

СТРУКТУРА ЖЕЛЕЗНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИНЖЕКЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ

*Е.В. Абдульменова, инженер,
О.Ю. Ваулина, к.т.н., доцент,
С.Н. Кульков, д.ф.-м.н., профессор*

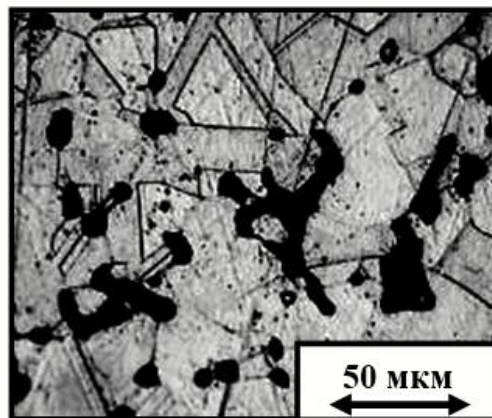
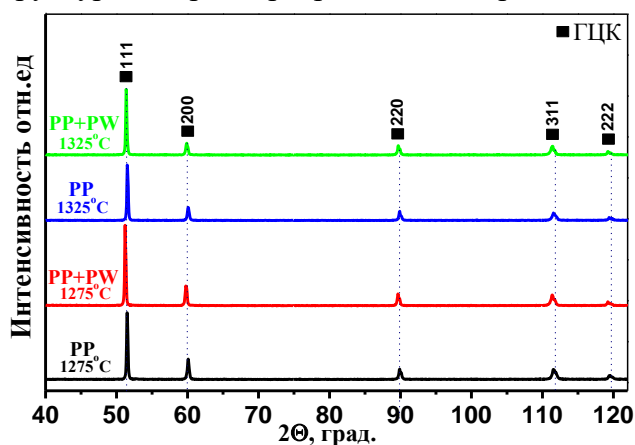
*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г. Томск,
просп. Академический, 2/4,
тел. +7(903)-950-60-42*

E-mail: Ekaterina.V.Abdulmenova@yandex.ru

Инварный сплав является одним из важнейших материалов для прецизионных измерений для развития науки и техники за счёт аномально малого коэффициента теплового расширения (КТР) в широком диапазоне температур [1]. В настоящий момент быстрое развитие аддитивного производства и ММ-технологий (инжекционное формование) обеспечивает возможность изготовления высокоточных изделий миниатюрного размера [2]. Тем не менее вопрос о получении инварных сплавов данными методами с высокими физико-механическими свойствами и с сохранением низкого КТР остаётся открытым. Цель работы – изучить структуру железоникелевых сплавов, полученных методом инжекционного формования.

Методом инжекционного формования были подготовлены фидстоки на основе промышленных порошков Fe и Ni марок ВМ и ПНК-УТ, соответственно. Состав металлического компонента – 35 % масс. Ni и 65 % масс. Fe, состав связующих компонентов – низкомолекулярный парафин (PW) и высокомолекулярный полипропилен (PP) [3]. Полученные образцы прессовались при 150 МПа. После предварительного термического удаления связующего в вакуумной печи проводили спекание при температурах 1275 °С и 1325 °С, изотермическая выдержка составляла 2 ч. Металлографический анализ проводился на оптическом микроскопе. Рентгенограммы получены с помощью рентгеновского дифрактометра с фильтрованным медным излучением. Микротвёрдость спечённых образцов измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н. Дилатометрические испытания проводилось на дилатометре.

На рис. 1 а, приведены рентгенограммы сплавов, полученных из фидстоков с разными связующими при разных температурах спекания. Видно, что поле спекания сформировалась структура инварного сплава состоящая из γ -фазы с гранецентрированной кубической (ГЦК) структурой, параметры решёток которых соответствуют литературным данным [4].



