



# ВЕСТНИК машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

**7**  
**1996**

ИЗДАЕТСЯ С НОЯБРЯ 1921 ГОДА

МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АО "КОМПАНИЯ "РОССТАНКОИНСТРУМЕНТ"

РОССИЙСКОГО СОЮЗА ПРОМЫШЛЕННИКОВ  
И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ

ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Журнал переводится  
на английский язык,  
переиздается  
и распространяется  
во всем мире фирмой  
"Аллертон Пресс" (США)

Ордена Трудового Красного  
Знамени издательство  
"Машиностроение"

**Главный редактор Д.И. ПОЛЯКОВ**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:** Александров М.П.,  
Алексейчук Г.П., Арзамасов Б.Н., Битунов В.В.,  
Братухин А.Г., Дроздов Ю.Н. (председатель секции  
конструирования и расчета машин), Ипатов М.И.,  
Корзинкин М.В., Кузьмицкий А.А., Логунов А.В.,  
Подураев В.Н. (председатель секции технологии  
машиностроения), Попов Д.Н., Проскуряков А.В.,  
Рыбакова Л.М., Савилов Ю.В., Савкин А.И.  
(заместитель главного редактора), Семенов Е.И.  
(председатель секции обработки материалов без снятия  
стружки), Соколов Б.Н., Строганов Г.Б., Третьяков Э.А.  
(председатель секции организации и экономики  
производства), Филиппов Е.К., Цыганкова И.А.  
(ответственный секретарь)

*Адрес редакции:*  
129836, Москва, ГСП-110,  
проспект Мира, д. 106  
Телефоны: 287-87-93, 287-23-20

Оригинал-макет изготовлен  
в издательстве "Машиностроение".

Отпечатано в Подольской  
типографии Чеховского  
полиграфического комбината.  
142110, г. Подольск, ул. Кирова, 25

**КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ,  
ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН**

Салтыков М.А., Казанская А.М. — О развитии и применении макромеханических моделей для проектных расчетов звеньев машин . . . . .	3
Демьянушко И.В., Демьянушко Е.Л., Пузырко Е.С. — Оптимальное проектирование вращающихся дисков . . . . .	7
Бойцов Б.В., Бойцов В.Б., Дудкин В.П., Петухов Ю.В. — Рост усталостных трещин в сварных соединениях . . . . .	11

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Гречишников В.А., Малыгин В.И., Худяков М.П., Колмакова И.С. — Расчетные методы оптимизации конструкции агрегатно-модульного вспомогательного инструмента . . . . .	13
Грубый С.В., Боговцева Л.П., Костеев В.А. — Исследования состояния прецизионных поверхностей, обработанных методом алмазного микроточения . . . . .	19
Кутин А.А. — Опыт разработки и создания гаммы конкурентоспособных токарных станков с ЧПУ . . . . .	24
Поляков А.Н., Никитина И.П. — Применение термоупругой модели к анализу тепловых процессов в металлорежущих станках . . . . .	27
Киселев Е.С., Унянин А.Н., Курзанова С.З., Кузнецова М.А. — Современные смазочно-охлаждающие жидкости для шлифования . . . . .	30
Многоаспектное моделирование в САПР изделий машиностроения и приборостроения . . . . .	34

**ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА**

Колобов А.А., Омельченко И.Н., Филиппова Н.В. — Моделирование процессов формирования уровня сервиса поставок . . . . .	36
--	----

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Герасименко В.Я., Михневич П.Я. — Оригинальное переносное специализированное оборудование для обработки торцов труб . . . . .	42
Лютцау В.Г. — Рецензия на кн. М.С. Поляка "Технология упрочнения" . . . . .	43
Шевелева Г.И. — Рецензия на кн. Э.Б. Вулгакова "Теория эвольвентных зубчатых передач" . . . . .	45
Новости приводной техники . . . . .	47
Вниманию читателей . . . . .	35, 48

**DESIGN, CALCULATION, TESTS  
AND RELIABILITY OF MACHINES**

Saltykov M.A., Kazanskaya A.M. — About development and using of macromechanical models for design calculations of machine elements . . . . .	3
Demianushko I.V., Demianushko E.L., Puzyrko E.S. — Optimal design of rotating disks . . . . .	7
Boytsov B.V., Boytsov V.B., Dudkin V.P., Petukhov Yu.V. — Fatigue cracks growth in welding joints . . . . .	11

