

ПРОЦЕСС ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ ЭП-823: РОЛЬ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ

П.А. ГОРОБЕЦ, А.Д. РУДАКОВ, И.Э. ВАСИЛЬЕВА, О.Ю. ВАУЛИНА

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: volgay@tpu.ru

Порошковая металлургия как общий термин включает в себя все методы получения изделий на основе твердых металлов из порошков. Порошковая металлургия включает в себя производство порошка, последующую обработку и кондиционирование порошков, одну или несколько стадий уплотнения, включающих применение давления и температуры (либо совместно, либо на последующих стадиях), и множество вторичных обработок, которые могут быть аналогичны тем, которые применяются к литым металлическим изделиям или специально для порошковой металлургии. В прошлом причины выбора порошкового способа были в основном экономическими, но совсем недавно этот процесс был признан экологически привлекательным с точки зрения энергосбережения, чистоты и вторичной переработки [1].

Процесс порошковой металлургии позволяет получить изделия с высокой степенью точности и сложной геометрией, что делает его широко используемым в авиационной, автомобильной, медицинской и других отраслях промышленности. Порошковая металлургия также позволяет создавать материалы с уникальными свойствами, такими как повышенная прочность, термостойкость, коррозионная стойкость и другие.

Основные преимущества порошковой металлургии перед другими технологическими процессами состоят в резком сокращении расхода материалов и энергии при производстве изделий за счет получения изделий высокой точности, в минимальной степени нуждающихся в последующей механической обработке (отходы составляют не более 1...3 %). Сокращение числа операций при производстве изделий, сокращении количества оборудования, производственных площадей. Кроме того, достоинствами технологии является возможность изготовления деталей из тугоплавких материалов и соединений, когда другие методы использовать невозможно, возможность получения материалов максимальной чистоты [1].

В работе получали и исследовали порошковую сталь типа ЭП-823 [2], таблица 1, которая представляет собой жаропрочный сплав на основе хрома и никеля. Данная сталь отличается уникальными механическими свойствами при воздействии высоких температур, что делает его востребованным в различных отраслях промышленности.

Таблица 1 – Состав порошковой стали типа ЭП-823

Элемент	Fe	C	Cr	Si	Ni	Mn	Mo	W	B
Массовая доля, %	85,345	0,15	11	1,20	0,7	0,50	0,5	0,5	0,005

В начале работы был проведен анализ легирующих элементов стали ЭП-823:

Сталь ЭП-823 [2] обладает уникальным составом легирующих элементов, что значительно расширяет её эксплуатационные возможности и улучшает эксплуатационные характеристики.

Хром (Cr) способствует увеличению области существования ферритной фазы, что, в свою очередь, может положительно сказываться на повышении температуры A_{c1} . Никель (Ni) выступает важным легирующим элементом, который существенно улучшает механические свойства стали. Его присутствие не только повышает прочность и вязкость, но и придает стали специальные качества, такие как жаростойкость, жаропрочность и кислотостойкость. Кремний (Si) в составе стали обеспечивает высокую коррозионную стойкость, что делает материал более надёжным в условиях агрессивной среды. Бор (B), подобно кремнию, эффективно снижает температуру плавления железных сплавов благодаря своим эвтектикообразующим свойствам. Молибден (Mo) значительно улучшает прочностные характеристики стали, увеличивая её твердость, красностойкость и антикоррозионные свойства. Он делает материал

теплоустойчивым, что повышает несущую способность конструкций, особенно под воздействием ударных нагрузок и высоких температур. Однако следует отметить, что молибден затрудняет процесс сварки из-за своей склонности к окислению и выгоранию. Марганец (Mn) и молибден (Mo), взаимно дополняя друг друга, вносят весомый вклад в твёрдорастворное упрочнение стали ЭП-823, что делает её более прочной и долговечной.

