

УДК 621.923

ВЛИЯНИЕ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Владимир Борисович Богуцкий

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

bogutskivb@yandex.ru

Аннотация. В статье, на основании анализа литературных источников, показано влияние абразивной обработки деталей из спеченных порошковых материалов на шероховатость шлифованных поверхностей и наличие на них дефектного слоя. Отмечается, что модель формирования микрорельефа и дефектного слоя необходимо строить на основе анализа взаимодействия шлифовального круга и заготовки из спеченного порошкового материала с учетом вероятностного характера протекания процессов резания и физических закономерностей процесса разрушения припуска, характерных для обработки порошковых материалов.

Ключевые слова: спеченные порошковые материалы, абразивная обработка, дефектный слой, шероховатость поверхности, трещины.

THE INFLUENCE OF ABRASIVE MACHINING ON THE CHARACTERISTICS OF SURFACE LAYERS OF PARTS MADE OF POWDER MATERIALS

© V.B. Bogutsky

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

bogutskivb@yandex.ru

Abstract. In the article, based on the analysis of literary sources, shows the effect of abrasive machining of parts made of sintered powder materials on the roughness of polished surfaces and the presence of a defective layer on them. It is noted that the model of formation of the microrelief and the defective layer should be based on the analysis of the interaction of the grinding wheel and the workpiece from the sintered powder material, taking into account the probabilistic nature of the cutting processes and the physical laws of the destruction of the allowance, typical for the processing of powder materials.

Keywords: sintered powder materials, abrasive treatment, defective layer, surface roughness, cracks.

Введение. Детали и заготовки деталей, полученные способом порошковой металлургии, находят все более широкое применение в машиностроении, приборостроении, автомобилестроении, энергетике, в авиакосмической промышленности и пр.. К ним относятся детали типа втулок, зубчатых колес, рычагов, кулачков, поршня и ряд других деталей. Изготовление деталей из порошковых материалов обеспечивает такие преимущества как: высокие коэффициент использования материала (до 0,9...0,95) и производительность технологических процессов, достаточно низкую трудоёмкость механической обработки или ее отсутствие, возможность получения размеров 7...8 качества без дополнительной обработки, широкий диапазон характеристик материала детали. Например, в конструкциях современного электроинструмента, детали из порошковых материалов составляют 55...70% (см. рис. 1).

Характеристики качества деталей, заготовки для которых получают методами порошковой металлургии, определяются большим количеством факторов, к которым следует отнести: способ производства, состав и физико-механические свойства исходного порошкового материала, технология подготовки порошкового материала к переработке, технология производства спеченных заготовок и технология последующей механической обработки. Следует отметить, что технология производства деталей из порошковых материалов для каждого типоразмера и формы деталей, а так же химического состава порошкового материала может иметь свои особенности, которые могут привести к нестабильности процесса производства деталей и получения значительного количества брака. Для снижения количества брака и обеспечения качества деталей необходимо обеспечить учет действия всех факторов, влияющих на процесс изготовления, в том числе и факторов, в значительной степени определяющих качество поверхностного слоя детали на финишных операциях при абразивной обработке.



Рис. 1. Примеры деталей и заготовок для электроинструмента, производимые методом порошковой металлургии на АО «Завод «Фиолент», г. Симферополь.

1. Изложение основного материала. Основные эксплуатационные характеристики деталей изготавливаемых из спеченных порошковых материалов, (износостойкость, коррозионная стойкость, предел выносливости и др.) в значительной степени определяется шероховатостью поверхности и структурой поверхностного слоя материала, которые окончательно формируются в основном на финишных операциях механической обработки. Наиболее часто в качестве таких операций используются различные виды абразивной обработки. Вопросам обеспечения качества поверхностного слоя детали при абразивной обработке в научно-технической литературе уделено много внимания [1-13 и др.]. Согласно [3, 7, 10, 11 и др.] шероховатость шлифованных поверхностей спеченных порошковых материалов определяется характеристикой шлифовального круга, режимами обработки, свойствами обрабатываемого материала и другими факторами, однако влияние отдельных технологических факторов на величину шероховатости неодинакова.