**MANUFACTURING ENGINEERING**

Grechishnikov V.A., Malygin V.I., Khudyakov M.P., Kolmakova I.S. — Calculated optimization methods of module machining attachments design . . . . .	13
Gruby S.V., Bogovtseva S.P., Kosteev V.A. — State investigations of diamond microturned precision surfaces . . . . .	19
Kutin A.A. — Development and creation experience of competitive NC lathes series . . . . .	24
Polyakov A.N., Nikitina I.P. — Thermoelastic model using for machine-tools thermal processes analysis . . . . .	27
Kiselev E.S., Unyanin A.N., Kurzanova S.Z., Kuznetsova M.A. — Modern grinding cutting fluids . . . . .	30
Multi-aspect simulation in CAD of products in mechanical and instrument engineering . . . . .	34

**PRODUCTION ORGANIZATION AND ECONOMICS**

Kolobov A.A., Omelchenko I.N., Filippova N.V. — Forming processes simulation of deliveries service level . . . . .	36
--	----

**TECHNICAL INFORMATION**

Gerasimenko V.Ya., Mikhnevich P.Ya. — Original portable specialized tube faces machining equipment . . . . .	42
Lyu-tsau V.G. — Book review M.S. Polyak "Hardening Technology" . . . . .	43
Sheveleva G.I. — Book review E.B. Vulgakov "Theory of involute gears" . . . . .	45
News in drive engineering . . . . .	47

Сдано в набор 06.05.96. Подписано в печать 20.06.96.  
Формат 60×88 1/8. Бумага книжно-журнальная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,88.  
Усл. кр.-отт. 7,35. Уч.-изд. л. 7,64. Заказ 560.

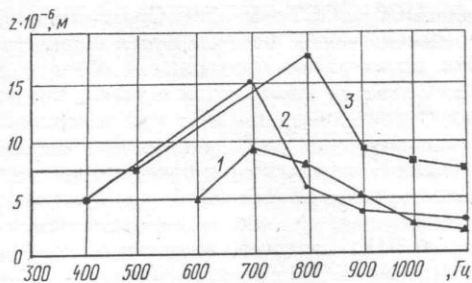


Рис. 6. Расчетные АЧХ различных конструкций АМРИ для торцово-конического (1), торцово-цилиндрического (2) и конического (3) соединений

конической с конусом Морзе, укороченным с опорой на торец) по данной методике приведены на рис. 6. Из графиков видно, что конструкции с опорой на торец по величине динамических смещений более жесткие, чем конструкции с конусными поверхностями без торцовых поверхностей. Кроме того, как уже отмечалось ранее, в методике статических расчетов действительная длина контакта в коническом соединении не превышает 40 % номинальной, а укороченный конус с торцовым стыком, во-первых, имеет более пологий резонансный пик, во-вторых, меньший уровень амплитуд, чем в двух других случаях.

Приведенные результаты согласуются с данными работы [9], подтверждающими преимущества комбинированных торцово-конических соединений. Хотя торцово-цилиндрические соединения являются более жесткими по угловым и радиальным смещениям в области низких нагрузок за счет более высоких давлений затяжки соединений, они уступают торцово-коническим соединениям по жесткости при высоких нагрузках. Кроме того, большие натяги по торцам отрицательно влияют на демпфирование; следовательно, на резонансных частотах, при больших вылетах они имеют менее качественные характеристики. При стендовых испытаниях торцово-цилиндрические конструкции характеризуются более острыми пиками АЧХ, чем конические. При высоких усилиях затяжки, как свидетельствуют результаты испытаний, конструкции с торцовыми стыками работают как цельные. При этом статическая жесткость таких кон-

струкций практически такая же, как и цельных. Однако в зоне невысоких нагрузок ( $M > 300 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ) они имеют "падающую" характеристику жесткости. Коническо-торцовые соединения в этом случае более надежны. Кроме того, радиальное биение последних как правило ниже.

## Выводы

1. Использование переходных матриц позволяет рассчитывать статические и динамические характеристики АМВИ различных структур и состава на основании единой математической модели инструмента.
2. Результаты расчетов, проведенных на основании математической модели, подтверждаются результатами стендовых испытаний образцов инструмента.
3. По результатам исследования математической модели инструмента определены рекомендации по выбору типа узла соединения и его конструктивно-технологических параметров. Результаты исследования согласуются с данными экспериментальной проверки и производственно-техническим опытом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов А.Р. Нормирование параметров точности вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ // Станки и инструмент. 1991. № 5. С. 20—24.
2. Королев Е.Г. Выбор параметров вспомогательного инструмента по необходимой точности закрепления режущего инструмента // Станки и инструмент. 1992. № 8. С. 23—27.
3. Михайлов В.А. Модульные конструкции режущего инструмента для ГПС и перспективы его развития / Прогресс, констр. режущ. инструмента для ГПС и РТК. (Материалы семинара). М.: МДНТП. 1987. С. 14—18.
4. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение. 1967. 352 с.
5. Александров В.М., Ромалис В.А. Контактные задачи в машиностроении. М.: Машиностроение. 1986. 173 с.
6. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. М.: Машиностроение. 1971. 182 с.
7. Мальгин В.И. Диагностические методы обеспечения надежности составного инструмента для ГАП // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1993. № 11. С. 110—116.
8. Ивович В.А. Переходные матрицы в динамике упругих систем. М.: Машиностроение, 1969. 199 с.
9. Федоров В.Л., Дымова Э.Н. Режущие инструменты для гибких производственных систем // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Резания металлов. Станки и инструмент, 1989. 8 с.

