе изготовления структурой со сравнительно мелким зерном равноосной формы. Методы литья не обеспечивают такой структуры: как правило, вырастают крупные дендриты. В алюминиде никеля, полученном традиционными методами порошковой металлургии, имеются поры.

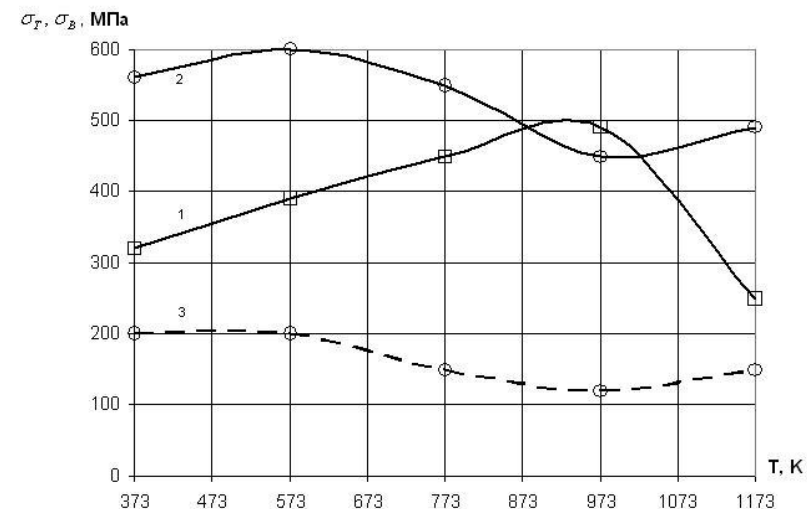


Рис. 2. Температурная зависимость предела текучести (1) и прочности (2, 3) интерметаллида NiAl_3 при испытаниях на сжатие (1), изгиб (2) и растяжение (3)

При температурах до 1073 К разрушение происходит по межзерненным границам, пластического формоизменения зерен практически нет (рис. 3). При более высоких температурах появляется значительная доля пластически деформированных зерен, которая растет с увеличением температуры деформации. Однако разрушение по-прежнему преимущественно интеркристаллитное.

Чтобы выявить поведение материала при нагружении до предела текучести, проводили испытания на кручение в интервале температур от 77 до 573 К. Предварительно образцы полировали электролитически. На установке типа обратного крутильного маятника образец закручивали на заданный угол, затем разгружали и определяли остаточную деформацию $\gamma_{\text{ост}}$. Для расчета напряжения у использовали значение модуля сдвига 66 ГПа.

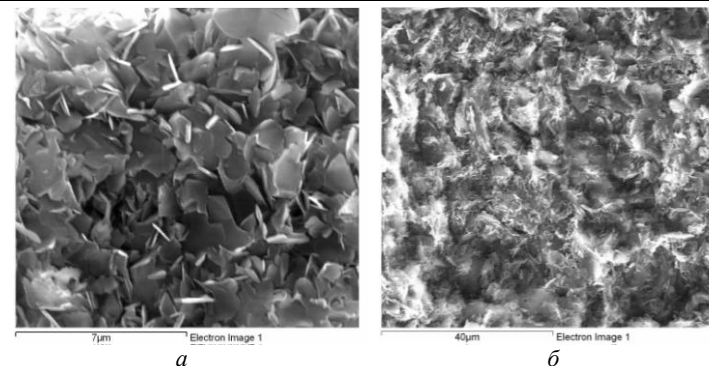


Рис. 3. Поверхности разрушения образцов интерметаллида NiAl_3 , испытанного на растяжение при температурах 293 (а) и 1173 К (б)

Характер зависимости напряжения течения от остаточной деформации при комнатной температуре в области микродеформации (рис. 3) такой же, как и для литых материалов, в том числе со сверхструктурой L1_2 [2]. На кривых $\sigma=f(\gamma_{\text{ост}})$ (рис. 4) также нет никаких особенностей по сравнению с литыми материалами. Напряжение течения с увеличением температуры испытания растет. При температуре жидкого азота образцы обнаруживают наибольшую пластичность (до 19 %), при 293 и 573 К пластичность ниже (12%). Вообще говоря, уменьшение пластичности интерметаллида при повышении температуры хорошо известно [4], минимум приходится на 873 – 1073 К. Разрушение материала происходит сколом под углом 45° к оси образца.

