

### СИНТЕЗ ЖЕЛЕЗНИКЕЛЕВЫХ ИНВАРОВ ДЛЯ МИМ-ТЕХНОЛОГИЙ

Е.В. Абдульменова, О.Ю. Ваулина, С.Н. Кульков

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. С.Н. Кульков

Томский политехнический университет, ИФПМ СО РАН

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050; пр. Академический, 2/4,

E-mail: [eva5@tpu.ru](mailto:eva5@tpu.ru)

### SYNTHESIS OF IRON-NICKEL INVARIES FOR MIM-TECHNOLOGIES

E.V. Abdulmenova, O.Yu. Vaulina, S.N. Kulkov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. S.N. Kulkov

National Research Tomsk Polytechnic University, ISPMS SB RAS

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050; Academic str., 2/4

E-mail: [eva5@tpu.ru](mailto:eva5@tpu.ru)

**Abstract.** *The work studied formation of the structure and physicomechanical properties in iron-nickel invar alloys obtained by sintering powders. The sintering of Fe and Ni powders leads to the formation of the face centered structure with the lattice parameters, which correspond to invar compositions. The significant microdistortions in the alloy are formed, apparently due to the formation of concentration inhomogeneity with increase of the sintering temperature. The phase with a body centered structure released with sintering of the system. It is shown that the minimum pore size corresponds to a concentration of 36 mass. % Ni and is 11  $\mu\text{m}$  at 1300 °C and 15  $\mu\text{m}$  at 1350 °C. Sintered invar alloys have a comparable microhardness value, compared with the literature data, and equal to 1215 MPa (Fe-36 % mass. Ni at  $T_s = 1350$  °C).*

**Введение.** Изделия, изготовленные методом порошковой металлургией, имеют ряд технологических преимуществ перед изделиями полученными методом литья. В частности это экономия расходного материала, сокращение технологических операций (экономия времени изготовления изделий), получение миниатюрных изделий и изделий сложной геометрической формы [1]. Это приводит к значительной дешевизне готового продукта без потери физико-механических свойств [2]. Рост потребности в деталях из сплавов с заданными тепловыми свойствами, в частности инварных сплавов [3, 4] обуславливает необходимость проведения исследований синтеза подобных материалов из отдельных порошков в определённом соотношении. Такие исследования необходимы для развиваемых в настоящее время 3D и МИМ технологий. Однако информации о влиянии морфологии поверхности порошков, спекание и формирование необходимых физико-механических свойств, например КЛТР в литературе недостаточно, особенно для полученных инварных сплавов методом спекания порошков железа и никеля.

Цель работы – изучить формирование структуры и физико-механические свойства железоникелевых инварных сплавов, полученных спеканием порошков.

**Материалы и методы исследования.** Промышленные порошки Fe и Ni (30-30 % масс. Ni), марок ВМ и ПНК-УТ1, смешивались в механическом смесителе типа «пьяная бочка». Формование образцов для спекания смесей производили на гидравлическом прессе методом холодного одностороннего прессования ( $P=125$  МПа). Спекание образцов проводили в вакуумной печи СНВЭ 1.3.1/16 при температурах 1300°C и

1350 °С. Металлографический анализ проводился при помощи металлографического микроскопа марки Лабомет-И. Фазовый состав изучен с помощью дифрактометра с фильтрованным  $\text{CuK}_\alpha$  излучением. Микротвёрдость спечённых образцов измерялась на приборе ПМТ-3 ( $P=100$  г).

**Результаты и их обсуждение.** После спекания порошков (1300 °С) Fe и Ni формируется  $\gamma$ -фаза с ГЦК структурой, характерной для  $\text{Fe}_x\text{Ni}_{1-x}$  с параметром кристаллической структуры 3,596 Å [5], что согласуется с литературой [6]. При более высокой температуре формируется двухфазное состояние с образованием второй ОЦК-фазы, параметр решётки  $2,8611 \cdot 10^{-10}$  Å [5, 6].

На рисунке 1 представлена структура образца состава Fe-35 % масс. Ni, спечённого при 1300°С (а). Для сравнения представлено СЭМ-изображение структуры сформированной в работе [6] (б). Видно, что при спекании порошков Fe и Ni формируется пористая структура. Видны двойники, которые характерны  $\gamma$ -фазе с ГЦК структурой, параметры которой соответствуют Fe – Ni инвару. Рентгенофазовым анализом обнаружена ОЦК фаза, аналогично [5, 6], содержание которой не более 5 %, на металлографических снимках не видно. Минимальный размер пор соответствует концентрации 36 % масс. Ni и составляет 11 мкм при 1300 °С и 15 мкм при 1350 °С.

