ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/217

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ
ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ
АЛЮМИНИДА НИКЕЛЯ И ЦИРКОНИЯ**

Шевцова Л.И., Немолочнов Д.А., Волков Д.С.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

edeliya2010@mail.ru, drakon13chik@mail.ru, astrul@mail.ru

Сплавы на основе Ni_3Al широко используются в качестве высокотемпературных материалов для ряда отраслей химической промышленности, авиационного и космического машиностроения. Помимо сочетания высокого комплекса физико-механических свойств, для интерметаллида Ni_3Al характерной особенностью является аномальная зависимость прочностных свойств от температуры нагрева, что объясняет возможность использования его в качестве самостоятельного жаропрочного материала в авиа- и ракетостроении.

Однако область применения соединения Ni_3Al ограничена его малой пластичностью при температуре окружающей среды и низким сопротивлением ползучести при повышенной температуре. Ранее исследователями было показано, что для повышения пластичности в интерметаллид Ni_3Al вводят малые (0,5-1,0 масс. %) добавки бора [1]. В то же время введение бора приводит к снижению пластичности сплава в интервале температур 300-850 °С за счет формирования борсодержащих эвтектик с пониженной температурой плавления. Длительность и сложность технологических процессов получения изделий из интерметаллидов также ограничивают область применения алюминида никеля. При длительном процессе спекания происходит рост зерна Ni_3Al , который сопровождается снижением механических свойств полученных материалов.

Анализ литературных данных по проблеме пластической деформации и разрушения алюминидов никеля показал, что пластичность и прочность интерметаллида Ni_3Al можно повысить путём добавления циркония [2, 3]. Для формирования заготовок из алюминида никеля с мелкозернистой структурой в последнее время используют технологию электроискрового плазменного спекания (SPS). Достоинствами метода являются кратковременность процесса спекания, равномерность распределения тепла по заготовке и возможность сохранения мелкозернистой структуры спеченного материала [4, 5].

Таким образом, цель данной работы заключается в исследовании влияния циркония на структуру и механические свойства алюминида никеля, полученного с использованием технологии электроискрового плазменного спекания с предварительной механической активацией порошков.

В качестве исходных материалов были использованы порошки никеля, алюминия и циркония. Для спекания были подготовлены смеси следующих составов: монофазный алюминид никеля Ni_3Al и Ni_3Al с добавлением 1 масс. % циркония. Формирование соединения Ni_3Al осуществляли в процессе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Смеси заданного состава подвергались трехминутной механической активации в планетарной шаровой мельнице АГО-2 с центробежным ускорением шаров равным 400 м/с². Спекание полученных механокомпозитов проводилось на SPS-установке Labox-1575 (производство Япония) с использованием токопроводящей графитовой пресс-формы с внутренним диаметром 30 мм. Процесс спекания осуществлялся при температуре 1100 °С и давлении прессования равном 40 МПа. Подробное обоснование выбора режимов спекания представлено в ранее выполненных работах [4, 5]. Для изучения структуры спеченных материалов использовались методы оптической металлографии, растровой электронной микроскопии и рентгенофазового анализа. В качестве основного показателя прочностных свойств материалов использовали величину предела прочности при трехточечном изгибе.

Рентгенофазовый анализ всех материалов после реализации стадий механоактивации и SPS свидетельствует об образовании интерметаллида Ni_3Al . Пики циркония на дифрактограммах спеченных заготовок не были зафиксированы, что связано с его малым

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

содержанием в сплаве. При реализации отмеченных выше режимов спекания микроструктура полученных материалов по всему объему является преимущественно однородной. В структуре образцов отсутствуют макротрещины. Относительная плотность спеченных материалов составляет ~ 97 % (теоретическое значение плотности Ni_3Al принято равным $7,5 \text{ г/см}^3$).

Уровень предела прочности при изгибе спеченной заготовки из алюминида никеля, легированного 1 % циркония, достигает 930 МПа. Это значение превышает прочность спеченного алюминида никеля (790 МПа). Следует отметить, что для интерметаллида Ni_3Al , полученного методом SPS, наблюдается интеркристаллитное разрушение. При добавлении в алюминид никеля 1 % (масс.) циркония характер излома изменяется с интеркристаллитного на смешанный (транскристаллитный и интеркристаллитный). Таким образом, добавление циркония в алюминид никеля благоприятно сказывается на свойствах спеченного материала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00436.

1. Aoki K., Izumi O. Improvement in room temperature ductility of the L_{12} type intermetallic compound Ni_3Al by boron addition // Journal of Japan Institute of Metals. 1979. Vol. 43. P. 1190–1196.
2. Li D., Gu Y., Guo J. Effect of zirconium on mechanical properties and grain boundary chemistry in Ni_3Al alloys // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 1995. Vol. 364. P. 885–890.
3. Hyjek P., Sulima I., Wierzbński S. Ductilization of Ni_3Al by alloying with boron and zirconium // Archives of Materials Science and Engineering. 2009. Vol. 40. No. 2. P. 69–74.
4. Shevtsova L.I., Bataev A.A., Mali V.I., Esikov M.A., Sun Shin Yan V.V., Nemolochnov D.A., Zimoglyadova T.A. The effect of preliminary mechanical activation on the structure and mechanical properties of $\text{Ni}_3\text{Al}+\text{B}$ material obtained by SPS // Key Engineering Materials. 2017. Vol. 743. P. 19–24.
5. Шевцова Л.И. Структура и механические свойства интерметаллида Ni_3Al , полученного по технологии искрового плазменного спекания механически активированной порошковой смеси // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2014. № 3 (64). С. 21–27.