

УДК 621.923

Исследование структуры поверхностей деталей из порошковых сталей после механической обработки

В.А. Скрыбин, д-р техн. наук

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (г. Пенза, 440026, Россия)

E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1994-6260-2026-0-9-39-41

Статья поступила в редакцию 17.12.2025

После доработки 19.02.2026

Принята к публикации 23.04.2026

В статье приведены результаты экспериментальных исследований обработки деталей из порошковых материалов. Показаны особенности формирования пористой структуры поверхности при финишной абразивной обработке деталей из порошковых материалов.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, финишная абразивная обработка, детали, пористая структура поверхности, порошковые материалы.

В зависимости от плотности и назначения порошковые материалы подразделяются на две группы: плотные — материалы с минимальной пористостью (до 10—15%), изготовленные на базе порошков железа, меди, никеля, титана, алюминия и их сплавов; и пористые, в которых после окончательной обработки сохраняется свыше 20—25% пор по объему. Первая группа материалов широко применяется в машино- и приборостроении, а также в автомобильной и авиационной технике и других отраслях.

Все детали из порошковых материалов после изготовления имеют различную пористость, которая бывает трех видов: открытая, закрытая и тупиковая. Это позволяет использовать детали из порошковых

материалов после пропитки смазкой для эксплуатации в условиях ее недостаточности, а также при обильной смазке. В первом случае наличие пор на поверхности является положительным фактором, так как через них смазочный материал поступает в зону контакта, и они являются как бы карманами для него. Во втором случае наличие пор на поверхности может существенно интенсифицировать процесс изнашивания детали, так как, проникая через поры в микротрещины, концентрирующиеся около пор, и адсорбируясь на их стенках, молекулы поверхностно-активных веществ (ПАВ), содержащиеся в СОТС (смазочно-охлаждающие технологические средства), снижают поверхностную энергию и облегчают разрушение поверхностных слоев [1—3].

Таким образом, можно предположить, что при эксплуатации деталей из порошковых материалов в условиях жидкостной и граничной смазки одним из основных факторов, определяющих долговечность деталей, является пористость поверхности. В связи с этим представляет большой интерес исследование пористой структуры спеченных деталей.

Цель работы — исследование пористой структуры деталей из порошковых материалов при финишной абразивной обработке.

Для проведения экспериментальных исследований были использованы детали типа колец с наружным и внутренним диаметром, соответственно, $d_n = 33$ мм, $d_{вн} = 28$ мм и высотой $h = 11$ мм, спеченные из порошковой стали марки ПК-40, с твердостью 40—45 HRC и исходной шероховатостью $Ra = 1,2$ —1,6 мкм. Детали подвергались точению на токарно-винторезном станке с режимом резания: скорость резания $V = 100$ м/мин; продольная подача инструмента за один оборот детали $S = 1,1$ мм/об; глубина резания $t = 0,2$ мм, а затем шлифованию на круглошлифовальном станке абразивным кругом марки 24A25-ПСТ15K6 с режимом: скорость резания детали шлифовальным кругом $V_{кр} = 35$ м/с; скорость вращения детали

$V_{дет} = 15$ м/мин; минутная продольная подача детали относительно шлифовального круга $S_{мин} = 0,5$ мм/мин, глубина резания $t = 0,02$ мм.

Изучение микроструктуры проводилось на микроскопе МИМ-8. Исходная поверхность (рис. 1) характеризуется наличием пор большой величины, средний размер которых находится в диапазоне 10—25 мкм как по диаметру, так и по глубине, а также микротрещинами, образовавшимися в поверхностном слое в процессе усадки материала после операций прессования и спекания.

В качестве жидкой составляющей абразивной среды использована СОТС следующего состава: 0,5—1% кальцинированной соды, остальное — вода. Рекомендуемая жидкость обладает хорошим моющим и охлаждающим действием, блескообразующей способностью, а также замедляет процессы коррозии и является малотоксичным веществом.

В состав рабочей жидкости с целью повышения производительности обработки могут быть введены добавки поверхностно-активных веществ: 0,5—1,0% калиевого мыла; 1,0—1,5% олеиновой кислоты; 1,5—3,5% эмульсола Э2 (в этом случае обеспечивается повышение производительности обработки в 1,5—2,0 раза). Однако олеиновая кислота и эмульсол обладают большой

