

УДК 621.762.4.016:669.15

А. А. ВНУКОВ

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Fe-Cu-C, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ЛЕГИРОВАНИЯ

Рассмотрены основные способы легирования порошковых конструкционных сталей. Исследован комплекс физических и механических свойств спеченных конструкционных материалов на основе железа, полученных с применением различных технологических приемов легирования медью и углеродом: механического смешивания, механосинтеза и омеднения. Проведен сравнительный анализ свойств полученных материалов и определен оптимальный способ легирования. Результаты исследований могут быть использованы при создании спеченных сталей и сплавов с повышенными эксплуатационными свойствами

Ключевые слова: спеченные стали, легирование, железный порошок, медный порошок, графит, механосинтез, омеднение

Введение. Развитие современной техники предъявляет все более жесткие требования к материалам, работающим в условиях высоких давлений, скоростей, деформаций, агрессивных сред и т.д. Использование методов порошковой металлургии при создании новых материалов позволяет обеспечить оптимальное сочетание технологии получения, структурных и рабочих характеристик. При этом обеспечивается минимум потерь металла, снижается себестоимость изделий. Среди материалов, получаемых методами порошковой металлургии, большой интерес представляют используемые в машиностроении порошковые стали. Они обладают высокой прочностью (приближающейся к прочности изделий, изготовленных из проката или литьем) в сочетании с хорошей пластичностью, вязкостью, низкой склонностью к хрупкому разрушению [1-3].

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Легирование порошковых сталей в отличие от литых имеет ряд характерных особенностей, обусловленных спецификой их получения. Структура порошковых легированных сталей и их свойства зависят от способов получения сталей и технологических особенностей получения. Можно назвать следующие основные способы получения порошковых легированных сталей: приготовление поликомпонентных смесей из порошков железа и легирующих элементов и последующая их обработка; применение легированных порошков железа, к которым в случае необходимости добавляют углерод (обычно графит) или другие легирующие элементы; пропитка жидкими легирующими металлами или диффузионное насыщение каркасов, спеченных из порошков железа.

Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее высоким уровнем свойств обладают стали, полученные из готовых легированных порошков. Они имеют однородную структуру, а распределение элементов в сплаве отличается высокой степенью гомогенности. Однако легированные порошки плохо прессуются, их производство организовано еще в недостаточно широких масштабах, и они имеют высокую стоимость.

Наибольшее распространение из-за простоты технологии и малой стоимости получил первый способ. Недостатком этого метода является необходимость длительных выдержек в процессе спекания для получения гомогенной структуры сплавов. Однако не все-

гда требуется достижение комплекса свойств, который характерен для полностью гомогенизированной стали. Во многих случаях вполне достаточно проведение «малоинтенсивного», но экономически выгодного спекания.

Поскольку процесс гомогенизации не успевает полностью произойти во время спекания сталей, полученных из смесей компонентов, это должно повлечь за собой образование неоднородной структуры. Наличие неоднородности наряду с пористостью в целом делает систему неравновесной, что должно оказывать специфическое влияние на характер процессов, протекающих при нагреве и охлаждении порошковых сталей.

Медь является одним из самых важных в порошковой металлургии легирующих элементов, в то время как в производстве литой стали она играет второстепенную роль. Это связано с особенностями порошковых сталей, обуславливающими различия в целях легирования литых и порошковых сталей [1, 2].

При получении медистой порошковой стали большое влияние на свойства оказывает углерод, который обычно вводят в композицию перед прессованием. При одновременном введении меди и графита твердость и прочность повышаются сильнее, чем это можно ожидать при использовании каждого из этих элементов в отдельности. Введение графита в железомедистую композицию уменьшает рост при спекании, а присадка меди к брикетам уменьшает обезуглероживание. Введение меди в железографитовый материал способствует получению более однородной структуры [4], уменьшает усадку, стабилизирует размеры деталей, увеличивает твердость. Это приводит соответственно к получению более высокого уровня свойств медистых сталей по сравнению с железографитом [5].

В настоящее время есть необходимость более широкого внедрения в производство порошковых легированных сталей. В литературе имеются публикации по свойствам этих материалов, способам легирования [1-3]. Однако их разрозненность затрудняет использование этих данных при разработке новых порошковых легированных сталей и внедрении их в производство. В связи с этим представляется целесообразным проведение исследований по изучению влияния способов легирования на свойства порошковых сталей.