УДК 621.941.1

С.В. ГРУБЫЙ, канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана),  
Л.П. БОГОВЦЕВА, канд. хим. наук (НИФХИ им. Карпова),  
В.А. КОСТЕЕВ (АО "Мовен")

## Исследования состояния прецизионных поверхностей, обработанных методом алмазного микроточения

Технологическая задача изготовления прецизионных металлических поверхностей с высокими требованиями по точности формы и качеству обработки возникает при изготовлении, например основ жестких дисков магнитной памяти для ЭВМ, оптических

элементов лазерных технологических установок. Применение для этой цели традиционных методов полирования свободным абразивом приводит к возникновению дефектов в обработанном поверхностном слое: фрагментации структуры, микроискажениям, шаржированию абразивными частицами. Метод алмазного микроточения позволяет в значительной степени избежать указанных дефектов, однако требует определения рациональных режимов и условий, обеспечивающих заданные параметры состояния обработанной поверхности. Следует учитывать также принципиальные ограничения метода алмазного микроточения по выбору обрабатываемого материала, так как высокое качество достигается при обработке поверхностей из меди и алюминиевых сплавов.

С целью выбора условий и режимов, обеспечивающих требуемые параметры шероховатости прецизи-

онных поверхностей и оптические характеристики, проведен анализ факторов и выполнены технологические и лабораторные исследования.

При исследовании алмазное микроточение рассматривалось как процесс окончательной механической обработки металлических поверхностей на специальных особо точных станках алмазным монокристаллическим инструментом с глубиной резания до 10 мкм. Такая обработка позволяет изготовить поверхности с предельно низкой шероховатостью и высокой отражательной способностью.

Основными показателями качества поверхностей такого класса являются параметры шероховатости, характеризующие высотные свойства неровностей профиля (ГОСТ 2789—80, ГОСТ 25142—82, стандарт ISO): среднее арифметическое отклонение  $Ra$ ; среднее квадратическое отклонение  $Rq$ , наибольшая высота неровностей профиля  $Rmax$ , высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$  ( $Rtm$ ), высота наибольшего выступа профиля  $Rp$ , глубина наибольшей впадины профиля  $Rv$ , а также параметры, характеризующие оптические свойства: коэффициенты зеркального  $R_z$  и диффузного  $R_d$  отражений.

По результатам анализа отмечено, что на процесс резания и качество обработанной поверхности при алмазном микроточении влияют следующие факторы: свойства и структура обрабатываемого материала, технические характеристики оборудования и специального режущего инструмента, режимы и условия обработки.

По данным работы [1] на специальном особо точном станке достигнута шероховатость обработанной поверхности по параметру  $R_{max} = 10$  нм (чистый алюминий 99,99 %, подача  $S_0 = 10$  мкм/об) и  $R_{max} = 15$  нм (бескислородная медь 99,995 %;  $S_0 = 10$  мкм/об); отклонение от плоскостности 0,1 мкм на диаметре 50 мм. Для получения такого качества в обрабатываемом металле необходимо уменьшить содержание примесей, вызывающих кристаллизацию интерметаллических соединений, до тысячных долей процента и провести очистку твердых частиц, представляющих собой неметаллические включения после растворения, до величин в несколько микрометров. При обработке меди и алюминиевых сплавов стандартных марок шероховатость обработанной поверхности увеличивается вследствие повышенного содержания примесей и наличия легирующих элементов, повышающих прочностные характеристики материала.

В качестве примера рассмотрены основы жестких дисков магнитной памяти, которые изготавливаются из листового проката алюминиевых сплавов 1541M, 15410C с содержанием основного легирующего элемента магния в пределах 3,8÷4,8 %. Технологический процесс обработки дисков включает операции термообработки для снятия остаточных деформаций, предварительного и окончательного алмазного точения ( $Ra \leq 10$  нм), нанесения твердого аморфного подслоя Ni—P с последующим полированием для обеспечения шероховатости в несколько нанометров.