Образованию дефектов при шлифовании способствует повышенное термодинамическое воздействие, которое оказывает шлифовальный круг на поверхностный слой, имеющий напряженное состояние структуры после термической или химико-термической обработки (толщина слоя 0,005...2,5 мм) [14-16]. Минимальная шероховатость поверхности при плоском шлифовании [17] была достигнута за счет подбора характеристики шлифовального круга. В свою очередь, ее параметры по степени влияния на величину микронеровностей можно расположить в следующей последовательности: размер абразивного зерна, физико-механические характеристики связки, концентрация абразивных зерен, марка абразивного материала. Параметр Ra увеличивается почти в четыре раза (от 0,25 до 0,98 мкм) при увеличении зернистости в 2,5 раза (от 40 до 100). Вторым после зернистости по своей значимости фактором выступает связка шлифовальных кругов.

Переход от металлических связок к органическим, при плоской шлифовке ведет к снижению шероховатости обработанной поверхности [18]. Применение кругов с повышенной концентрацией абразивного материала для этой схемы шлифования деталей из спеченных порошковых материалов на основе железа также обеспечивает снижение шероховатости поверхности. Бесспорное влияние на формирование микрорельефа поверхностного слоя оказывает охлаждения. Без подачи СОТС в зону резания [2, 5, 15, 19] в результате воздействия температурного фактора меняется характер разрушения шлифованной поверхности. Кроме того, в результате налипания частиц материала на связку круга снижается его режущая способность. При использовании СОТС шлифовании пористых материалов наблюдается попадание ее в поры и изменение физико-химических свойств материала [3, 7, 12, 13 и др.].

Если экспериментальные исследования формирования поверхностного слоя деталей из спеченных пористых порошковых материалов на основе железа в некоторой степени освещены в литературе, то теоретические работы, направленные на прогнозирование шероховатости, образующейся при их шлифовании, практически отсутствуют, в отличие от шлифования сплошных материалов, где выполнены значительные теоретические исследования формирования микрорельефа поверхностного слоя при шлифовании [1, 6, 9, 11, 20-24]. Существующие модели основываются на копировании режущего профиля абразивных зерен при формировании шероховатости детали. Сейчас практически не изучено влияние режимов резания на формирование микрорельефа поверхностного слоя деталей в пористых материалах. В работах [5, 7, 12, 13 и др.] отмечалось, что при шлифовании с увеличением пористости материала шероховатость (Ra) обработанной поверхности увеличивается.

Характер распространения трещин в спеченных порошковых материалах определяется размерами, формой и прочностью межкристаллических границ их зерен [25, 26]. Границы зерен являются препятствиями для движения дислокаций, что является причиной образования трещин и при увеличении пористости возрастает их влияние на процесс деформации за счет скольжения по границам зерна [27]. Величина зерна, внутрикристаллическая и межкристаллическая пористость, определяют условия развития трещин и рельеф поверхности.

Задача прогнозирования качества обработки деталей из пористых спеченных порошковых материалов в целом рассматривались в работах [3, 7, 12, 13]. Эти работы могут служить основой для дальнейших теоретических исследований. Их авторы отмечают, что влияние пластических деформаций на форму единичных рисок, образующихся, не поддается точному аналитическому прогнозированию и могут быть найдены на основе эксперимента.

Разработка математической модели формирования микрорельефа поверхностного слоя возможна лишь с позиций рассмотрения теории взаимодействия шлифовального круга и заготовки, технологических условий шлифования.

Модель формирования микрорельефа необходимо строить на основе анализа взаимодействия шлифовального круга и заготовки из спеченного пористого порошкового материала с учетом вероятностного характера протекания процессов резания при шлифовании и физических закономерностей процесса разрушения припуска характерных для обработки порошковых материалов. Это позволит спрогнозировать параметры шероховатости поверхностного слоя при шлифовании и выбрать характеристику инструмента и режимы резания.

Трещины, возникающие в обрабатываемом материале в результате механической обработки, образуют дефектный слой. Глубина такого слоя в 3... 50 раз больше, чем значение параметра Ra [4, 15, 17, 19 и др.]. Этот слой снижает прочность деталей, может привести к дальнейшему росту трещин от статической усталости, особенно при перепадах температур. Глубина поверхностного слоя с разрушенной кристаллической структурой в 3...4 раза больше глубины рисок от зерен круга [17].

Следует отметить, что глубина дефектного слоя взаимосвязана с параметрами шероховатости, возникающей при механической обработке. Чем интенсивнее процесс шлифовки, то есть чем выше производительность, тем больше параметр шероховатости Ra и глубже дефектный слой в котором распространяются трещины [11, 17, 21, 23]. Более прочные материалы растрескиваются на меньшую глубину, чем менее прочные [28, 29].