Цель и задачи исследования. Целью исследований является получение спеченного конструкционного

материала на основе железа с максимальным уровнем физических и механических характеристик.

Задача работы – изучить влияние способа легирования на свойства спеченных конструкционных материалов на основе системы Fe-Cu-C.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задания:

- определить физические и механические свойства исследуемых материалов;
- провести сравнительный анализ свойств исследуемых материалов, полученных с применением различных способов легирования, и выбрать наиболее оптимальный способ.

Материалы и методы исследования. Исследовали материал марки Fe-5%Cu-0,7%C, соответствующий по химическому составу порошковой стали марки СП70Д5 [6] и полученный с использованием различных способов легирования. Применяли три способа легирования: механическое смешивание исходных порошков, механосинтез и омеднение порошка стали. Механическое смешивание осуществляли в барабанном смесителе типа «пьяная бочка», механосинтез - в планетарной шаровой мельнице. Омеднение порошка стали 45 производили в растворе, содержащем медный купорос и серную кислоту.

Для получения опытных образцов в работе были использованы следующие порошковые материалы: порошок железный распыленный марки ПЖР 3.200.28 (ГОСТ 9449-89) [7]; порошок медный электролитический марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-75) [8]; порошок стали 45 распыленный; графит карандашный марки ГК-1 (ГОСТ 4404-78) [9].

Опытные образцы получали однократным холодным прессованием с последующим спеканием. Режимы прессования и спекания для всех исследуемых образцов были одинаковыми.

После исследовали следующие свойства опытных образцов: объемная усадка (ГОСТ17359-82); пористость (ГОСТ 18898-89); прочность на разрыв (ГОСТ 18227-85); твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012-59); прочность на изгиб (ГОСТ 18228 – 72).

Результаты исследования. Результаты определения физических свойств исследуемых материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты исследования физических свойств материалов

Способ легирования	Физические свойства	
	объемная усадка $\Delta V/V$, %	пористость P , %
Смешивание	4,0-5,0	15-18
Механосинтез	0,8-1,2	7-8
Омеднение	2,7-3,0	9-11

Таблица 2 – Результаты исследования механических свойств материалов

Способ легирования	Механические свойства		
	прочность на разрыв σ_B , МПа	прочность на изгиб σ_{II} , МПа	твердость по Бринеллю HB , МПа
Смешивание	260-265	310-320	450-460
Механосинтез	300-310	470-480	780-790
Омеднение	350-360	500-510	610-620

Согласно полученным результатам самыми высокими физическими свойствами (наименьшая усадка и невысокая пористость) обладает материал, полученный путем легирования механосинтезом.

Металлографический анализ подтверждает полученные данные. На рис. 1 представлены микроструктуры исследуемых материалов.

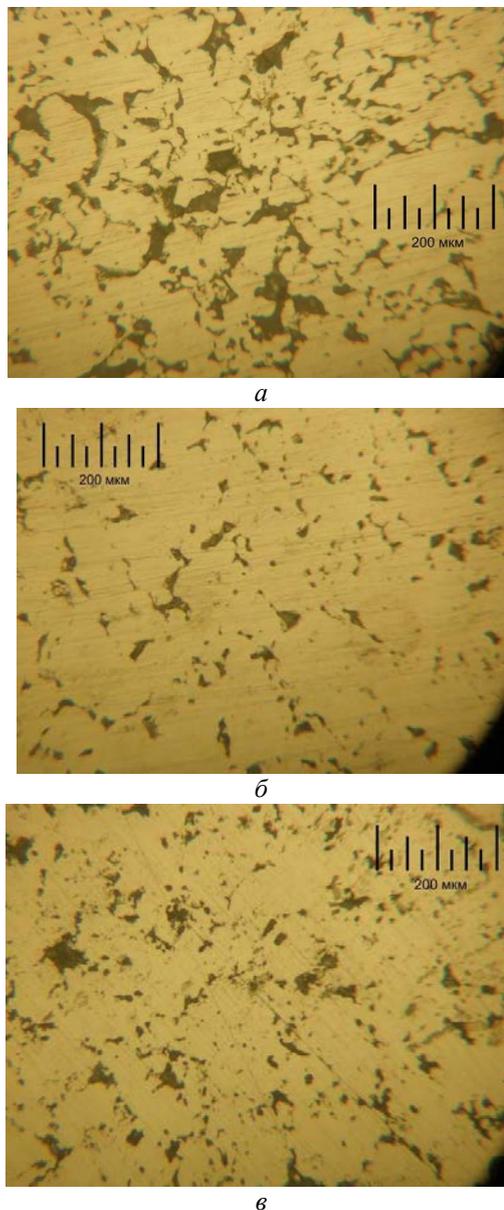


Рис. 1 – Микроструктура опытных образцов, полученных с применением различных способов легирования ($\times 800$): а – смешивание; б – механосинтез; в - омеднение

Результаты определения механических свойств исследуемых материалов приведены в табл. 2.

