

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВОГО КОМПОЗИТА «АЛЮМИНИД НИКЕЛЯ – НИКЕЛЬ», ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Шевцова Л.И., Плехотко Е.В., Шевцова К.Е.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Батаев А.А.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск
edeliya2010@mail.ru

Проведены исследования структуры и механических свойств порошкового композита «алюминид никеля – никель», полученного методом искрового плазменного спекания (SPS) порошков алюминид никеля и никеля в массовом соотношении компонентов 7:3. Микроструктура спекённого материала представляет собой никелевую матрицу с равномерно распределёнными шарообразными частицами алюминид никеля. Установлено, что спекённый композит «алюминид никеля – никель» обладает высоким уровнем предела прочности при изгибе, который составляет 1900 МПа.

Введение

Интерметаллид Ni_3Al является основной фазой никелевых жаропрочных сплавов благодаря сочетанию таких свойств, как жаропрочность, стойкость к окислению и коррозии при повышенных температурах, а также высокой температурой плавления (1395 °С) и относительно низкой плотностью (7,5 г/см³)[1,2]. Однако при комнатной температуре для данного интерметаллида характерными являются повышенная хрупкость и длительность процесса изготовления готовых изделий[1,2]. В данной работе для повышения пластичности алюминид никеля предлагается использовать два подхода. Первый подход основан на введении в хрупкий интерметаллид Ni_3Al частиц пластичного никеля. Второй подход заключается в изготовлении композита «алюминид никеля – никель» с использованием технологии искрового плазменного спекания (SPS). Анализ литературных данных свидетельствует о том, что SPS-спекание является эффективным методом получения интерметаллидов и композиционных материалов на их основе. Более подробная информация о данном процессе описана в работах[3-7].

Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов были использованы порошки ПН85Ю15 (основная фаза Ni_3Al) и ПНК УТ3 (Ni). Средний размер частиц составлял 80 мкм и 5 мкм соответственно. Для получения композита порошки были взяты в соотношении 70 % (масс.) ПН85Ю15 и 30 % Ni. Для формирования однородной порошковой смеси исходные компоненты перемешивали в планетарно-шаровой мельнице FritchPulverisette 6 в течение 6 часов в жидкой среде на основе изопропилового спирта.

Подготовленную порошковую смесь спекали на установке для проведения искрового плазменного спекания Labox-1575. Спекание проводили по следующему режиму: температура спекания составляла 1100 °С, давление прессования было равным 40 МПа, время выдержки – 5 минут. В результате спекания был получен цилиндрический образец диаметром 30 мм и толщиной 5 мм. Оптимальные режимы искрового плазменного спекания были определены нами в работе [8].

Структуру спечённого материала исследовали с использованием оптического микроскопа типа CarlZeissAxioObserver Z1m и растрового электронного микроскопа типа CarlZeiss EVO 50 XVP. Оценку фазового состава проводили с использованием рентгеновского θ - θ дифрактометра ARL X'TRA.

Для оценки прочностных свойств проводили испытания на трёхточечный изгиб. Механические испытания выполняли при комнатной температуре на установке Instron 3369. Скорость перемещения траверсы составляла 0,5 мм/мин. Плоские образцы для изгиба размерами 3x4x20 мм вырезали на установке электроэрозионной резки Sodick AG 400L.

Результаты и их обсуждение

Методами рентгенофазового анализа спечённого порошкового композита были зафиксированы две фазы - Ni_3Al и Ni . В то время как для спечённого порошка ПН85Ю15 без добавления никеля, обнаружены два типа алюминидов - Ni_3Al и $NiAl$. Анализ металлографических исследований спечённого композита свидетельствует о том, что структура материала представляет собой никелевую матрицу с равномерно распределёнными в ней шарообразными частицами алюминида никеля. При реализации отмеченных выше режимов спекания микроструктура спечённого композита по всему объёму является однородной. В структуре образца такие виды дефектов, как крупные поры или трещины, не обнаружены.

Предел прочности при изгибе композиционного материала «алюминид никеля – никель» в соотношении компонентов 7:3 равен 1900 МПа. Такое значение более чем в два раза превышает предел прочности спечённого порошка ПН85Ю15 (890 МПа).

Результаты фрактографических исследований спечённого порошка ПН85Ю15 после испытаний на изгиб свидетельствуют о доминировании интеркристаллитного характера разрушения. Такой тип разрушения соответствует хрупкому алюминиду никеля. Добавление в порошковую смесь 30 % никеля способствует повышению пластичности спечённого композита. Благоприятное влияние никеля на пластичность спечённых материалов обусловлено сменой механизмов разрушения образцов. Результаты фрактографического анализа спечённого композита (ПН85Ю15 - Ni) соответствуют смешанному характеру излома. При добавлении в порошковую смесь никеля в материале уменьшается доля хрупкого излома, соответствующего разрушению сферических частиц интерметаллида.

Разрушение преимущественно происходит через микрообъемы никеля и по границам между никелевой матрицей и интерметаллидными частицами.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что добавление в порошковую смесь, содержащую хрупкий алюминид никеля, мелких частиц пластичного никеля благоприятно влияет на пластичность и прочностные свойства при комнатной температуре спечённого материала. SPS-технология позволяет получать бездефектные композиты на основе алюминида никеля с высокими показателями прочностных свойств. Предел прочности при изгибе композита «алюминид никеля – никель», полученного SPS-спеканием порошковой смеси ПН85Ю15 и никеля в массовом соотношении 7:3, составляет 1900 МПа. Это более чем в два раза превышает значение прочности композита, в состав которого никель не вводился.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. S.C. Deevi, V.K. Sikka. Nickel and iron aluminides: an overview on properties, processing, and applications // *Intermetallics*. – 1996. – No 4. – P. 357–375.

2. Гринберг Б.А., Иванов М.А. Интерметаллиды Ni_3Al и $TiAl$: микроструктура, деформационное поведение. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 360 с.

3. M.Tokita. Trends in Advanced SPS (Spark Plasma Sintering) Systems and Technology // *J. Soc.Powd. Tech. Japan*. – 1993. – V.30. – No 11. – P. 790–804.

4. D. Hulbert, D. Jiang, D. Dudina, A. Mukherjee, The synthesis and consolidation of hard materials by spark plasma sintering, *Inter. J. of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2009. – V. 27. – No 2. – P. 367-375.

5. J. S. Kim, H. S. Choi, D. Dudina, J. K. Lee, Y. S. Kwon, Spark Plasma Sintering of nanoscale (Ni+Al) powder mixture, *Solid State Phenomena*. – 2007.– No 119. – P. 35-38.

6. L.I. Shevtsova, V.I. Mali, A.A. Bataev, I.A. Bataev, D.S. Terent'ev, V.S. Lozhkin, Structure and properties of composite materials "aluminum-nickel aluminide" produced by the SPS method, *The 8 international for umon strategic technologies (IFOST)*. – 2013. – No 1. – P. 187-189.

7. L.I. Shevtsova, M.A. Korchagin, A. Thömmes, V.I. Mali, A.G. Anisimov, S.Yu. Nagavkin. Spark plasma sintering of mechanically activated Ni and Al powders // *Adv. Materials Research*. – 2014. – V. 1040. – P. 772-777.

8. Шевцова Л.И., Батаев И.А., Мали В.И., Анисимов А.Г., Лазуренко Д.В., Самейцева Т.С. Влияние температуры нагрева на структуру и механические свойства материала, полученного искровым плазменным спеканием порошка ПН85Ю15 // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты*. – 2003. - № 4 (61) – С. 35-42.