Доминирующее влияние на глубину дефектного слоя оказывают материал абразива, размер абразивных зерен шлифовального круга и радиус округления их вершин, физико-механические свойства обрабатываемого материала и режимы шлифования [17].

При абразивной обработке пористых материалов имеют место как процессы микроскалывания, так и процессы объемно-пластического деформирования [1, 5, 6, 9, 30]. Вероятность возникновения того или иного процесса разрушения припуска зависит от физико-механических и химических свойств порошкового материала и режимов абразивной обработки.

С увеличением скорости круга глубина дефектного слоя уменьшается, а с увеличением давления на обрабатываемую заготовку – растет. Выбор типа и характеристики шлифовального круга, допустимого дисбаланса круга и режимов шлифования необходимо в жесткой связи с заданными характеристиками качества поверхностного слоя детали и исходными характеристиками заготовки.

Для определения характера развития трещин некоторые исследователи применяли метод индентирования. Непосредственно под индентором находится зона пластической (необратимой) деформации из которой зарождаются четыре основных типа трещин: радиальные, медианные (срединные), боковые (латеральные) и конические [27, 29]. Существуют некоторые расхождения относительно очередности образования трещин, появление которых при вдавливании острых пирамид во всех экспериментах регистрировалось датчиком акустической эмиссии [29]. При скольжении пирамидального индентора появляются две медианные трещины по направлению диагоналей пирамиды и боковые трещины. Медианные трещины совпадают с направлением скольжения и развиваются впереди индентора.

Изучению закономерностей возникновения и роста трещин при взаимодействии с единичным зерном геометрически определенной формы посвящена также группа работ [31, 32]. Изучение процессов взаимодействия абразива и поверхности монокристалла [28]

свидетельствует о существовании при определенных условиях всех указанных типов трещин не только при вдавливании индентора, но и при резке реальными абразивными зёрнами. На формирование дефектного слоя и его глубину может влиять и тепловой поток из зоны контакта абразивных зёрен с материалом заготовки при предельных величинах которого в поверхностном слое заготовки возникают термоупругие напряжения вызывающие возникновение и рост размеров (в зависимости от теплофизических свойств обрабатываемого материала, размера дефекта, его ориентации и расположения по глубине относительно поверхностного слоя) уже существующих трещин [33]. При шлифовании в поверхностном слое под действием силового и теплового полей возникает напряженно-деформированное состояние поверхностных слоев обрабатываемой заготовки, которое формирует дефектный слой.

Заключение. При формировании поверхностного слоя деталей из спеченных порошковых материалов на основе железа во время шлифования следует учитывать характеристики круга, режимы обработки и физико-механические свойства обрабатываемого материала. Даже мягкие режимы обработки могут приводить к образованию микротрещин в поверхностном слое детали, снижая ее эксплуатационные свойства.

К настоящему времени в достаточной мере не исследован процесс формирования дефектного слоя в деталях из спеченных порошковых материалов на основе железа при абразивной обработке и зависимость распределения дефектов в поверхностном слое деталей по размерам от физико-механических свойств материалов и режимов резания.

Для формирования минимальной дефектности и максимального качества обработанной поверхности за счет правильного выбора входных параметров технологического процесса необходимо выполнить более полные теоретические и экспериментальные исследования процесса абразивной обработки деталей из спеченных порошковых материалов.

Список литературы

1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения: в 10 т. / под ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. Т. 4: Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.
2. Рыжов Э.В., Сагарда А.А., Ильицкий В.Б., Чеповецкий И.Х. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке. – К.: Наук. думка, 1978. – 244 с.
3. Stephen Malkin, Changsheng Guo. Grinding technology. Theory and Applications of Machining with Abrasives. - Industrial press, New York, 2008. – 372 p.
4. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке. - Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1975. – 127 с.
5. Ioan D. Marinescu, Mike P. Hitchiner. Handbook of Machining with Grinding Wheels, Second Edition. - CRC Press, 2016. – 750 p.
6. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке: моногр. – Севастополь: Из-во СевНТУ, 2012. – 304с.
7. Душко О.В., Шумячер В.М. Алмазное шлифование карбидкремниевой керамики для машиностроения: моногр. – Волгоград: Волг-ГАСУ, 2009. – 80 с.
8. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. - М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
9. Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами. - М.: Машиностроение, 2007. – 688 с.

