

Установлено, что в ходе термобарического спекания происходит диспергирование зерен алмазного микропорошка с 10–14 до 5–7 мкм вследствие их дробления под действием высокого давления. На поверхности алмазных зерен наблюдаются полосы сдвига, а размеры субзерен составляют порядка 0,1 мкм. По границам крупных (микронных) зерен алмаза находятся спеченные наноалмазы с размером кристаллитов 10–30 нм. Плотность полученного материала составляет 3,0–3,1 г/см<sup>3</sup>. При более высоком давлении и температуре спекания получен материал, обладающий более высокой плотностью 3,4 г/см<sup>3</sup> без признаков графитизации алмаза. В этом случае на основе наноалмазов формируется нанокристаллическая матрица, окружающая крупные алмазные зерна. Размер алмазных нанокристаллитов составляет 30–50 нм, что выше, чем у материала, спеченного при температурах до 2000 °С. При этом размер более крупных алмазных частиц в материале остался на прежнем уровне.

#### **Список использованных источников**

1. Андриевский, Р. А., Глезер, А. М. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. II. Механические и физические свойства // Физика металлов и металловедение. 2000. № 1. С. 91–112.
2. Новиков, Н. В. (ред.) Инструменты из сверхтвердых материалов. М., 2005.
3. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение. Под общ. ред. П. А. Витязя. / Витязь П. А. Жорник В. И., Ильющенко А. Ф., Сенють В. Т., Комаров А. И., Корженевский А. П., Ивахник А. В. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 381 с.

УДК 621.745.669.13

#### **Технология получения высокоплотных деталей из порошковых низколегированных сталей**

Магистрант Демьянчик Г. А.

Научные руководители – Горохов В. М., Киреев П. Н., Голубцова Е. С.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Стремление свести к минимуму остаточную пористость конструкционных деталей это один из наиболее эффективных путей приближения свойств порошковых материалов к свойствам компактного материала. Несмотря на то, что это приводит к дополнительным материальным и трудовым затратам, это направление привлекает своей доступностью в практической реализации этих процессов в промышленных условиях, так как реализуется на серийном кузнечно-прессовом оборудовании.

Цель работы – исследование порошковых низколегированных сталей на основе железных порошков и разработка технологии изготовления высокоплотных порошковых конструкционных деталей.

Для изготовления высокоплотных конструкционных деталей из порошковых низколегированных сталей до настоящего времени основной операцией остается пластическая деформация (калибровка) спеченных заготовок. После спекания по стандартному режиму, в силу специфики получаемой микроструктуры, такие стали относятся к числу труднодеформируемых и даже полухрупким сплавам. По этой причине плотность изделий не превышает ~7,20 г/см<sup>3</sup>, что недостаточно для конструкционных деталей, которые в процессе эксплуатации испытывают высокие знакопеременные и контактно-усталостные нагрузки. Важнейшим методом повышения пластичности и улучшения механических свойств порошковых низколегированных сталей являются: регулирование химического состава, создание благоприятного фазового состава и структуры, получаемой при определенных режимах термо-временной обработки порошковых заготовок.

В качестве объекта исследования в настоящей работе были выбраны порошковые низколегированные стали улучшаемого класса ПК40НМ и ПК40НМД, у которых содержание каждого легирующего элемента (Ni, Mo и Cu) составляло менее 1 %.

Для приготовления шихты исходные порошки смешивали в четырехбаночном смесителе в течение 4–6 часов при весовом соотношении стальных шаров и шихты 2:1 и диаметре шаров 6–8 мм.

Кривая прессуемости порошковых сталей ПК40НМ и ПК40НМД в области давлений 400–800 кг/мм<sup>2</sup>, представлена на рисунке 1 и имеет обычный вид, характерный для всех композиций на основе железных порошков. Несмотря на наличие в составе 20 % гомогенно- или частично легированного железного порошка прессуемость порошковых композиций ПК40НМ и ПК40НМД высокая и плотность равна  $\approx 7,2$  г/см<sup>3</sup> достигается при давлении 800 кг/мм<sup>2</sup>.

Результаты исследований показали, что при деформировании обеих марок сталей с ИК-структурой наблюдается один тип диаграммы сжатия: гладкая кривая без срывов нагрузки, которая в каждой своей точке регулярна, т. е. угол, образованный между нормалью к кривой и осью абсцисс, с увеличением степени деформации не возрастает.

Порошковые стали ПК40НМ и ПК40НМД после спекания характеризуются сравнительно невысоким сопротивлением пластической деформации. Ощутимая пластическая деформация начинается при напряжениях, превышающих 400–500 МПа.

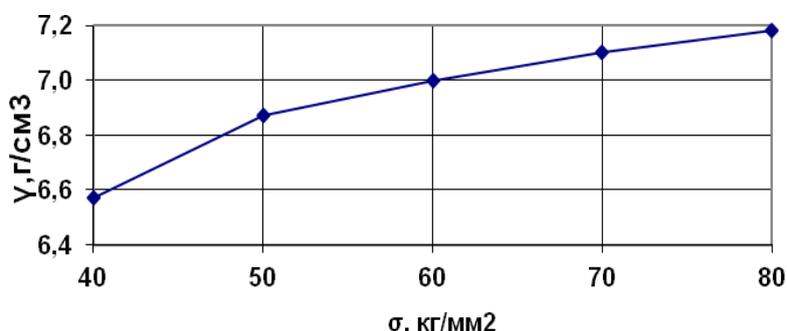


Рисунок 1 – Влияние давления прессования на плотность порошковой низколегированной стали ПК40НМД

Деформационное поведение порошковых низколегированных сталей ПК40НМ и ПК40НМД с ИК-структурой при испытаниях на сжатие не зависит от состава легирующих элементов и описывается единой кривой.

Предел текучести порошковых низколегированных сталей с ИК-структурой очень низкий и пластическая деформация начинается практически сразу же после приложения внешней нагрузки, т. е. сопротивление пластической деформации низкое, а пластичность высокая. Сопротивление пластической деформации у порошковых сталей с ИК-структурой при всех степенях пластической деформации приблизительно на 60 % ниже по сравнению с состоянием после стандартного спекания.

В таблице 1 приведены данные по определению плотности на экспериментальных образцах порошковых сталей ПК40НМД и ПК40НМ.

Таблица 1 – Результаты измерений экспериментальных образцов

Технические показатели	Фактические значения
Плотность, г/см <sup>3</sup>	7,61–7,63

Исследования показали также, что конечная плотность изделий из порошковых низколегированных сталей при деформировании заготовок с ИК-структурой в исследуемом диапазоне не зависит от исходной плотности. Полученный результат имеет важное практическое значение, поскольку позволяет выполнять прессование порошковых заготовок при минимальных напряжениях порядка 45–50 кг/мм<sup>2</sup>.