

7. Ли Сяоянь. Получения наночастиц оксида цинка из суспензий различными способами // III Международной научно-практической конференции научная инициатива иностранных студентов и аспирантов ТПУ - Томск. – 2023. –Р. 521.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ И СПЕЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ СИСТЕМЫ Fe-C-Cr

ЛЯН ИЧЭН<sup>1</sup>, Е ЯНЬСУН<sup>1,2</sup>, О.Ю. ВАУЛИНА<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Шеньянский политехнический университет

E-mail: [ichen3@tpu.ru](mailto:ichen3@tpu.ru)

Изделия, изготавливаемые технологией порошковой металлургии, рассматриваются в настоящее время в качестве перспективных конструкционных материалов в области материаловедения [1, 2]. Данным методом можно получать изделия, которые достаточно сложно или нельзя изготовить другим методом [3, 4].

Целью работы является изучение характеристик исходных порошков, порошковой композиции и спеченных образцов формованных при давлении 500 и 750 МПа.

Сначала были исследованы исходные порошки и порошковая композиция. Состав порошковой смеси составляет 98,6 % порошка железа марки ВМ, 0,4 % порошка углерода и 1 % порошка хрома марки ПХ- 1С. Порошки смешивались в универсальном смесителе типа «пьяная бочка» в течение 24 часов.

РЭМ указанных порошков, а также порошковой композиции представлены на рисунке 1. Частица железа имеют сферическую форму, средний размер составил  $3,1 \pm 0,4$  мкм. Частицы хрома наряду со сферичной формой имеют и неправильную, угловатую форму, средний размер частиц хрома больше, чем у железа и составил  $7,2 \pm 0,3$  мкм. Порошок относится к категории весьма тонкой зернистости [5]. В композиции больше частиц сферичной формы, средний размер составил  $4 \pm 0,5$  мкм

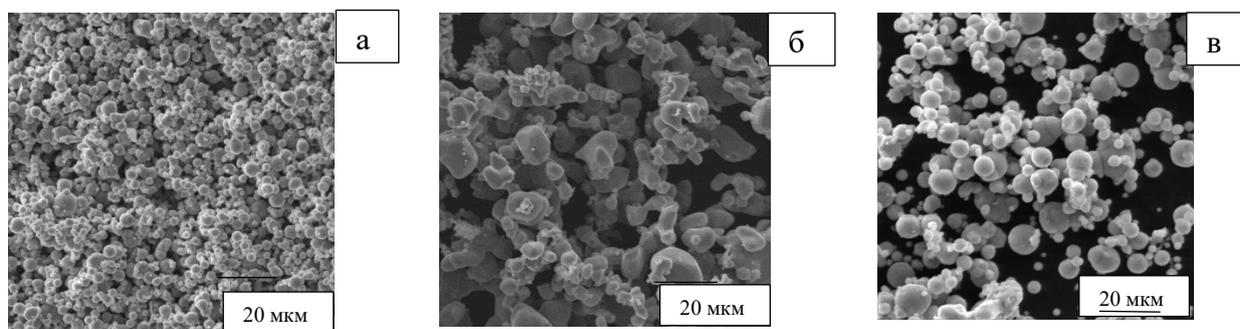


Рисунок 1 – РЭМ-изображения порошков железа и хрома:

а) порошок железа марки ВМ, б) порошок хрома марки ПХ- 1С, в) порошковая смесь

Результаты измерения насыпной плотности и ситового анализа для порошка железа, порошка хрома и порошковой композиции 98,6 %Fe-0,4 %C-1 %Cr представлены в виде гистограмм на рисунке 2. Видно, что насыпная плотность порошка железа меньше, чем у порошка хрома на 12 %. По результатам ситового анализа видно, что наибольший суммарный выход всех порошков составил фракцию 63-80 мкм. Есть небольшой выход крупной фракции и для всех порошков составил примерно 13 %.

Затем порошковая композиция формовалась при двух режимах 500 и 750 МПа, плотность образцов после спекания составила  $11,0 \pm 0,3$  и  $12,5 \pm 0,3$  г/см<sup>3</sup> соответственно. Спекания образцов проводили при температуре 1300 °С в течение 2 часов. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе «Лабомет-И». Исследование нетравленной полированной поверхности образцов, рисунок 3 а и б, позволяют оценить наличие пор, их количество, размер, форму и распределение в объеме изделия.