(а)

(б)

Рис. 1. Рентгенограммы сплавов, полученных из фидстоков с разными связующими при разных температурах спекания (а). Типичная микроструктура сплава после травления поверхности (PP+PW, 1275 °С) (б)

Типичная микроструктура сплава после травления поверхности (PP+PW, 1275 °С) приведена на рис. 1 б. Видно, что сформировалась пористая структура, видны двойники, которые характерны γ -фазе с ГЦК структурой. С увеличением температуры спекания пористость всех образцов снижалась, при этом наименьшая пористость наблюдалась в сплаве, полученного из фидстока со связующим PP 2,7 %. Средний размер γ -фазы не зависел от температуры спекания и вида связующего и в среднем составлял 21 мкм, среднеквадратичное отклонение 8 мкм. Наибольшая микротвёрдость получена в сплавах со связующим PW+PP, при этом с увеличением температуры спекания с 1275 °С до 1325 °С микротвёрдость увеличивалась с $0,7 \pm 0,1$ ГПа до $0,8 \pm 0,1$ ГПа, соответственно. По-видимому, большая микротвёрдость в сплавах, полученных из фидстока со связующим PP+PW обусловлена содержанием большего количества цементита, образованного в результате сгорания PP+PW.

На рис. 2, приведена типичная зависимость изменения длины от температуры для сплава с минимальным КТР (α_1 и α_2), полученного из фидстока со связующим PP+PW при температуре 1325 °С. Видно, что кривая – не линейная, и можно выделить два участка – с температурами в интервалах от 0 °С до ~ 200 °С и от ~ 200 °С до 450 °С, это связано с тем, что инварные сплавы имеют разные КТР на разных температурных участках. Измеренные значения микротвёрдоты и КТР входят в интервал значений, известных из литературных данных [4, 5]

Таким образом, методом инжекционного формования были получены сплавы с гранцентрированной кубической структурой, параметры решётки которых соответствуют инварным составам. Установлено, что пористость сплава значительно зависит как от температуры спекания, так и от связующего компонента, в то время как размер зерна при этом постоянен и составляет 21 мкм. Полученная микротвёрдость и КТР советуют литературным данным, что позволяет синтезировать инварные образцы сложной геометрической формы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-48-700039 р_а.

Список литературы:

1. Maslyuk V. A., Panasyuk O. A., Vlasova O.V. Physical, technological and magnetic properties of powder iron–nickel alloys. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2003. – № 42. – P.536–539.
2. Wei K., Yang O., Ling B., et al. Mechanical properties of Invar 36 alloy additively manufactured by selective laser melting // Materials Science & Engineering A. – 2020. – V. 772. – 138799.
3. Darenskaia E. A., Vaulina O. Yu., Myachin Yu.V., Kulkov S.N. Influence of binding composition on the structure and properties of steel work-pieces obtained by injection moulding // Materials Science and Engineering – 2017. – V. 175. – 012035.
4. 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.
5. Konov D. A., Mosunov A.S., Adamov G.V., et al. Angular dependence of sputtering for nickel in ferro- and paramagnetic states // Vacuum. – 2002. – P. 47-53.

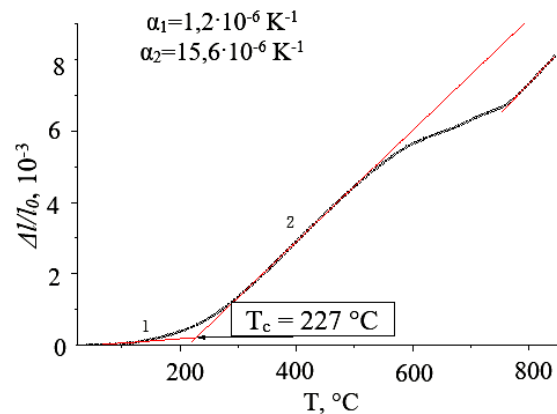


Рис. 2. Типичная зависимость изменения длины от температуры сплава, полученного из фидстока со связующим PP+PW при температуре 1325 °С