Повышенное содержание молибдена и никеля отличает сталь ЭП-823 от других сталей данного класса, что делает её высокопроизводительным материалом для применения в различных областях промышленности. Таким образом, каждый из указанных легирующих элементов вносит свой значимый вклад в качество и характеристики стали ЭП-823, что делает её востребованной на современном рынке.

Целью работы является исследование насыпной плотности исходных порошков, порошковой композиции и спеченных образцов, формованных при разных давлениях.

Исходные порошки смешивали в смесителе типа «пьяная бочка» в требуемом соотношении в течении 24 часов для равномерного распределения всех элементов между собой. Затем была измерена насыпная плотность для основных исходных элементов, а также для порошковой смеси, рисунок 1.

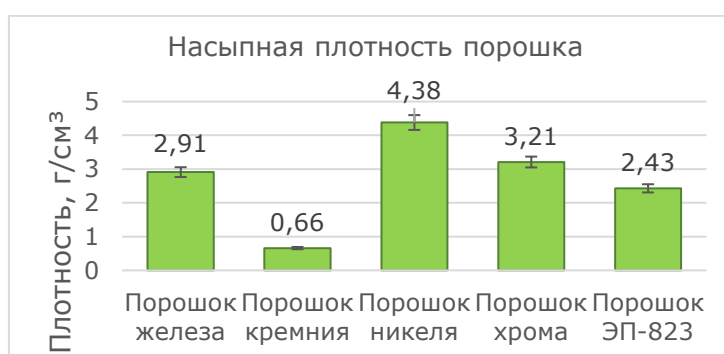


Рисунок 1. Гистограмма насыпной плотности исходных порошков и порошковой смеси

Насыпная плотность в порошковой металлургии – это плотность единицы объема свободно насыпанного порошка, это объемная характеристика, представляющая собой массу объема порошка при свободной насыпке. Это важная характеристика в порошковой металлургии. Данная характеристика необходима для того, чтобы, во-первых, рассчитать засыпную камеру пресс-формы. Во-вторых, с ней связана прессуемость порошка: чем больше насыпная плотность, тем больше плотность брикета при прессовании. Насыпная плотность влияет на объемное дозирование и сам процесс формования, а также на величину усадки при спекании.

Гистограмма насыпной плотности основных элементов (железо, кремний, никель), а также для порошковой смеси типа ЭП-823, таблица 1, изображена на рисунке 1. Наибольшей насыпной плотностью обладает порошок никеля, самой маленькой – порошок кремния. Насыпная плотность порошковой смеси имеет среднее значения и составляет $2,43 \pm 0,17$ г/см³.

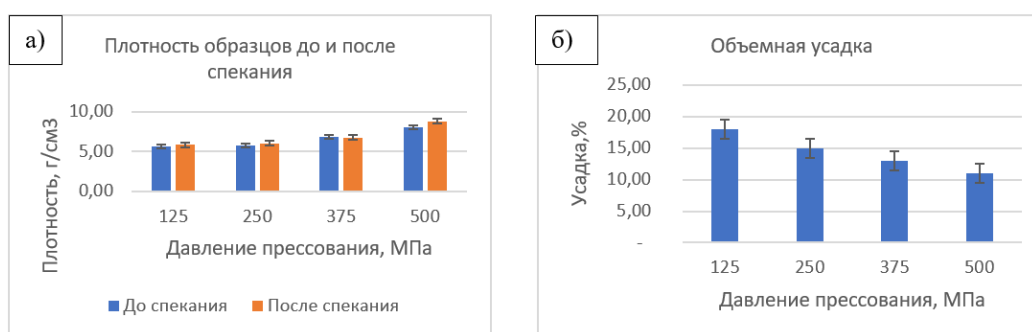


Рисунок 2. Зависимость параметров образцов после спекания:
а – плотность до и после спекания; б – объемная усадка после спекания

Из порошковой композиции были сделаны навески, прессование порошков было одноосным с разным давлением формования: 125, 250, 675 и 500 МПа [3]. Спекание проводили в вакууме при температуре 1100 °С в течение 2 часов. Образцы были замерены до и после спекания, результаты по плотности образцов до и после спекания представлены на рисунке 2, а. На рисунке 2, б приведена гистограмма по объемной усадке. Из рисунка 2 видно, при максимальном давлении 500 МПа самая маленькая усадка (11 %) и самый плотный образец.