Согласно полученным результатам наивысшим уровнем механических характеристик обладает материал, полученный из омедненного порошка стали 45. Несмотря на более высокий уровень пористости, чем у материала полученного с применением механосинтеза, прочностные характеристики спеченной омедненной Ст45 значительно выше. Это связано со структурой полученных материалов, формирование которой в значительной степени зависит от равномерности распределения легирующих элементов. Углерод растворен в порошке стали 45, а омеднение дает возможность распределить медь в объеме прессовки с высокой степенью однородности. Это дает возможность получить после спекания структуру легированного феррита с равномерно распределенными включениями перлита, что и обуславливает высокий уровень механических свойств.

На рис. 2 приведены микрофотографии структур исследуемых материалов, полученные с применением средств растровой электронной микроскопии.

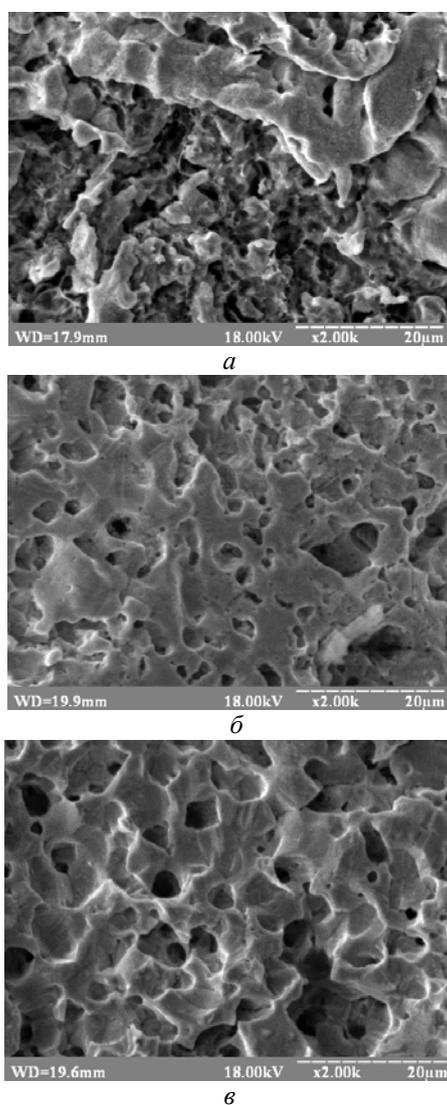


Рис. 2 – Структура исследуемых материалов: а – смешивание; б – механосинтез; в – омеднение

Таким образом, для промышленного производства спеченных конструкционных медистых сталей

можно рекомендовать применение омеднения, как способа легирования медью.

Это связано не только с высоким уровнем механических свойств сталей, полученных при использовании такого способа легирования. Это также экономически выгодно, т.к. применение омеднения позволяет отказаться от использования для легирования дорогостоящего и дефицитного медного порошка.

Кроме того, омеднение дает возможность значительно повысить формуемость порошка стали 45 (рис. 3 [10]) и использовать для его формирования более простое с аппаратурной точки зрения холодное прессование взамен изостатического.

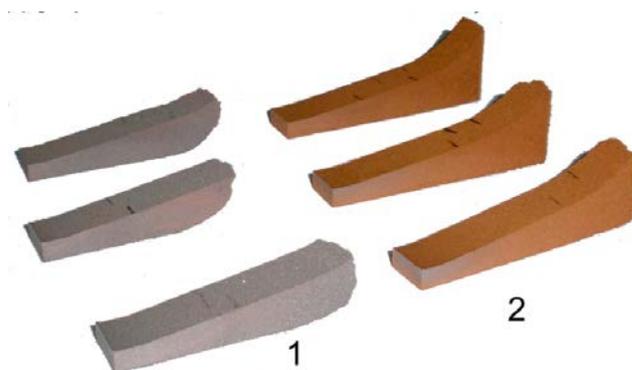


Рис. 3 – Общий вид образцов порошков после испытания на формуемость: 1 – порошок Ст45; 2 – омедненный порошок Ст45

Выводы

1. Образцы, полученные путем легирования механосинтезом, обладают самыми высокими физическими свойствами (обладают наименьшей усадкой и невысокой пористостью). Материал, полученный путем легирования механическим смешиванием, обладает самыми низкими физическими свойствами.

