

УДК 621.923

В. Г. ШКУРУПІЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИРОВАНИЯ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

В статті розглядається абразивний інструмент і його взаємодія з оброблюваною поверхнею в процесі полірування. Абразивний полірування являє собою механохімічний процес згладжування поверхневого шару шляхом пластичного деформування мікронерівностей, знімання окислів з оброблюваної поверхні

Ключові слова: полірування, інструмент, вільний абразив, гранула, шорсткість.

В статье рассматривается механизм взаимодействия абразивного инструмента с обрабатываемой поверхностью при полировании. Абразивное полирование представляет собой механохимический процесс сглаживания поверхностного слоя путем пластического деформирования микронеровностей, съема окислов с обрабатываемой поверхности.

Ключевые слова: полирование, инструмент, свободный абразив, гранула, шероховатость.

The article discusses the mechanism of interaction of abrasive tools with the treated surface during polishing. The abrasive polishing is a mechano-chemical process of smoothing the surface layer by plastic deformation of the microscopic irregularities, removal of oxides from the treated surface

Keywords: polished, the tool, free abrasive, grain, roughness.

Введение. На финишных операциях обработки окончательно формируется поверхностный слой деталей машин. Производительность и качество абразивной обработки зависит от абразивной составляющей технологической среды [1].

Анализ публикаций по описанию механизма полирования поверхностных слоев деталей. Наиболее полный анализ существующих подходов к проблеме формообразования поверхностей при абразивном изнашивании провел Л. С. Цеснек [2], который предложил условно разделить процесс формообразования поверхностей на механический (макрофизический) и микрофизический. В твердом теле при механической обработке в зависимости от условий воздействия абразива возникает упругое и пластическое деформирование или происходит пластическое или хрупкое разрушение. Характер разрушения зависит от скорости деформации твердого тела.

Цель работы: изучить механику и статику контактных взаимодействий, что необходимо для построения моделей обработки и формирования качества поверхностного слоя. Экспериментальный и теоретический методы моделирования процесса полирования свободным абразивом позволяет сочетать достаточно точные экспериментальные описания конкретных операций обработки с лучшим пониманием процессов при высокой степени абстракции (теоретическое моделирование).

Содержание работы. При разработке моделей необходимо учитывать противоречивость в достижении поставленных целей. Например, повышение производительности требует ужесточения режимов обработки, а повышение качества – смягчения.

При моделировании процесса полирования необходимо учесть скорость и траекторию движения частиц, их размеры и зернистость, механические свойства материала детали. Модель абразивного инструмента при полировании может быть представлена в виде схемы рис.1. Абразивное полирование в зависимости от характера применяемых абразивных рабочих сред и технологических жидкостей представляет собой механохимический процесс сглаживания поверх-

ностного слоя путем пластического деформирования микронеровностей, съема окислов с обрабатываемой поверхности.

Процесс полирования сопровождается последовательным нанесением на поверхность обрабатываемых деталей большого числа царапин и следов пластического деформирования при их взаимном наложении и пересечении. Технологическая жидкость обеспечивает удаление продуктов износа (частиц металла и абразивных частиц) с поверхности обрабатываемой детали, способствует охлаждению поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Интенсивность обработки зависит от динамических параметров, определяемых режимами полирования, продолжительностью полирования, характеристиками и размерами частиц абразива, характеристиками механических свойств материала детали.

Режущий инструмент формируется непосредственно в процессе обработки как абразивная среда с особыми свойствами и определенными внутренними связями. Сложная геометрическая форма зерен и их режущей части является одной из важнейших характеристик абразивного инструмента.

Параметры режущего профиля абразивной гранулы (скопления абразивных зерен) определяется величиной и расположением абразивных зерен. При единичном взаимодействии абразивной гранулы с поверхностью детали через сечение неровностей обрабатываемой поверхности, перпендикулярное направлению относительного движения гранулы, пройдет несколько слоев определенной толщины. Элементарные режущие профили будут случайным образом накладываться друг на друга, а на поверхности детали будет копироваться их огибающая, представляющая собой эффективный режущий профиль гранулы. Профиль шероховатости поверхности детали в поперечном сечении абразивных царапин копирует эффективный режущий профиль гранулы, будет зависеть от глубины внедрения зерен h_{max} , от исходной шероховатости поверхности детали и от параметров распределения вершин абразивных зерен по высоте.