10. Фельдштейн Е.Э., Николаев В.А. Финишная механическая обработка деталей из порошковых материалов – Мн.: Выс. шк., 1987. – 132 с.
11. Mark J. Jackson, J. Paulo Davim. Machining with Abrasives. - Springer Science New York, 2011. – 432 p.
12. Белькевич Б. А. Обработка металлокерамических материалов резанием. – Мн. : Наука и техника, 1965. – 100 с.
13. Артамонов А.Я. Влияние условий обработки на физико-механическое состояние металлокерамических материалов. – К.: Изд-во АН УССР, 1965. – 262 с.
14. Кошин А.А. Исследование функциональных связей между предельными режимами и тепловыми критериями процессов алмазно-абразивной обработки. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Челябинск, 1974. – 22 с.
15. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
16. Сизый Ю.А., Фесенко А.В, Любимый Ю.Н. Накопление тепла в поверхностном слое детали в цикле врезного шлифования// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Выпуск № 7 (61). Т.1. – Харьков: Технологический Центр, 2013. – С.61-63.
17. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А., Дунин-Барковский И.В. Предотвращение дефектов при шлифовании – М.: Машиностроение, 1975. – 144 с.
18. Фукс М.Я., Беззубенко Н.К., Свердлова Б.М. Состояние поверхностного слоя материалов после алмазной и эльборовоной обработки – К.: Вища школа, 1979. – 158 с.
19. Бишутин С.Г. Обеспечение требуемой совокупности параметров качества поверхностных слоев деталей при шлифовании: моногр. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 144 с.
20. Новиков Ф.В., Шкурупий И.Г. Теоретические и экспериментальные исследования шероховатости обработанной поверхности // Физические и компьютерные технологии: тр. 9-ой межд. научно-техн. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2004. – С. 11-15.
21. Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки Ч. 2: Взаимодействие инструмента и заготовки при абразивной обработке. – Саратов, 1989. – 160 с.
22. Novoselov Yu. Bogutsky V., Shron L. Patterns of removing material in workpiece - grinding wheel contact area// Procedia Engineering. «International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017», 2017. – P. 991-996.
23. Фельдштейн Е.Э., Гребнев Н.П., Кульбицкий В.Е. Топография обработанной поверхности при плоском шлифовании спеченных антифрикционных материалов //ТРЕНИЕ И ИЗНОС. - Изд-во: ИММС НАН Беларуси. – 2005. - Т. 26, № 5. – С. 554-557.
24. Novoselov Yu. Bogutsky V., Shron L. Calculating the profile of intermittent grinding wheel for the sharpening teeth of the broach// MATEC Web of Conferences «International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2018» 224, 01003 (2018), 2018. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822401003>.
25. Федотов А.В. Изучение статической трещиностойкости спечённых материалов на основе порошкового железа// Прикладная механика и техническая физика. – 2001. - Т. 42, № 6. - С. 183-189.
26. Zheltonoga L.A, Gabrielov I.P. Characteristics of crack growth in sintered materials//Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics. Vol. 18, Iss.10. – 1979.– P. 744–748.
27. Kuna M. Finite elements in fracture mechanics. Theory –Numerics – Applications. - Springer Science+Business Media, 2013. – 447 p.

28. Карбань В.И. Особенности микроразрушения поверхностных слоев монокристаллов при абразивной обработке // Резание и инструмент, № 42. – Харьков: ХГУ, 1986. – С. 38–44.
29. Морозов Е.М. Зернин М.В. Контактные задачи механики разрушения. – М.: Машиностроение, 1999. – 544 с.
30. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с.
31. Шепелёв А.О. Інтенсифікація процесів шліфування інструментальних матеріалів кругами із синтетичних алмазів і кубічного нітриду бора: автореф. дис. ...докт. техн. наук. – Харків, 2002. – 36 с.
32. Приварников О.А. Связь характеристик круга и режимов обработки полупроводниковых материалов с нагрузкой на единичное зерно // Сверхтвердые материалы. – 1995. – № 6. – С. 36-40.
33. Усов А.В., Дубров А.Н., Дмитриев Д.В. Моделирование систем с распределенными параметрами: моногр. – Одесса: Астропринт, 2002. – 664 с.

Дата поступления: 4 октября 2019 г.