

ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ "ПОИСК"

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1975 г.

Т Е Х Н О Л О Г И Я

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Выпуск 8

ПРОБЛЕМЫ НАНОТЕХНОЛОГИИ

ДЕТАЛЕЙ МАШИНЫ

Научные редакторы докт. техн. наук Ю.Ф. Назаров,
канд. техн. наук В.Х. Постаногов

НИИТМ

1990

Предложенный метод определения технологической наследственности довольно гибок и может быть использован для расчета технологической сети с точностью до одного перехода. При этом можно управлять технологической наследственностью, изменяя содержание операций. Можно изменить условие оптимального маршрута, если опустить на некоторых операциях возрастание показаний технологической наследственности с последующим планомерным их подавлением и т.п.

Выводы.

Таким образом, изучение особенностей формирования металлической поверхности в процессе их обработки позволило предложить концепцию нанотехнологии, которая основана на установлении корреляции между эксплуатационной характеристикой (отражательной способностью) и интегральными параметрами поверхности – фактором шероховатости и величиной работы выхода электрона, измеряемой через контактную разность потенциалов.

Список литературы

1. Цеснек Л.С., Сорокин О.В., Золотухин А.Л. Металлические зеркала. М.:Машиностроение. 1983. С.353.
2. Тараненко В.Г., Шанин О.И., Боуден Ф.Р. Адаптивная оптика. М.:Радио и связь. 1990. С.111.
3. Bowden F.P. and Hughes T.P. Proc. Royal Society 1937, 150 И.Р. 575.
4. Preston F. Machines & Classltd. 1927, v.20, p.2.
5. Гребенчиков И.В. О шлифовке и полировке //Известия АН СССР, 1937, № I. С.39-46.
6. Агабабов С.Т. Влияние фактора шероховатости на радиационные свойства твердого тела со случайной шероховатостью//Теплофизика высоких температур. 1975. Т.3. С.314-318.
7. Назаров Ю.Ф., Семенов В.Н., Попова Л.А. Исследования влияния обработки резанием на поглощательную способность металлической поверхности//Вестник машиностроения. 1988, № 12. С.41-43.
8. Рубан В.И., Назаров Ю.Ф., Петров Л.М., Романова В.И. Корреляция между отражательной способностью и работой выхода электрона//Физико-механическая промышленность, 1988, № 12. С.9-11.

9. Назаров Ю.Ф., Мельников О.Н. Выбор оптимального маршрута обработки деталей с учетом технологической наследственности//Вестник машиностроения, 1986, № 6. С.47-49.

10. Корженевич И.М., Мельников О.Н., Назаров Ю.Ф. Оптические свойства металлической поверхности с пленкой различной проводимости//Поверхность. Физика, химия, механика. 1983, № 2. С.137-144.

УДК 621.9-187.4

Маринин Г.В., Колскольцев Г.И.,
Лазарев М.Д., Горохов В.С.,
Задорин А.Г.

НАНОТЕХНОЛОГИЯ И ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С СУБМИКРОННОЙ ТОЧНОСТЬЮ

Развитие прецизионного машиностроения и приборостроения обусловило создание и совершенствование технологических процессов, а также металлорежущих станков, режущих инструментов и контрольно-измерительных средств, позволяющих обеспечить изготовление прецизионных деталей машин и приборов с повышенными техническими требованиями к точностным параметрам.

Так, в начале 70-х годов технологические процессы обеспечивали финишную обработку деталей машин и приборов в диапазоне микрометров. В конце 70-х годов были созданы технологические процессы, которые позволили вести механическую обработку отдельных деталей машин и приборов в диапазоне уже нанометров.

По прогнозу ученых к началу 21 века должны быть созданы также технологические процессы, а также металлорежущие станки, контрольно-измерительные средства и инструменты, которые внесут кардинальные изменения в существующие представления о нормах точности в машиностроении, в том числе в станкостроении, а также приборостроении.

У
И
К
Т
Т
К
В
Р
З
Н
Д
Т
У
Л

Так, детали, обработанные с погрешностями формы, размеров и взаимного расположения поверхностей до 5 мкм, будут относиться к деталям с нормальной точностью обработки; детали, обработанные с указанными погрешностями до 0,05 мкм – к деталям высокоточной обработки; детали же, обработанные с аналогичными погрешностями до 0,005 мкм – к деталям сверхточной обработки.