2. Наивысшим уровнем механических характеристик обладает материал, полученный из омедненного порошка стали 45. Несмотря на более высокий уровень пористости, чем у материала полученного с применением механосинтеза, прочностные характеристики спеченной омедненной Ст45 значительно выше.

3. Для промышленного производства спеченных конструкционных медистых сталей можно рекомендовать использование омедненного порошка, как способа легирования медью. Это связано не только с высоким уровнем механических свойств такого материала, но и экономически выгодно.

Список литературы: 1. Анциферов, В. Н. Порошковые легированные стали [Текст] / В. Н. Анциферов, В. Б. Акименко, Л. М. Гревнов – М.: Металлургия, 1991. – 318 с. 2. Ермаков, С. С. Порошковые стали и изделия [Текст] / С. С. Ермаков, Н. Ф. Вязников – Л.: Машиностроение, 1990. – 319 с. 3. Анциферов, В. Н. Спеченные легированные стали [Текст] / В. Н. Анциферов, В. В. Акименко – М.: Металлургия, 1983. – 88 с. 4. Анциферов, В. Н. Структура спеченных сталей [Текст] / В. Н. Анциферов, Т. Г. Черепанова – М.: Металлургия, 1981. – 112 с. 5. Федорченко, И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы [Текст] / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина – Киев: Наукова думка, 1980. – 401 с. 6. Радомысльский, И. Д. Конструкционные порошковые материалы [Текст] / И. Д. Радомысльский, Г. Г. Сердюк, Н. И. Щербань – Киев: Техника, 1985. – 152 с. 7. Акименко, В. Б. Железные порошки. Технология, структура, свойства, экономика [Текст] / В. Б. Акименко, В. Я. Буланов, В. В. Рукин – М.: Наука, 1982. – 246 с. 8. Порошки цветных металлов:

справ. изд. / под ред. С. С. Набойченко – М.: Металлургия, 1997.– 542 с. **9.** Степанчук, А. Н. Технология порошковой металлургии [Текст] / А. Н. Степанчук, И. И. Билык, П. А. Бойко – Киев: Вища школа, 1989. – 415 с. **10.** Кетов, В. М. Исследование влияния способа легирования медью на свойства порошковых шихт и характеристики спеченных материалов на основе железа [Текст] / В. М. Кетов, А. А. Внуков, Е. И. Демченко, И. Г. Рослик // Сборник докладов Международного симпозиума «Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка» – Минск – 23-25 марта 2011. – С. 153-157.

Bibliography (transliterated): 1. Antsyferov, V., Akimenko, V., Grevnov, L. (1991). Poroshkovye legirovannye stali, 318 p. 2. Yermakov, S., Vyaznikov N. (1990). Poroshkovye stali i izdeliya, 319 p. 3.

Antsyferov, V., Akimenko, V. (1983). Spechennye legirovannye stali, 88 p. 4. Antsyferov, V., Cherepanova, T. (1981). Struktura spechennyh staley, 112 p. 5. Fedorchenko, I., Pugina, L. (1980). Kompozitsyonnye spechennye antifriktsyonnye materialy, 401 p. 6. Radomyselckiy, I., Serdyuk, G., Scherban, N. (1985). Konstruktsyonnye poroshkovye materialy, 152 p. 7. Akimenko, V., Bulanov, V., Rukin, V. (1982). Zheleznye poroshki, 246 p. 8. Naboychenko, S. (1997). Poroshki tsvetnyh metallov: sprav. izd, 542 p. 9. Stepanchuk, A., Bilyk, I., Boyko, P. (1989). Tehnologiya poroshkovoy metallurgii, 415 p. 10. Ketov, V., Vnukov, A., Demchenko, I., Roslik, I. (2011). Issledovanie vliyaniya sposoba legirovaniya mediyu na svoystva shiht i harakteristiki spechennyh materialov na osnove zheleza. Sbornik dokladov mezhdunarodnogo simpoziuma «Inzheneriya poverhnosti. Novye poroshkovye kompozitsyonnye materialy. Svarka», Minsk, 153-157.