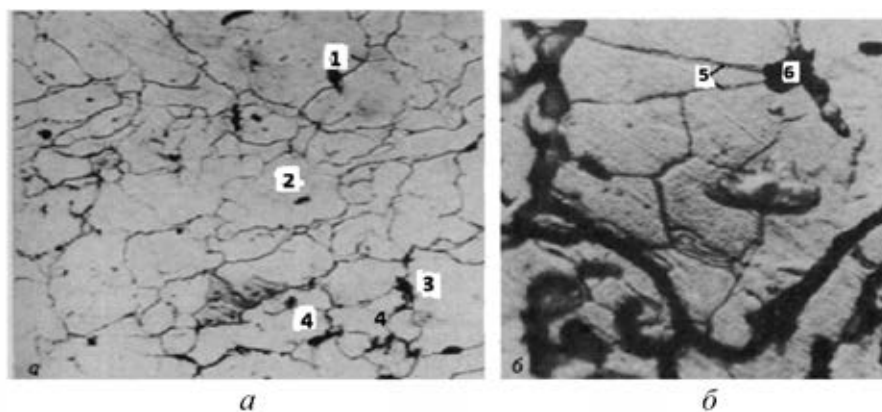


Рис. 1. Исходная поверхность спеченной детали из стали ПК40, микроструктура — феррит:

a ($\times 270$): 1 — границы деформированных частиц; 2 — границы ферритных зерен в частицах; 3 — межчастичные поры; 4 — внутричастичные поры; *б* ($\times 640$) — возникновение трещин (5) у внутричастичных пор (6) и дробление частицы на фрагменты при прессовании

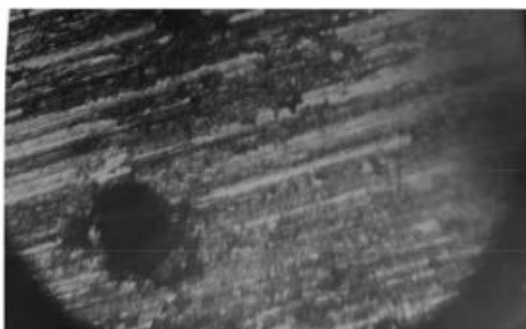


Рис. 2. Поверхность детали из порошковой стали ПК40 ($\times 270$) после обработки точением

токсичностью, поэтому применять их рекомендуется только в редких случаях [4—6].

Фотографии поверхностей кольцевых деталей после обработки точением и шлифованием приведены на рис. 2 и 3. Анализ результатов состояния поверхностного слоя деталей после точения (см. рис. 2) показывает, что средний размер внутренних пор ($d_{\text{Пвн}}$) снижается до 40%. Это очевидно объясняется тем, что при обработке резцом происходит не резание, а скол или отрыв отдельных частиц от поверхности образца. В этом случае большая часть пор остается открытой. После шлифования (см. рис. 3) средний размер пор уменьшается в большей степени, чем при точении — до 60%. Это происходит прежде всего из-за деформации поверхностного слоя образца зернами абразива. Происходит «замазывание» поверхностных пор за счет пластической деформации металлической матрицы.

Выводы

После шлифования изделий из порошковых сталей происходит уменьшение и стабилизация размеров пор, что приводит к более равномерному слою смазки и повышению ресурса работы деталей при их эксплуатации в различных сборочных единицах и изделиях.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Пензенский

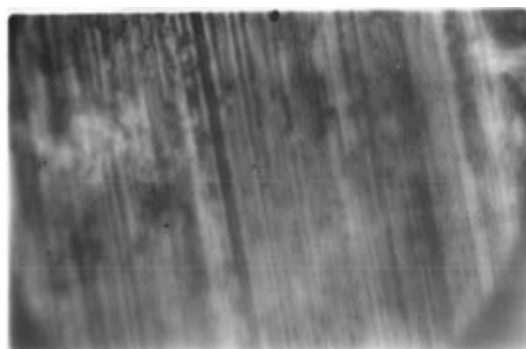


Рис. 3. Поверхность детали из порошковой стали ПК40 ($\times 270$) после обработки шлифованием

государственный университет». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Автор данной работы заявляет, что у него нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Либенсон Г.А.** Процессы порошковой металлургии в 2 т. Т. 1. Производство металлических порошков. Учебник для вузов / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Копарницкий. М.: МИСИС, 2021. 368 с.
2. **Скрябин В.А., Зверовщиков А.Е.** Металлографический анализ образцов из порошковых материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019. № 3. С. 33—37.
3. **Витязь П.Л.** Пористые порошковые материалы и изделия из них / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег. Минск: Выш. шк., 2005. 160 с.
4. **Скрябин В.А., Зверовщиков А.Е.** Механизм формирования гетерогенной структуры порошковых инструментальных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2021. № 1. С. 41—44.
5. **Дорофеев Ю.Г., Сергиенко С.Н.** Неравномерность уплотнения материала при поперечной горячей штамповке // Порошковая металлургия. 2020. № 3 / 4. С. 20—23.
6. **Савицкий А.П.** Многоуровневое моделирование объемных изменений двухкомпонентных порошковых тел при спекании // Журнал технической физики. 2010. Т. 80. Вып. 3. С. 63—68.