Металлорежущие станки и контрольно-измерительные средства, обеспечивающие обработку и измерение деталей с указанными погрешностями, должны будут относиться соответственно к металлорежущим станкам и контрольно-измерительным средствам нормальной точности, высокоточным и сверхточным.

Прогнозируемый уровень точности деталей машин и приборов, а также уровень точности металлорежущих станков должен быть обеспечен метрологически. При этом контрольно-измерительные средства должны иметь диапазон погрешностей изготовления с еще меньшими предельными величинами.

Таким образом, технология, обеспечивающая обработку деталей машин и приборов в диапазоне нанометров, – новая область машиностроения и приборостроения. Главным образом по этой причине в немногочисленных научно-технических источниках, особенно в зарубежных, широко используются понятия, значение которых, по имеющейся у авторов статьи информации, не получило разъяснений в какой-либо известной авторам публикации. В этой связи авторы статьи разъясняют следующие понятия:

нанотехнология – это наука о способах воздействия на материалы, обеспечивающих изготовление деталей машин и приборов с параметрами, измеряемыми в нановеличинах, в том числе к нанотехнологии относится воздействие на материалы методами наноточения, нанофрезерования и наношлифования или совокупностью этих методов при изготовлении прецизионных машин и приборов с погрешностями формы, размеров и взаимного расположения поверхностей, измеряемыми в нановеличинах*;

обработка деталей с субмикронной точностью – это обработка деталей машин и приборов с погрешностями, измеряемыми в долях микрометра;

* Нано (в переводе с греческого – карлик) – приставка для образования наименований дольных единиц, по размеру равных одной миллиардной доле исходной единицы. Например, 1 нм = 10⁻⁹ м.

обработка деталей с субмикронной точностью обеспечивается нанотехнологией.

В настоящей статье под обработкой деталей с субмикронной точностью имеется в виду обработка деталей машин и приборов нанорезанием. Под понятием нанорезание понимается обработка деталей машин и приборов с субмикронной точностью; наноточение – методом точения; нанофрезерование – методом фрезерования; наношлифование – методом шлифования.

Контрольно-измерительные средства и системы субмикронной точности – это такие средства и системы, которые позволяют метрологически обеспечивать обработку деталей машин и приборов с субмикронной точностью и включающие в себя как контрольно-измерительные средства для измерения обработанных деталей, так и эталонные средства, предназначенные для аттестации контрольно-измерительных средств.

Станки субмикронной точности – металлорежущие станки, обеспечивающие наноточение, нанофрезерование и наношлифование деталей машин и приборов.

Достоверность прогноза ученых подтверждается быстрым развитием нанотехнологии в различных отраслях машиностроения. Так, по данным открытой печати, в США и Японии нанотехнология используется при изготовлении различных деталей, в том числе металлических зеркал, деталей видеотехники, деталей двигателей внутреннего сгорания для автомобилей, лопаток турбин и компрессоров авиационных двигателей. При этом в качестве инструмента используются алмаз и кубический нитрид бора как для наноточения, так и для наношлифования.

Зарубежные источники отмечают высокую экономическую эффективность нанотехнологии. Так, например, затраты на изготовление одного металлического зеркала диаметром 500 мм только после внедрения алмазного наноточения снижаются в 50 раз (до внедрения этого процесса затраты на финишную обработку одного зеркала составляли 500 тыс. долл.) по сравнению с ранее существовавшей технологией, основанной на полировании зеркала.

В области использования контрольно-измерительных средств в нанотехнологических процессах за рубежом наметилась тенденция разработки бесконтактных методов измерения, которые поз-

У
И
К
Т
Т
И
Н
Д
З
Н
И
У
Л

воляют реализовать точность, соответствующую расстройку между атомами кристаллов, равную 0,1 нм. При этом одним из требований к измерению деталей, обработанных с субмикронной точностью, является обязательное проведение измерений непосредственно в ходе технологического процесса без снятия обрабатываемой детали или режущего инструмента со станка.

Создатели измерительных систем субмикронной точности, например в Японии, считают перспективным направлением разработку интеллектуальных измерительных систем, способных вести активные измерения, заключающиеся в быстром преобразовании, обработке, запоминании и выдаче данных с помощью ЭВМ.

Работы по созданию технологии наноточения и специальных станков в Минстанкопроме СССР впервые были начаты в начале 70-х годов на Московском СПО "Красный пролетарий". Здесь разработано более 10 моделей специальных сверхточных станков, на которых обеспечивается обработка цилиндрических и торцевых поверхностей на деталях типа тел вращения, например цилиндров для электрографических машин, дисков памяти ЭВМ, с погрешностью формы менее 1 мкм, с высотой микронеровностей на обрабатываемых поверхностях до 0,025 мкм.