Поступила (received) 22.10.2015

Сведения об авторах / Відомості про авторів / About the Authors

Внуков Александр Александрович – кандидат технических наук, Национальная металлургическая академия Украины, доцент кафедры "Покрытий, композиционных материалов и защиты металлов"; пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Украина, 49600; тел.: 050-138-33-59; e-mail: alvnukov@yandex.ru.

Внуков Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, Національна металургійна академія України, доцент кафедри "Покриттів, композиційних матеріалів та захисту металів"; пр. Гагаріна, 4, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600; тел.: 050-138-33-59; e-mail: alvnukov@yandex.ru.

Vnukov Alexander – candidate of technical sciences, National Metallurgical Academy of Ukraine; Gagarin av., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600; tel.: 050-138-33-59; e-mail: alvnukov@yandex.ru.

УДК 661.185-3:677.021.127

А. Ф. БУЛАТ, В. А. ИВАНОВ, К. С. ГОЛОВ, В. А. ТКАЧЕНКО, Е. И. СТЕПАНЕНКОВ

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРАТАЦИИ ФОСФОГИПСОВОЙ МАТРИЦЫ С РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ НА ЕЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА

Обоснована адекватность предложенной феноменологической модели, в соответствии с которой гидратация фосфогипсовой матрицы приводит к аномально высокому, по сравнению с классическим законом Бугера, росту сечения взаимодействия рентгеновского излучения с радиационно-защитным (РЗ) наполнителем в виде редкоземельных элементов (РЗЭ). Установлена зависимость изменения уровня защиты персонала от рентгеновского излучения конструкциями из композиционного материала на основе фосфогипса от концентрации РЗЭ в нём и плотности материала.

Ключевые слова: фосфогипсовая матрица, гидратация, кристаллизация, наполнитель, редкоземельные элементы, структура, радиационная-защита, ультрадисперсные частицы.

Введение. Впервые эффект аномального ослабления интенсивности проникающего, в частности, рентгеновского излучения был установлен при его взаимодействии с ультрадисперсными частицами (УДЧ) радиационно-защитного (РЗ) наполнителя в диэлектрической матрице. При этом было зафиксировано непрямолинейное распространение рентгеновского излучения по геометрии криволинейного слоя УДЧ РЗ наполнителя, следствием чего является увеличение длины пробега квантов излучения внутри композиционной диэлектрической матрицы и, что естественно, сопровождается аномальным ростом сечения взаимодействия рентгеновского излучения с указанной матрицей. В дальнейшем было установлено [1], что указанный эффект при определенной концентрации УДЧ наблюдается и в полидисперсной смеси частиц РЗ наполнителя. Зафиксированные при этом аномально высокие РЗ свойства композиционной матрицы по сравнению со свойствами, регламентируемыми классическим законом Бугера, авторы [1] объяснили электростатическим взаимодействием поляризованных частиц полидисперсной смеси РЗ наполнителя. Таким образом, из частиц полидисперсной смеси РЗ напол-

нителя самоорганизуется система энергетически взаимосвязанных ансамблей, которые обладают способностью отклонять кванты излучения от прямолинейного распространения и, как следствие, аномально ослаблять интенсивность проникающего излучения [2].

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Углубляясь в анализ литературных источников и сравнение разрабатываемых материалов с аналогами, в нашем случае в качестве гидратирующей матрицы, вмещающей РЗ наполнитель, использовалась электропроводная среда в виде фосфогипсового теста [3, 4], которое только после окончания формирования прочных фазовых контактов и сушки приобретает диэлектрические свойства. В результате при взаимодействии рентгеновского излучения с указанной матрицей, содержащей в достаточном количестве УДЧ РЗ наполнителя, также проявляется вышеупомянутый эффект. Однако, в данном случае механизм реализации этого эффекта совершенно иной, чем это имеет место в источнике [1].

Цель и задачи исследования. Оценка влияния структурирующейся при гидратации фосфогипсовой

© А. Ф. Булат, В. А. Иванов, К. С. Голов, В. А. Ткаченко, Е. И. Степаненков. 2015