

УДК 621.923

НАНОТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ветров С. И., инж. (г. Москва, Россия), Назаров Ю. Ф., д. т. н., проф. (г. Москва, Россия),

Шкурупий В. Г., к. т. н. (г. Харьков, Украина)

Розглянуті особливості обробки різанням для отримання надгладких поверхонь деталей.

Понятие «нанотехнология» напрямую связано с качественно новым уровнем развития технологии производства машин, причем обработка резанием в производстве машин занимает преобладающее положение, так как ее трудоемкость составляет свыше 90% трудоемкости размерной обработки [1].

Особенно актуально применение нанотехнологии в производстве точных деталей машин, таких как металлические зеркала для лазерной техники, широко применяемые на различных участках рабочего тракта прохождения лазерного луча. Они должны иметь высокую отражательную способность, например, для зеркал из меди - свыше 99%, а высота неровностей на поверхности должна составлять 5 -3 нанометра. Рабочие поверхности алюминиевых подложек электронных приборов, детали адаптивной оптики, гироскопических устройств должны иметь нанометрические размеры неровностей. Поэтому применение нанотехнологии обработки, обеспечивающей необходимые параметры поверхностного слоя деталей, является весьма актуальным для машиностроения.

Примером применения обработки резанием в нанотехнологии является изготовление элементов адаптивного зеркала диаметром около 4 метров, состоящего из набора металлических сегментов (создано в США компанией ТКВ). Требуемое качество сегментов было обеспечено нанотехнологией обработки резанием.

Однако обработка супергладких суперточных металлических поверхностей имеет свою специфику, связанную с ее электронным строением.

Свободные электроны при нарушении кристаллической решетки в граничном слое выходят на поверхность и образуют так называемый двойной электрический слой, который и определяет свойства (проводимость) верхнего граничного слоя. Причем наличие двойного электрического слоя определяет и процессы окисления на поверхности металла, т. е. образование пленок неметаллической проводимости, от которых и зависят свойства верхнего граничного слоя металлической поверхности. Они могут быть значительно больше по толщине, чем высота шероховатости обрабатываемой поверхности.

В связи с вышеизложенным, образование двойного электрического слоя на металлической поверхности определяет степень нарушения в кристаллической решетке металла и может являться мерой его дефектности. Эти изменения на поверхности можно количественно оценить с помощью измерения работы выхода электрона, которая определяет величину работы по перемещению электронов на поверхности металла.

Учитывая это обстоятельство, нами было предложено осуществлять контроль состояния поверхностного слоя после обработки резанием путем оценки параметров поверхности по величине работы выхода электрона (РВЭ), так как она чувствительна к изменению физико-химического состояния поверхности.

Разработанные нами теоретические положения, в отличие от существующих, заключаются в установлении взаимосвязей между эксплуатационными характеристиками и технологическими параметрами с помощью интегральных параметров поверхностного слоя: фактора шероховатости и величины работы выхода электрона.

При установлении взаимосвязей в качестве геометрических были выбраны параметры: волнистости, шероховатости поверхности (согласно ГОСТ) и фактор шероховатости F [2], а параметрами физико-химического состояния поверхности приняты: структура, фазовое состояние, химический состав фаз и толщина неметаллической пленки. Интегральными параметрами рассогласования выбраны: для геометрических характеристик - фактор шероховатости F , для физико-химических - Φ - величина работы выхода электрона. Согласно схеме информация о параметрах поверхностного слоя, соответствующая текущему состоянию изделия, поступает вместе с техническими требованиями в коррелятор автоматизированной системы управления эксплуатационными характеристиками. Коррелятор обрабатывает поступившую информацию, устанавливает взаимосвязь через интегратор между различными параметрами поверхности и режимами обработки и выдает указания оборудованию с ЧПУ на установление режимов обработки. Тем самым определяется дальнейшая стратегия нанообработки, направленная на достижение заданных эксплуатационных характеристик на примере обеспечения максимальной отражательной способности лазерных зеркал.

Для прояснения процедуры использования интегральных параметров рассогласования F и Φ рассмотрим граничный поверхностный слой. Фактор шероховатости показывает отношение площади гладкой замыкающей

части впадины к площади шероховатой части впадины $F = F_r / F_{ш}$. Он учитывает не только высоту шероховатости, высоту субмикрощероховатости, но и полноту впадин (выступов) шероховатости. На практике этот фактор определяется из профилограмм и электронных снимков. Анализ значений фактора шероховатости на поверхностях деталей после различной обработки показал, что при высоте шероховатости $R_z \leq 100$ нм его величина практически равна 1. Поэтому его можно использовать как интегральный параметр при получении высоты шероховатости не менее 100 нм.

При уменьшении высоты шероховатости менее 100 нм интегральным параметром рассогласования принята величина РВЭ, которая на практике измеряется через величину контактной разности потенциалов.