Выполненные на СПО "Красный пролетарий" научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы позволили создать научно-технический потенциал, необходимый для разработки специальной программы работ в числе одной из 14 государственных программ "Технологии, машины и производства будущего" и основного направления работ по этой программе "Контрольно-измерительные системы и станки субмикронной точности".

В соответствии с указанной специально разработанной программой работ на СПО "Красный пролетарий" ведутся работы по созданию комплекта сверхточного оборудования, предназначенного для изготовления сверхточных деталей в различных областях, в том числе в сверхточной механике, авиационной и космической технике, множительной технике, лазерной технике, видео- и радиотехнике, производстве оптики, световолоконной связи, вычислительной технике, топливной аппаратуре.

В состав указанного комплекта сверхточного оборудования входят: токарный обрабатывающий центр, расточной обрабатывающий центр, шлифовальный центр, измерительный центр.

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 с ЧПУ мод. МК6521Ф3.04 для обработки наружных и внутренних поверхностей типа тел вращения, а также сферических и асферических поверхностей (рис.1).

Краткие технические характеристики станка:

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм	300
Наибольшая длина обрабатываемого изделия, мм	200
Дискретность отработки перемещений по осям X и Z, мм	10
Шероховатость обрабатываемой поверхности R _z , менее, нм	25
Погрешность формы обработанной поверхности, мкм	0,5

Станок сконструирован следующим образом.

На станине Т-образной формы установлены два суппорта. Один перемещается по оси X - инструментальный суппорт, а второй перемещается по оси Z - суппорт шпиндельного узла. Т-образное расположение суппортов позволяет уменьшить высоту расположения оси шпинделя над станиной, более равномерно распределить нагрузку на суппорты, перемещающиеся по осям X и Z, увеличить жесткость несущей системы станка.

Т-образная станина установлена на пневматических виброизолирующих опорах.

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

Для отсчета координат используется двухкоординатный лазерный датчик линейных перемещений.

У
К
К
Т
П
К
В
Н
С
Л
К
Л

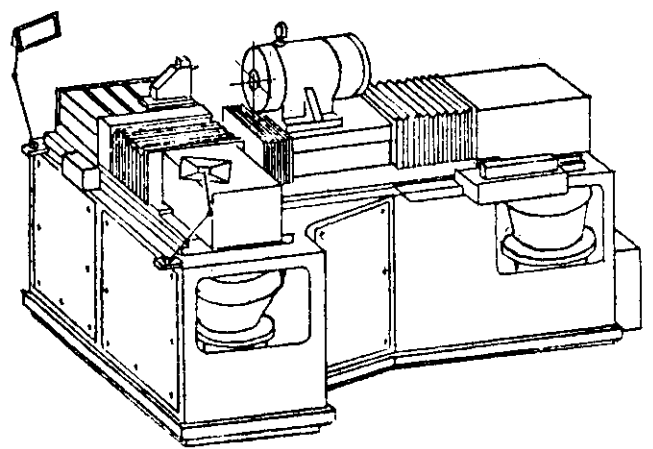
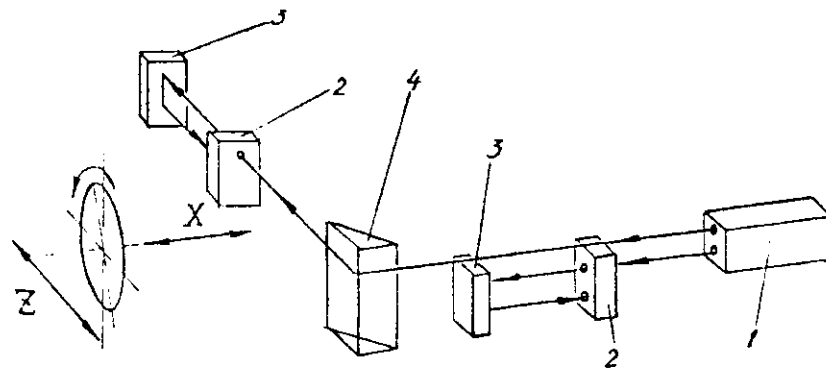


Рис. 1. Симметричный чертёж светового токарного станка мод. 43652123.04 и кинематика рабочих движений:
1 - галлий-арсенидный лазер; 2 - интерферометр; 3 - углово-
вый отражатель; 4 - поворотное зеркало

Управление станком осуществляется многопроцессорной специализированной системой ЧПУ с устройством подготовки управляющих программ.