Рис. 1 – Формирование физико-химического состояния поверхностного слоя при обработке свободным абразивом

Абразивный инструмент в первую очередь будет контактировать с выступами исходной шероховатости поверхности, при этом будет происходить постепенное скругление выступов. В процессе полирования высотные параметры профиля исходной шероховатости поверхности будут уменьшаться, а шаговые параметры будут изменяться незначительно. Если прекратить процесс полирования через 30 с от начала полирования, то при исходной шероховатости после шлифования сохранится часть исходного микрорельефа, при этом шероховатость поверхности детали будет состоять из сглаженных выступов. Опорная поверхность обработанной детали на уровнях 10, 20, 30, 40 % будет значительно увеличена по сравнению с исходной, а впадины микрорельефа останутся без изменений. Продолжение процесса полирования приведет к полному удалению выступов исходной шероховатости. Отношение высотных параметров R_a / R_{\max} при этом уменьшится. Это свидетельствует о возникновении большого количества царапин на полированной поверхности, связанных с наличием укрупненной фракции в поставляемых промышленностью абразивных порошках. В дальнейшем процесс полирования стабилизируется. Характерный для процесса полирования рельеф будет постоянно воспроизводиться, его параметры не будут изменяться с течением времени, а будут определяться режимами обработки и зернистостью применяемого абразива.

Профиль установившейся шероховатости поверхности не зависит от исходной шероховатости шлифованной поверхности, а будет определяться только технологическими параметрами процесса. Дальнейшее улучшение шероховатости поверхности

детали можно получить либо изменением режимов обработки, или заменой абразивной среды на более мелкозернистую. Замене абразива предшествует тщательная очистка обработанного поверхностного слоя от остатков предшествующей рабочей среды.

Проведенные нами ранее исследования позволили рекомендовать технологические среды на основе ультрадисперсных абразивов оксида алюминия, которые получают газодисперсным синтезом.

Абразивный порошок характеризуют:

- минимальная величина фракции (около 0,01 мкм).
- равномерность фракции (от 0,07 до 1,04 мкм).
- сферическая форма абразива.
- наличие окиси алюминия (Al_2O_3) до 99,9%.

В экспериментах при полировании использовали неабразивную составляющую в виде дистиллированной воды (на одну часть абразива четыре части дистиллированной воды).

Для достижения сверх гладких поверхностей, на наш взгляд, необходимо обеспечить:

метрологическое обеспечение контроля качества обработки (проблемы возникают при оценке наноразмерных неровностей на обработанной поверхности);

выбор соответствующей технологической среды; разработка системы управления процессом формирования поверхностного слоя детали.

Процесс полирования зависит от фактической площади контакта абразивных частиц с поверхностью детали. Фактическая площадь касания абразивных частиц гранулы и поверхности обрабатываемой детали будет зависеть от распределения неровностей по

высоте, механических характеристик контактирующих тел, величины сил, действующих на эти тела и напряженного состояния в зоне контакта. Площадь фактического контакта определяется физико-механическими свойствами более мягкого тела и геометрией поверхности более твердого материала (абразива). Влияние шероховатости поверхности на площадь фактического контакта будет сказываться слабо, в основном, в начальный период обработки.

Геометрическую форму профиля режущей части зерен описывают и треугольником, и треугольником с радиусом округления при вершине, и трапецией, и параболой [1, 3, 4, 5]. Абразивные зерна не имеют постоянных радиусов округления вершин [3]. Форма профиля зерна представляется также в виде эллипсоида, и в виде окружности, и в виде набора нескольких окружностей. При изучении под микроскопом на выступах зерен можно выделять микрорельеф и субмикрорельеф, обусловленные кристаллическим строением зерен абразива.

В работе [6] установлено, что форму абразивной царапины, оставленной одним зерном, можно аппроксимировать функцией вида:

$$b_i = n \cdot a_i^m,$$

где b – ширина царапины;
 a – глубина царапины.

Отношение ширины абразивных царапин к глубине слабо зависит от размеров зерен: $b_i = 3,8 \cdot a_i$.

Это отношение будет стабильным для данного процесса обработки.