Исследования показали, что величина РВЭ может оценивать любое изменение физико-химического состояния в результате обработки поверхности. На практике в нанотехнологии обработки деталей машин применяют как абразивную, так и лезвийную обработки.

Для наноабразивной обработки разработаны технологические среды на основе ультрадисперсных абразивов оксида алюминия (УДА), которые получают газодисперсным синтезом (ГДС), суть которого заключается в синтезе УДА в зоне горения ламинарного двухфазного факела газозвесей металлических порошков в кислородосодержащем газе. При этом полностью реализуются возможности системы металл-кислород и достигаются высокие температуры, необходимые для синтеза оксидов металлов за счет тепловыделения от собственных химических реакций.

Частицы УДА имеют сферическую форму диаметром около 100 нм. Сглаживающий эффект, который оказывает абразивная суспензия с наличием сферического абразива позволяет уменьшить резание-царапание поверхности и перейти к эффекту микровыкатывания и тем самым обеспечивает высоту шероховатости 5-3 нм.

Для технологических систем нанолезвийной обработки разработаны специальные средства технологического оснащения. Для таких систем траектории движения резца должна соответствовать расчетной траектории с точностью до 10-5 нанометров. Точность вращения шпинделя или стола с обрабатываемой деталью должна быть того же порядка. Для обработки применяют алмазные резцы с прямолинейной режущей кромкой (фацеткой). Процесс обработки фацеточным резцом состоит из двух составляющих - резания и выглаживания. При перемещении вдоль обрабатываемой поверхности при подаче, намного меньшей, чем длина l фацетки ($S < l$), фацетка многократно проходит по обрабатываемой поверхности, либо подрезая, либо прижимая неровности, возникающие в процессе резания. Совмещение этих двух процессов позволяет получить поверхность с $R_z \leq 100$ нм. Высота шероховатости поверхности при обработке таким резцом определяется, кроме качества резца, также положением фацетки инструмента относительно направления подачи.

В России созданы станки для наноточения моделей МК 6511, МК 6512, МК 6513, МК 6514, МК 6516, МК 6501, МК 6502, МК 6521Ф3, МК 6522Ф3. На таких станках была обеспечена высота шероховатости поверхности 10-5 нм при обработке мягких материалов. Созданные модели станков позволяют обрабатывать плоские, цилиндрические, конусные, сферические и асферические поверхности диаметром до 500 мм и высотой до 150 мм. На специально созданном стенде было обработано плоское зеркало диаметром 1200 мм, а на станке МК 6562 можно обрабатывать цилиндрические поверхности диаметром до 400 мм и длиной до 800 мм.

Главной проблемой, которую необходимо решить при построении особоточных станков, является вибрация, как внешняя, идущая на станок через фундамент, так и внутренняя, возникающая от работы узлов и систем самого станка. Особенностью конструкции таких станков является применение аэростатических опор и инерционных приводов, которые позволяют решать проблему внешней и внутренней вибрации. Комплект оборудования строится по агрегатно-модульному принципу с уровнем унификации узлов и деталей до 80%. Оборудование, входящее в комплект, может изготавливаться как с ЧПУ, так и с ручным управлением. Базовым станком в указанном комплекте оборудования является сверхточный станок МК 6521Ф3.04 с ЧПУ для обработки наружных и внутренних поверхностей тел вращения, а также сферических и асферических поверхностей, имеющий следующие параметры обработки:

| | |
|------------------------------------------------------|--------|
| Наибольший диаметр заготовки, мм | 300 |
| Наибольшая длина заготовки, мм | 200 |
| Дискретность обработки перемещений по осям X и Z, нм | 10 |
| Шероховатость обрабатываемой поверхности R_z , нм | 10^5 |

Станок скомпонован следующим образом. На станине Т-образной формы установлены два суппорта. Один перемещается по оси X (инструментальный суппорт), другой - по оси Z (суппорт шпиндельного узла). Т-образное расположение суппортов позволяет уменьшить высоту расположения оси шпинделя над станиной, более равномерно распределить нагрузки на суппорты, перемещающиеся по осям X и Z, увеличить жесткость несущей системы станка. Т-образная станина установлена на пневматических опорах.

В исполнительных органах станка использованы аэростатические опоры, бесконтактные магнитные передачи винт-гайка, а также демпферы, основанные на сверхвязких жидкостях.

Литература: 1. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф., Ибрагимов И.М. Основы нанотехнологии в технике. - М: МГОУ, 2006. С.241. 2. Шкурупий В. Г. Повышение эффективности технологии финишной обработки светоотражательных поверхностей деталей из тонкого листа и лент. - Автореф. дис. ... канд. техн. наук, Одесса: ОНПУ, 2006.