Главный привод станка выполнен по схеме электромашиного преобразователя. Такая схема обеспечивает минимум вибрации и нагрева исполнительного двигателя, и следовательно, положительно влияет на точностные характеристики станка.

Привод шпинделя осуществляется многополюсным электродвигателем, частота электромагнитных вибраций которого - сотни герц, а собственные частоты узлов станка, как правило, на порядок меньше.

В связи с этим воздействие электромагнитных вибраций на станок ничтожно мало.

Конструктивно электрическая часть главного привода выполнена из трех основных блоков: статического преобразователя частоты, электромашиного преобразователя и исполнительного двигателя шпинделя.

Связь главного привода с системой ЧПУ обеспечивается с помощью сигналов задания частоты вращения, сигнала обратной связи по скорости с помощью фотоимпульсного датчика, а также с помощью логических сигналов электроавтоматики.

Привод подач, как и главный привод станка, является мало-виброактивным. Двигатель подач напрямую не связан с зоной обработки, а присоединен к винту бесконтактной передачи винт-гайка. При этом основной поток вибраций действует в направлении, перпендикулярном направлению движения суппортов, и задемпфирован горизонтальными и вертикальными демпферами.

Электропривод подач является полностью бесконтактным и конструктивно выполнен в виде блоков: электродвигателя синхронного с постоянными магнитами, преобразователя напряжения, синхронного тахогенератора и датчика положения ротора.

Сигнал о начале работы привода подач подается системой ЧПУ. Обратная связь по положению осуществляется с помощью датчиков обратной связи (поворотного датчика или лазерного интерферометра).

Станок мод. МК652 IФ3.04 характеризуется:

- минимальными потерями на трение при движении исполнительных органов;
- минимальным выделением тепла в опорах;
- высокой точностью заданной траектории исполнительных органов;
- заданной жесткостью опор исполнительных органов;
- широкими технологическими возможностями, мобильностью и высокой производительностью;
- долговечностью;
- технологичностью изготовления и сравнительно низкой стоимостью.

В соответствии с заданием специально разработанной программы работ, о которой упоминалось выше, производственным объединением "Московский станкостроительный завод" Минстанкопрома СССР создан специальный сверхточный шлифовальный станок мод. МШ356, предназначенный для обработки плоских и сложных геометрических поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов, в том числе сферических и асферических торцевых поверхностей.

Техническая характеристика станка

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм	1000
Наибольшая высота обрабатываемого изделия (с приспособлением), мм	500*
Наименьший радиус вписанной сферы, мм	2500
Дискретность отработки перемещений по осям X и Z, нм	10
Шероховатость обработанной поверхности R_z менее, нм	25
Отклонение формы обработанной поверхности, мкм	1

Станок имеет порталную компоновку. Станина станка установлена на четырех пневматических виброизолирующих опорах. Шпиндели шлифовального круга, стола и механизма правки вращаются в застатических подшипниках. Суппорты осей X и Z перемещаются на застатических направляющих. Приводы литейных перемещений