Для поверхности абразивных гранул статическую модель можно описать следующим образом: рабочий слой гранулы – это слой расположенный между наружной поверхностью гранулы и условной поверхностью связи. Распределение зерен в абразивной грануле определяется законом нормального распределения. В процессе полирования происходит износ абразивных зерен в виде частичного скалывания и их разрушения. В условиях многократного ударного взаимодействия абразивной гранулы с другими гранулами и поверхностью детали разрушившиеся зерна удаляются из места условной связи и одновременно обнажаются новые зерна, имитируя явление «самозатачивания», характерное для жесткой связи. Это необходимо учитывать при построении кинематической модели инструмента.

Изменяя режимы обработки можно в значительной мере влиять на результаты обработки.

Определив количественные параметры единичного взаимодействия можно оценить количество таких взаимодействий в единицу времени на единице площади обрабатываемой поверхности.

В работе [7] сделан вывод, что при сглаживании поверхностного слоя детали время цикла последующего процесса полирования будет уменьшаться интенсивнее, чем снижение высотных параметров исходной шероховатости до обработки; для каждой зернистости абразивного материала существует предел по стабилизации значений высотного параметра ше-

роховатости поверхности, а это очень важно при назначении последовательности использования рабочих сред при сглаживании поверхностного слоя деталей. Этот предел будет зависеть от исходного состояния поверхности детали до обработки. Учитывая, что зависимости высотных параметров шероховатости поверхности при полировании от времени обработки стабилизируется к первой минуте обработки [7] сглаживание поверхностного слоя следует проводить поэтапно, снижая зернистость абразива. После шлифования необходимо выполнить абразивное полирование алмазной пастой АСМ 5/3 в течение 1 мин. После тщательной очистки поверхности от остатков рабочей среды следует применить обработку алмазной пастой АСМ 2/1 в течение 1 мин. и на третьем этапе обработки производить суспензией с нано порошком Al_2O_3 .

Выводы.

1. Отношение высотных параметров шероховатости поверхности R_a / R_{max} может быть использовано для контроля дефектов поверхности после применения финишных методов обработки.

2. Сглаживание поверхностного слоя следует проводить поэтапно, снижая зернистость абразива.

Список литературы

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А. Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
2. Цеснек Л. С. Механика и микрофизика истирания поверхностей / Л. С. Цеснек. – М.: Машиностроение, 1979. – 264 с.
3. Королев А. В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки / А. В. Королев, Ю. К. Новоселов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 320 с.
4. Мартынов А. Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами / А. Н. Мартынов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1981. – 212 с.
5. Маслов Е. Н. Теоретические основы процессов царапания металлов / Е. Н. Маслов // Склерометрия. – М.: Наука, 1968. – С. 24–44.
6. Королев А. В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А. В. Королев. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 191 с.
7. Шкурूपий В. Г. Сглаживание поверхностного слоя деталей из меди и алюминия при их абразивном полировании / В. Г. Шкурूपий, Ю. Ф. Назаров // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь: ПДТУ, 2010. – Вып. 12. – С. 281–285.

References (transliterated)

1. Abrazivnaya ialmaznaya obrabotka materialov: Spravochnik / Pod red. A. N. Reznikova. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 391 s.
2. Tsesnek L. S. Mekhanika i mikrofizika istiraniya poverkhnostey / L. S. Tsesnek. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 264 s.
3. Korolev A. V. Teoretiko-veroyatnostnye osnovy abrazivnoy obrabotki / A. V. Korolev, Yu. K. Novoselov. – Saratov: Izd-vo Saratov. un-ta, 1989. – 320 s.
4. Martynov A. N. Osnovy metoda obrabotki detaley svobodnym abrazivom, uplotnennym inertsiionnymi silami / A. N. Martynov. – Saratov: Izd-vo Saratov. un-ta, 1981. – 212 s.
5. Maslov E. N. Teoreticheskie osnovy protsessov tsarapaniya metallov / E. N. Maslov // Sklerometriya. – M.: Nauka, 1968. – S. 24–44.
6. Korolev A. V. Issledovanie protsessov obrazovaniya poverkhnostey instrumenta i detalei pri abrazivnoy obrabotke / A. V. Korolev. – Saratov: Izd-vo Saratov. un-ta, 1975. – 191 s.
7. Shkurupiy V. G. Sglazhivanie poverkhnostnogo sloya detaley iz medi i aluminiuma pri ik abrazivnom polirovani / V. G. Shkurupiy, Yu. F. Nazarov // Zashita metallurgicheskikh mashin ot polomok. – Mariupol: PDTU, 2010. – Vyp. 12. – S. 281–285.

Поступила (received) 05.02.2016

