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: 10.17223/9785946218412/347

СТРУКТУРА ЖЕЛЕЗНИКЕЛЕВЫХ ИНВАРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СПЕКАНИЕМ ПОРОШКОВ

Абдульменова Е.В., Кульков С.Н.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

Существуют разные методы получения железоникелевых инваров, среди которых порошковая металлургия, которая имеет ряд преимуществ по сравнению с получением сплавов методом литья [1, 2]. Известно [3], что методами порошковой металлургии можно получать сплавы различного состава из порошков чистых металлов, в том числе композиты, однако информации о возможности получения железоникелевых инваров при спекании из смеси порошков Fe и Ni в литературе не достаточно. Тем не менее, данные исследования принципиально важны для развиваемых в настоящее время 3D технологий и инъекционного формования [4, 5], т.к. это позволит синтезировать образцы с требуемым составом.

Промышленные порошки железа и никеля марок ВМ и ПНК-УТ, соответственно, смешивались в механическом смесителе типа «пьяная бочка». Содержание никеля в исходных смесях варьировалась от 30 до 40 % масс. Прессование образцов производили на гидравлическом прессе методом холодного одностороннего прессования при давлении 125 МПа. Спекание образцов проводили в вакуумной печи СНВЭ 1.3.1/16 при температурах 1300 °С и 1350 °С с выдержкой 1 час. Металлографический анализ проводился на микроскопе марки Лабомет-И. Рентгенограммы получены с помощью рентгеновского дифрактометра с фильтрованным медным излучением. Микротвердость H_{μ} спеченных образцов измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н и методом наноиндентирования H_n на приборе NanoIndenter G200/XP при нагрузке 0,4 Н. Для расчета модуля Юнга из данных наноиндентирования использовалось значение коэффициента Пуансона для инварного сплава 0,25 [6]. Дилатометрические испытания проводилось на дилатометре «DIL 402 PC» фирмы NETZSCH.

На рис. 1 представлена типичная структура (а) и рентгенограмма (б) спеченного образца из смеси порошков Fe – 35 % масс. Ni при температуре спекания 1300 °С. Видно (рис 1, а), что в структуре видны поры, в зернах присутствуют двойники, которые характерны γ -фазе инвара [7]. Во всех сплавах после спекания (рис 1, б) формируется фаза с гранецентрированной кубической структурой. В сплавах, содержащих до 35% никеля присутствует остаточная α -фаза с объёмноцентрированной кубической структурой, ее содержание составляет не более 5 %, что согласуется с литературными данными [7]. Возможно, наличие ГЦК-ОЦК состояния обусловлено возникновением концентрационной неоднородности вследствие относительно большого размера порошков.

Рис. 1. Типичная структура (а) и рентгенограмма (б) спеченных образцов из смеси порошков с содержанием никеля от 30 до 40 % масс. при температуре спекания 1350 °С.

Секция 7. Аддитивные технологии формирования материалов, изделий и конструкций с иерархической структурой

На рис. 2 представлены зависимости параметров решеток γ -фазы от содержания никеля в исходной смеси при обеих температурах спекания. Видно, что параметры решетки сплавов возрастают до 37 % масс. Ni, а при дальнейшем увеличении содержания никеля в смеси не изменяются, что хорошо согласуется с литературными данными [8].

При температурах спекания 1300 °C и 1350 °C модуль Юнга возрастает с ростом содержания никеля, максимальные значения которого составляет 105 ± 15 ГПа и 125 ± 20 ГПа, соответственно. Измеренные значения модуля входят в интервал значений полученных в литературе [6, 9]. Твердость образцов, спеченных при обеих температурах, измеренная двумя методами составляет $1,0 \pm 0,2$ ГПа, что хорошо коррелирует со значением H_c ковального сплава Invar36 [10], которое составляет 1,3 ГПа.

Измеренный коэффициент термического расширения образца Fe-35 % масс. Ni, спечённого при температуре 1350 °C, в интервале 0 – 150 °C и 300 – 500 составляют $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ и $15,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, соответственно. Эти значения хорошо коррелирует с литературными данными для инварных сплавов [11].

Рис. 2. Параметры решеток γ -фазы в зависимости от содержания никеля в исходной смеси при температурах спекания 1300 и 1350 °C

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-48-700039 p_a.

1. Chang I., Zhao Y. Advances in powder metallurgy: Properties, processing and applications Woodhead Publishing Limited. 2013. 604 p.
2. Кипарисов С. С. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1980. 496 с.
3. Оглезнева С.А., Саенков К.Л., Гревнов Л.М. Исследование физико-механических свойств и температур фазовых превращений порошковых Fe–Ni-сплавов // Вестник ПНИПУ. 2017. № 3. С. 34 – 48.
4. German R. Metal powder injection molding (MIM): key trends and markets. Handbook of metal injection molding. Woodhead Publishing Limited. 2012. P. 1 – 12.
5. Petzoldt F. Current status and future perspectives of the MIM technology // Ceram. Forum Int. 2012. № 89. P. 11–15.
6. Корицкий Ю. В. Справочник по электротехническим материалам. Л.: Энергоатомиздат. 1988. Т. 3. 726 с.
7. Hidalgo J., Jiménez-Morales A., Barriere T. et al. Mechanical and functional properties of Invar alloy for μ -MIM // Powder Metallurgy. 2014. № 2. P. 127-136.
8. Chamberod A., Laugier J., Penisson J. M. Electron irradiation effects on iron-nickel invar alloys // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 1979. № 10. P. 139-144.
9. Davies J.R. Special-Purpose Nickel Alloys. ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt and their Alloys. ASM International. 2000. 421 p.
10. Clobberly W.H. Properties and selection – nonferrous alloys and pure metals. ASM Metals handbook. Vol. 2. 1979. ASM International. 3470 p.
11. Лившиц Б. Г., Крапошин В. С., Линецкий Я. Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Металлургия. 1980. 320 с.