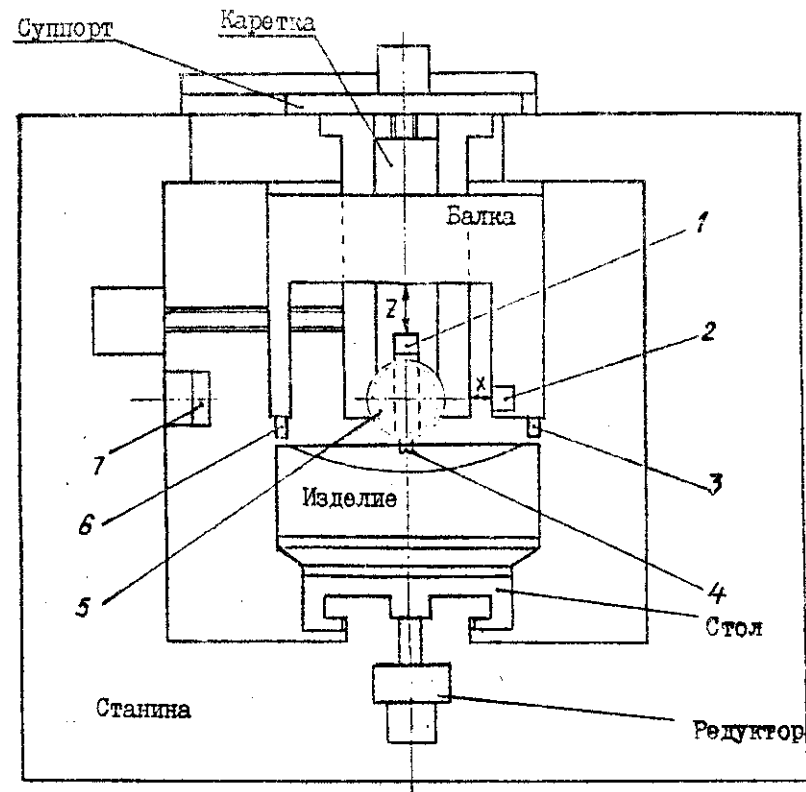


Рис.2. Схема специального сверхточного шлифовального станка мод. МШ356

суппортов осуществляются через бесконтактные магнитные передачи винт-гайка, привод круговой подачи стола - через бесконтактный магнитный волновой редуктор. Электродвигатели и преобразователи всех электроприводов маловиброактивные.

На рис.2 схематически изображены основные элементы станка (без устройства ЧПУ и преобразователей электроприводов). Шлифовальный круг вращается и перемещается по осям X и Z в меридиональной плоскости обрабатываемого изделия. Взаимосвязь движения по осям X и Z осуществляет система ЧПУ в соответствии с уравнением образующей обрабатываемой поверхности и

Гречишкин К.А., Милов И.В.,
Кожевников В.Б., Корушенок Ю.Г.
Шляева Е.А.

технологическими факторами. Текущие координаты шлифовального круга контролируются лазерными датчиками линейных перемещений I и 2 относительно термостабильной ненагруженной и термоизолированной от портала станка балки из инвара. Мгновенное положение обрабатываемого изделия относительно термостабильной балки определяется датчиками 3 и 6, измеряющими расстояние до базового метрологического пояса на торце обрабатываемого изделия.

Информация от датчиков 3 и 6 поступает в систему ЧПУ, где вырабатывается соответствующий сигнал на коррекцию положения шлифовального круга по оси z, причем алгоритм обработки информации с датчиков 3 и 6 учитывает как тепловые деформации несущей системы станка и обрабатываемого изделия, так и процесс вращения оси обрабатываемого изделия.

Станок оснащается бесконтактным датчиком 4 технологического контроля точности формы обработанной поверхности непосредственно на станке. В этом случае станок работает в режиме контрольно-измерительной машины.

Станок может быть оснащен (по дополнительному заказу): устройством автоматической балансировки шлифовального круга;

лазерным анализатором качества обработанной поверхности; системой для аттестационного контроля обработанного изделия непосредственно на станке.

К особенностям станка следует отнести:

возможность длительной обработки с заданной точностью крупногабаритных деталей (время обработки от нескольких часов до нескольких суток) за счет развитой информационно-управляющей системы станка;

возможность модернизации станка (при незначительных затратах) для осуществления на модернизированном станке алмазного намоточения;

станок отличается мобильностью или гибкостью, высокой производительностью, надежностью и сравнительно низкой стоимостью.

АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Любой процесс оптической обработки — это комплекс последовательных физико-химических воздействий на поверхность, приводящий ее из одного состояния в другое [1,2]. Обязательным условием этого процесса является сбалансированность, то есть последовательное улучшение свойств поверхности до максимально возможного уровня, который в конечном итоге и определяет эксплуатационные характеристики системы [3].

В данной работе рассматривается процесс последовательного превращения поверхности при оптической обработке на примере поликристаллического кремния. Имеющийся обширный опыт в этой области относится преимущественно к обработке монокристаллов для нужд микроэлектроники [4,5,6]. Оптическая обработка поликристаллического кремния имеет ряд специфических особенностей и является в настоящее время весьма актуальной задачей.

В качестве обрабатываемого материала использовали поликристаллический кремний высокой чистоты, полученный методом вакуумного литья (ТУ 48-0513-70-86). Технология обработки определялась согласно имеющимся рекомендациям [4,5], а также на основе предварительных исследований и включала: предварительное шлифование, шлифование свободным абразивом и полирование. Производили одновременную обработку партии оттоженных образцов в количестве 120 шт. с размером исполнительной поверхности 10x10 мм. В течение всего цикла обработки в определенные моменты времени часть образцов изымалась. В результате полученная таким образом совокупность образцов представляет собой