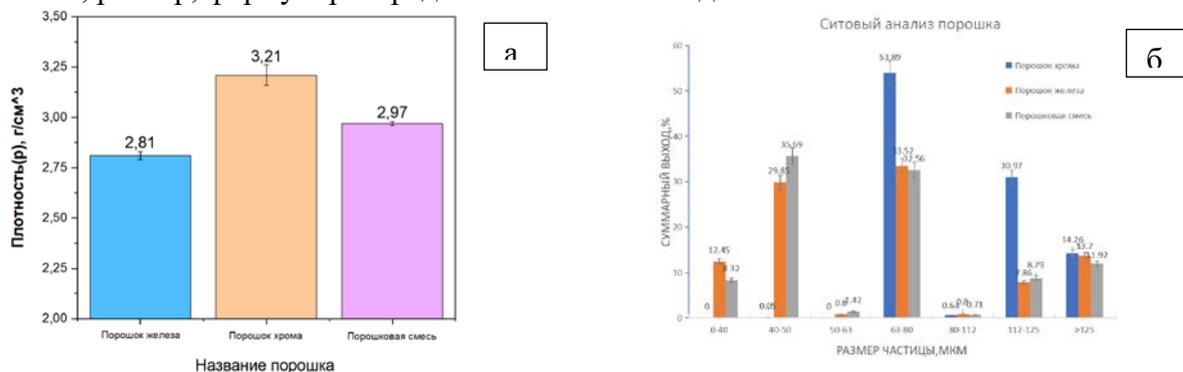


Рисунок 2 - Результаты измерения для порошка железа, порошка хрома и порошковой композиции 98,6%Fe-0,4%С-1%Cr:

а) насыпная плотность, б) ситовый анализ

Образцы имеют остаточную пористость после спекания. Распределение пор в спеченных образцах довольно неравномерное. Можно выделить области с высокой концентрацией пор и сопоставимые по размеру области, где поры совсем отсутствуют. Форма пор также различна: встречаются поры, как сферической формы, так и поры неправильной формы. В образцах, формованных при 500 МПа поры намного крупнее, чем поры у образца, формованного при 750 МПа.

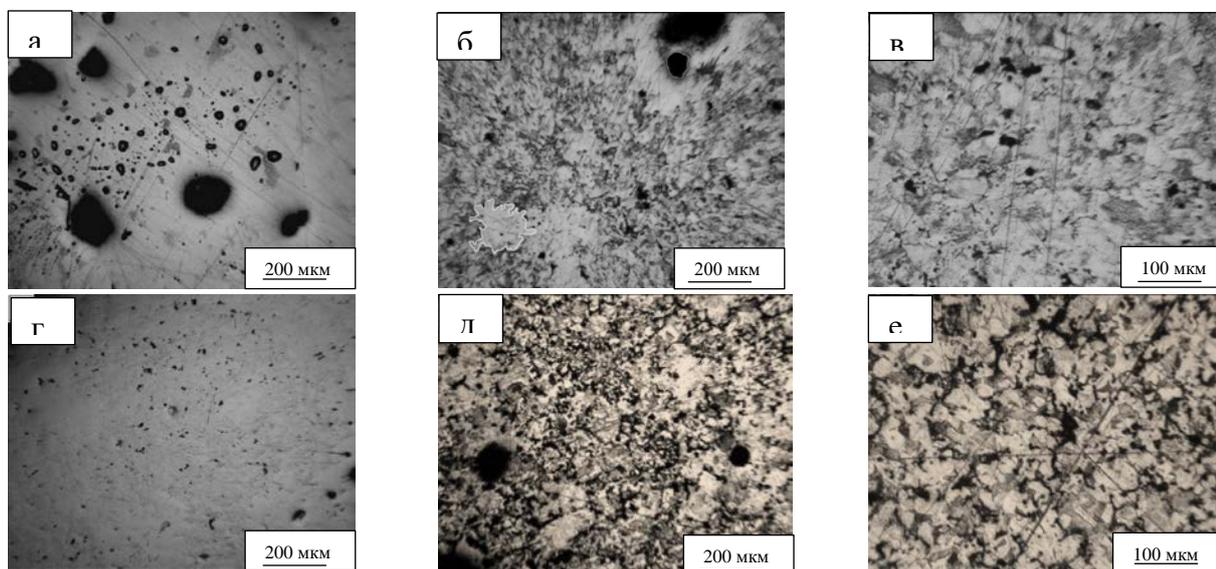


Рисунок 3 – Нетравленная (а, г) и травленная поверхность (б, в, д, е) исследуемых образцов, спрессованных при 500 (а - в) и 750 МПа (г – е)