На рисунке 3 приведены типичные нетравленные поверхности образцов, сформованных при разном давлении.

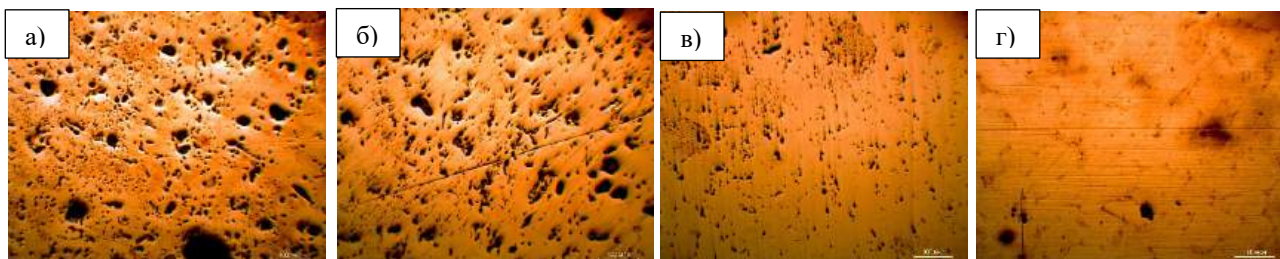


Рисунок 3. Нетравленная поверхность спеченных образцов, сформованных при разном давлении: а – 125 МПа, б – 250 МПа, в – 375 МПа, г – 500 МПа

Из рисунка 3 видно, что размер пор и сама пористость с увеличением давления прессования от 32 % для образцов, сформованных при 125 МПа до 5 % для образцов, сформованных при давлении 500 МПа.

Заключение. Проведен анализ легирующих элементов стали ЭП-823, который позволил выявить важную роль всех легирующих элементов в структуре материала.

Наибольшей насыпной плотностью обладает порошок никеля марки ПНК-УТЗ, насыпная плотность порошка железа марки ПЖРВ2.200.28 в 1,5 раза меньше. Самая маленькая насыпная плотность обладает порошок кремния марки Кр-00 и составляет $0,66 \pm 0,14$ г/см³, что меньше в 6,7 раз, чем насыпная плотность никеля и в 4,4 раза, чем насыпная плотность железа. Насыпная плотность порошковой смеси имеет среднее значения и составляет $2,43 \pm 0,17$ г/см³.

Для исследования были подготовлены пять партий образцов порошковой стали типа ЭП-823, сформованных при разном давлении (от 125 МПа до 500 МПа). Пористость сильно уменьшается при увеличении давления формования. Оптимальное давление прессования для формирования минимальной пористости – 500 МПа.

Полученные результаты позволяют оптимизировать процесс формования материала и обеспечить минимальную пористость в структуре порошковой стали

Список литературы

1. Кубанова А.Н., Гвоздев А.Е. История развития порошковой металлургии и ее применение в современных технологиях // Чебышевский сборник. – 2021. – Т. 22. – вып. 2. – С. 437–448.
2. Сравнительное исследование микроструктуры, механических свойств и особенностей разрушения жаропрочных ферритно–мартенситных сталей ЭК–181, ЧС–139 и ЭП–823 в интервале температуры от – 196 до 720 °С / Н.А. Полехина [и др.] // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. – 2018. – Т. 41. – вып. 4. – С. 38–47.
3. Кузнецов П.А. Технология обработки давлением порошковых материалов в жестких пресс-формах: учеб. - метод. пособие / П.А. Кузнецов, А.О. Просторова, Р.В. Кузнецов. – СПб. – 2022. – 50 с.