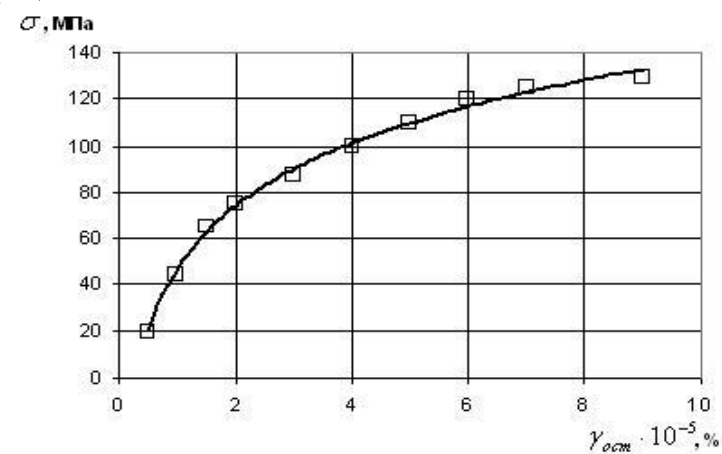


Рис. 3. Зависимость напряжения сдвига от остаточной деформации интерметаллида NiAl_3 в области микродеформации при 293 К.

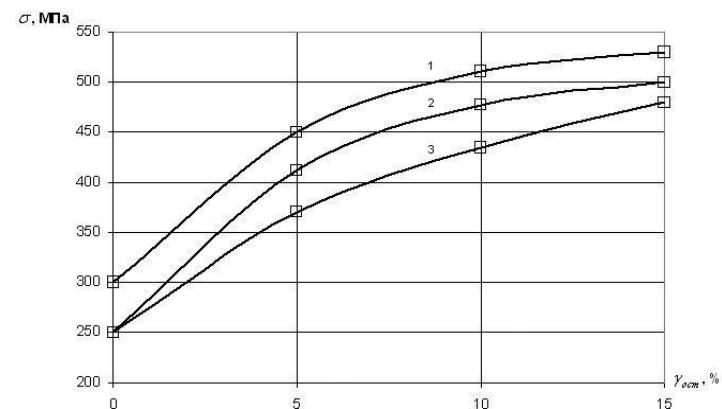


Рис. 4. Зависимость напряжения сдвига от остаточной деформации NiAl₃ в области макродеформации при 573 (1), 293 (2), 77 К (3).

Выводы

Таким образом, методом синтеза в режиме горения с последующим приложением давления к разогретому за счет химической реакции продукту удается получить интерметаллическое соединение NiAl₃ с достаточно высокими механическими свойствами. Проведенные исследования показывают, что имеются потенциальные возможности повышения пластичности и прочности этого материала, например путем направленного легирования.

Использованная литература

1. Серeda Б.П. Исследование влияния фазового состава Ni-Al сплавов на физико-химические свойства скелетных никелевых катализаторов / Б.П. Серeda, Г.Б. Кожемякин, К.В. Савела, Ю.А. Белоконь, В.Г. Рыжков // *Металлургия: сб. науч. трудов. Вып. 20.* – Запорожье, ЗГИА, 2009. – С.112–117.
2. Кашин О.А. Структура и механические свойства образцов интерметаллида Ni₃Al, синтезированного из смеси порошков / О.А. Кашин, Е.Ф. Дударев, В.И. Итин, Е.Г. Федорова, А.Р. Гафаров, И.И. Заяц, Л.А. Корниенко, А.Н. Табаченко // *Порошковая металлургия*, № 1, 1987. – С.71–74.
3. Аоки К. О пластичности интерметаллического соединения Ni₃Al / К. Аоки, О.Идзуми // *Нихон киндзоку гаккайси*, №2, 1977. – С. 170 – 175.
4. Ковальченко М.С. Механические свойства алюминидов титана и никеля, полученных прессованием порошков / М.С. Ковальченко, Ю.Л. Красулин, А.В. Лаптев, С.М. Баринov // *Горячее прессование: Тез. докл. V Всесоюз. н.-т. конф. «Горячее прессование в порошковой металлургии».* – Новочеркасск, 1982. – С. 58.
5. Грейль Е.М. Исследование NiAl и Ni₃Al / Е.М. Грейль // *Механические свойства металлических соединений.* – М., Metallurgizdat, 1962. – 266 с.