Для количественной характеристики пористости был проведен линейный анализ оценки пор. Рассчитанная пористость представлена в таблице 1. Видно, что пористость для образцов, спрессованных при меньшем давлении, больше.

Таблица 1 – Сводная характеристика образцов

№ партии образцов	Давление прессования, МПа	Пористость, %	Размер пор, мкм	Средний размер зерен, мкм	Микротвердость, МПа
1	500	12,0±0,5	16,0±4,0	245±20	104,5±8,5
2	750	4,0±0,5	5,0±3,0	200±17	209,8±3,4
Литой	-	-	-	127±15	260±5

Поверхность образцов порошковой стали после травления представлена на рисунках 3 б – в и 3 д - е. данная сталь - доэвтектоидная с содержанием углерода 0,4 %. По диаграмме состояния при комнатной температуре структура феррит и перлит, что мы и видим на микроснимках

Качественно структуры у образцов, спрессованных при разном давлении одинаковы, и соответствуют ферритно-перлитной структуре, рисунок 3. Однако размер зерен у образцов, сформованных при 750 МПа меньше на 20 %. Следовательно, чем мельче зерно, тем выше должны быть прочностные свойства.

В таблице 1 также представлены результаты микротвердости. Микротвердость показывает интегральные значения по всей поверхности образцов. Сразу можно заметить, что микротвердость гораздо больше у литой стали в силу большей плотности и отсутствия пористости, также размер зерен порошковой стали больше, чем в 1,5 раза (средний размер зерен литой стали -  $127 \pm 15$  мкм, порошковой –  $200 \pm 17$  мкм). Значения микротвердости спеченных образцов увеличивается от  $104,5 \pm 8,5$  МПа для образцов, формованных при 500 МПа до  $219,8 \pm 3,4$  МПа для образцов, формованных при 750 МПа. У литой стали микротвердость выше порошковых образцов более, чем в 1,2 раз. Во-первых, литая сталь более плотная, в ней отсутствует пористость, размер зерен также меньше. Однако для порошковой стали микротвердость оказалось достаточно высокой, что показывает о хорошо подобранных режимах изготовления образцов из порошковой стали.

В результате исследований можно сделать выводы: частицы порошковой композиции исследованной стали со средним размером  $4 \pm 0,5$  мкм. Структура литой стали и порошковой определена, как феррито-перлитная. Также размер зерна в литой стали меньше в 1,5 раза. Вследствие этого механические характеристики литой стали выше из-за отсутствия пористости и более низкой плотности, чем у литой стали. В дальнейшем планируется повысить свойства порошковой стали путем термического упрочнения, варьированием режимов прессования и спекания, механической активацией исходных порошков (или композиции) или введением в порошковую композицию упрочняющих частиц типа карбидов или нитридов.

### Список литературы

1. Хуан Боюнь, Йи Цзяньхун. Состояние развития современных материалов и технологий порошковой металлургии (1) [J] Shanghai Metal, 2007, 29(3):1-7.
2. Цзяо Цзянь, Пэн Фан. Анализ материалов порошковой металлургии [J], Нефтехимия Внутренней Монголии, 2013, (5): 63-64.
3. Vaulina O.Y., Darenskaia E.A., Myachin Y.V., et al. Influence of mechanical activation of steel powder on its properties[C]//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017, 175(1): 012038
4. Павлов В.А., Ляшенко А.П., Носенко М.И. Перспективные технологические процессы порошковой металлургии // Новые материалы и технологии в металлургии. 2008. – С. 30-33 с.
5. Халафов, Р. Д. Исследование влияния термической обработки на структуру и свойства РИМ-изделий / Р. Д. Халафов // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи / НИ ТПУ; РАН, СО, ИФПМ. - Томск: Изд-во ТПУ, 2017. - С. 251-253