

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ Fe-Ni НА СТРУКТУРУ СПЕЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ

М.А. ПАРАМОНОВА<sup>1</sup>, Е.В. ИГНАТЕНЯ<sup>2</sup>, О.Ю. ВАУЛИНА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

<sup>2</sup>Областное государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение "Томский экономико-промышленный колледж"

E-mail: [maria-kolesova1@mail.ru](mailto:maria-kolesova1@mail.ru)

Композиция железа и никеля, получила название инвар. Данный сплав обладает удивительным свойством - низким коэффициентом теплового расширения в широком диапазоне температур. Однако, изделия, полученные литейным способом, обладают низкими механическими свойствами. Следовательно, повысить свойства порошкового инвара можно путем упрочнения исходных частиц (например, механической активацией [1, 2]) или путем введения в порошковую смесь упрочняющих частиц [3].

**Материалы и методы исследования.** В работе была исследована порошковая смесь железа и никеля состава 36% никеля и 64% железа. Часть порошка была подвергнута механической активации в планетарной мельнице - активаторе "АГО-2" в течении 60 секунд, остальная использовалась в исходном состоянии. Исследовали две партии образцов: образцы из исходного порошка и образцы из предварительно механически активированного порошка, давление прессования составляло 390 МПа. Порошковую композицию подвергали тепловому прессованию, предварительно нагревая пресс-форму до 100°C и спеканию при температуре 1300°C в течении 2 часов в вакууме. Структуру образцов исследовали с помощью оптического микроскопа Лабомет-И и электронно-растрового микроскопа. Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3.

На рисунке 1 представлены РЭМ-изображения исходного и механически активированного порошка. Порошок инвара неоднороден по размеру и по форме частиц. Встречаются как крупные, так и мелкие частицы (красный контур). Большинство частиц имеют сферическую форму (синий контур) и можно наблюдать частицы округлой формы (жёлтый контур). Однако, в порошке после 60 секунд активации начинают образовываться агломераты (фиолетовый контур).

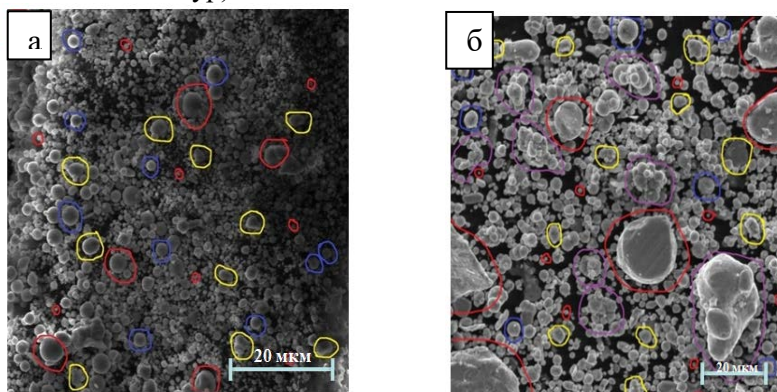


Рисунок 1 – РЭМ-изображения порошков Fe-Ni: а) исходный, б) после механической активации в течение 60 секунд

При механической активации порошка инвара в течение 60 секунд средний размер частиц увеличивается в 2 раза ( $(2,2 \pm 0,3)$  мкм) по сравнению с исходным порошком ( $(1,3 \pm 0,2)$  мкм). Средняя усадка по объему для исходных образцов составила  $(27 \pm 2)$  %. Образцы из предварительно активированного порошка в течение 60 секунд –  $(31 \pm 3)$  %. Средний диаметр пор у исходных образцов составил  $(16 \pm 3)$  мкм, для образцов из механоактивированного порошка –  $(5 \pm 1)$  мкм.

Для металлографического исследования поверхность образцов подвергли травлению «царской водкой». На рисунке 2 представлены микроструктуры образцов. Из рисунков

видно, что структура спеченных образцов довольно однородная. На структурах видны двойники, что характерно для аустенитной структуры. Средний размер зерна уменьшился после механической активации. Для исходных образцов при давлении прессования 390 МПа он составил  $(37 \pm 3)$  мкм, у образцов из механоактивированного порошка –  $(21 \pm 2)$  мкм.

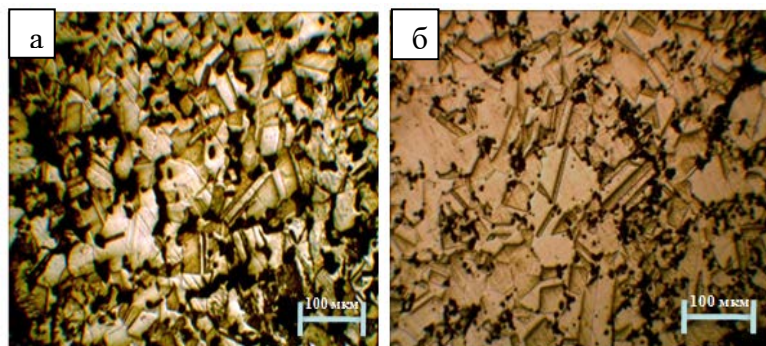


Рисунок 2 - Структура поверхности образцов после травления: а) образец из исходного порошка, б) образец из механоактивированного порошка

Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3. Предварительная механическая активация порошка привела к повышению микротвердости спеченных образцов до  $(1662 \pm 18)$  МПа, что 1,7 раз выше, чем у исходных образцов  $(956 \pm 23)$  МПа.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что лучшими физическими свойствами обладают образцы, изготовленные из порошка инвара предварительно механоактивированного в течение 60 секунд.

#### Список литературы

1. Vaulina, O. Y., Darenskaya, E. A. [et al.] (2017). Influence of mechanical activation of steel powder on its properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 175(1), [012038]. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/175/1/012038>
2. Хань Лян, Ваулина О. Ю. Влияние механической активации на свойства и морфологию порошка инвара // VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов» - 2018. - С. 108-112
3. Гюлиханданов Е.Л. Механохимический синтез высоколегированных порошковых сплавов системы Fe-Cr-Ni-Mn-N // Перспективные материалы. - 2011. № 13. - С. 742– 745.
4. Дегтярева Е.В., Масалитина М.М. и др. Исследование влияния упрочняющих частиц карбида титана, введенных в порошковую композицию Fe-Ni на структуру и свойства спеченных изделий // Современные материалы и технологии новых поколений: сборник научных трудов II Международного молодежного конгресса - 2019. -С. 27-29