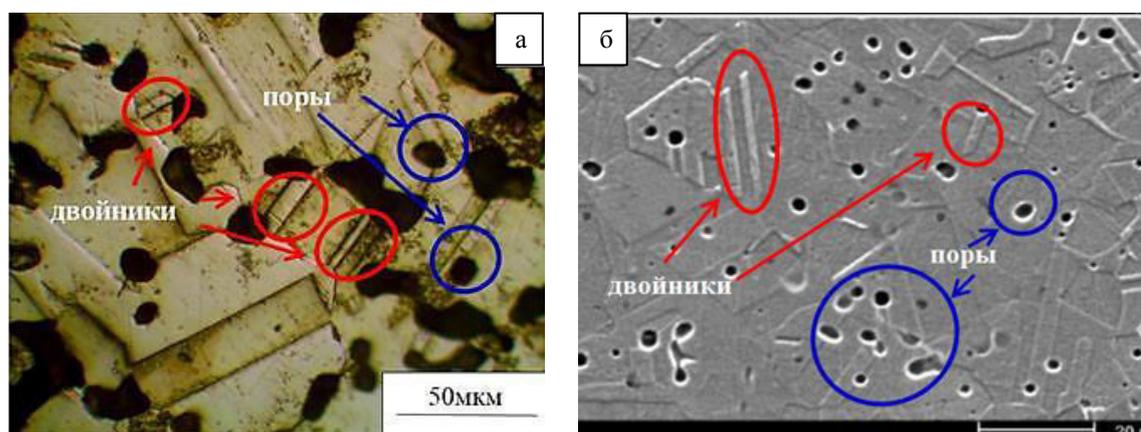


Рис. 1. Структура спеченного образца из порошковой смеси (Fe-35 % масс. Ni) при температуре спекания 1300 °С; б - СЭМ-изображение структуры сформированной в работе [6]

Для оценки механических свойств, спеченных образцов, проводили измерение микротвердости, результаты измерений представлены в таблице 1. Для сопоставления результатов в таблице приведены значения микротвёрдости взятые из литературных данных [7-8]. При изменении концентрации Ni, микротвёрдость изменяется незначительно и сопоставима с литературными данными [6, 8], однако уступает значению из работы [4], где микротвёрдость больше примерно в 2 раза. Это обусловлено, по-видимому, тем, что образцы получены методом равноканального углового прессования. В связи с этим, происходит значительное уменьшение зерна и увеличение плотности дефектов кристаллической структуры, что значительно упрочняет материал.

**Заключение.** Таким образом, методом спекания порошков Fe и Ni получен железоникелевый инварный сплав с ГЦК структурой, параметры кристаллической ячейки которой соответствуют инварным составам. Полученные данные позволят обеспечить синтез изделий методами 3D и МИМ технологиями с направленным варьированием свойств.

Таблица 1

Микротвёрдость (<math>\langle HV \rangle</math>) спеченных образцов при разной концентрации никеля в порошковой смеси

|  |             |
|--|-------------|
| Микротвёрдость образцов при температуре спекания 1350 °С | 1019±96     |
| Микротвёрдость образцов при температуре спекания 1300 °С | 1000±77     |
| Литературные данные                                      |             |
| Invar 36 ЕСАР 12 passes, МПа [7]                         | 2600        |
| Инвар 36 [6]   | 1200 и 1700 |
| Wrought Invar 36 [8]                                     | 1300        |

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-48-700039 p\_a.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. German R.M. Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing. – Metal Powder Industries Federation, 2005, Princeton, New Jersey. – 528 p.
2. Кипарисов С.С. Порошковая металлургия. – М.:Металлургия, 1980. – 496 с.
3. Maslyuk V.A., Panasyuk O.A. and Vlasova O. V. Production and study of physicotchnological and magnetic properties of iron-nickel alloy powders // Powder Metall. Met. Ceram. – 2003. – 42. – P. 536–539.
4. Чукин М.В., Голубчик Э.М. Гун Г.С. и др. Исследование физико-механических свойств и структуры высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2014. – №1. – С. 43 – 47.
5. Абдульменова Е.В., Ваулина О.Ю., Кульков С.Н. Структура инварных сплавов, полученных спеканием порошков // Международная научно-техническая молодежная конференция «Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения». – 2018. – с. 28-29.
6. Hidalgo J., Jiménez-Morales A., Barriere T., Gelin J. C. & Torralba J. M. Mechanical and functional properties of Invar alloy for  $\mu$ -MIM // Powder Metallurgy. – 2014. – VOL 57. – № 2. – p. 127-136.
7. Vinogradov A, Hashimoto S and Kopylov V. I. Enhanced strength and fatigue life of ultra-fine grain Fe–36Ni Invar alloy // Mater. Sci. Eng.A. – 2003. – 277–285.
8. ASM: in ‘Metals hadbook’, Vol. 2, ‘Properties and selection – nonferrous alloys and pure metals’; 1979, Metals Park, OH, ASM.