Для изготовления отражающих оптических элементов лазерных установок находят применение алюминиевые сплавы AMg6, B95 (ГОСТ 4784—74), специальный алюминиевый сплав 1201, бескислород-

ная медь М06 (ГОСТ 859—78). Отражатели малых габаритных размеров изготавливаются цельными из круглого проката этих материалов. В оптических элементах сборных конструкций используется листовая прокат или нанесенная медь как поверхностный слой на корпусе из конструкционного материала. Шероховатость отражающих поверхностей должна находиться в пределах  $Rz = 25 \div 50$  нм, причем допустимое ее значение уменьшается с переходом от инфракрасной (ИК) к видимой областям спектра лазерного излучения.

Следует отметить особое значение технических требований, предъявляемых к специальному технологическому оборудованию, предназначенному для алмазного микроточения прецизионных поверхностей. Так, усилиями некоторых станкостроительных фирм и научно-исследовательских лабораторий США, Западной Европы (Lawrence Livermore Laboratory, Union Carbide, Moore Special Tools, Pneumo Precision, Ex-Cell-0, Philips Research Laboratory, Cranfield Unit for Precision Engineering и др.) и Японии создана гамма уникальных станков, реализующих возможность алмазного микроточения прецизионных поверхностей.

Сообщается, что в лабораторных условиях при соблюдении предельно жестких требований по термостабилизации, виброизоляции, фильтрации окружающей и технологических сред достигнуты отклонения от заданной формы до 25 нм, среднее квадратическое отклонение профиля 4,2 нм (станок по проекту LODTM, США), параметры шероховатости поверхностей основ жестких дисков магнитной памяти  $Rmax = 20$  нм и  $Ra = 3$  нм (японские станки АНР 50÷32, DPL = 400) [2, 3].

Отечественные уникальные особо точные станки [мод. МК6516, МК6501, МК6521Ф3 (МСПО "Красный пролетарий") и мод. МО1805, САТ1805, САТ1801, МО1045, САТ1815 (СКТБ ИСМ АН Украины)] по своим технологическим возможностям приближаются к лучшим зарубежным аналогам. Конструктивные особенности этих станков — наличие гранитной станины или специальных пневматических виброопор, что совместно с массивным фундаментом обеспечивает защиту от внешних вибраций, в том числе в низкочастотной (до нескольких герц) полосе спектра. Станки оснащаются жесткими шпинделями и суппортами с аэростатическими подшипниками во всех подвижных узлах, системами балансировки изделия и оснастки, лазерными и индуктивными системами контроля за перемещениями исполнительных органов и режущего инструмента, числовым программным управлением или управляющей ЭВМ. Например, основные характеристики электрошпинделя станка мод. МО1045 составляют: бесступенчатая частота вращения в пределах  $150 \div 1500$  мин<sup>-1</sup>, осевая 900 Н/мкм и радиальная 450 Н/мкм жесткости, максимальная нагрузка 1000 Н.

Технические возможности особо точных станков позволяют обрабатывать прецизионные металлические поверхности различных форм (плоские, сферические, асферические, цилиндрические, конические) с отклонением формы до 0,1÷0,2 мкм и параметром шероховатости  $Rmax \leq 20$  нм. Однако при обработке следует учитывать влияние некоторых факторов,

прежде всего режимов резания на качество обработки, а также компенсировать тепловые деформации реза и заготовки, силовые деформации технологической системы и радиальный износ инструмента [4, 5].

Результаты исследований влияния режимных параметров показывают, что при алмазном микрооточении прецизионных поверхностей торцового типа и движении реза от периферии к центру вращения заготовки скорость резания не влияет на качество обработанной поверхности, процесс резания продолжается до тех пор, пока резец не приблизится практически к центру вращения заготовки, а качество обработанной поверхности может ухудшиться только вследствие износа инструмента, что существенно для обработки крупногабаритных поверхностей [5, 6].

Глубину резания выбирают в пределах 3-5 мкм вследствие значительного увеличения сил резания и деформаций технологической системы с возрастанием глубины резания. Наиболее эффективным путем управления качеством обработанной поверхности является выбор подачи инструмента, однако при обработке крупногабаритной поверхности следует учитывать значительное увеличение основного технологического времени, пути резания и износа инструмента при выборе малых значений подач [5].

Экспериментальные исследования по обработке прецизионных поверхностей проведены в НПО "Композит" с использованием станков мод. МК6516, МО1805, САТ1815, реализующих возможность обработки методом алмазного микрооточения плоских, сферических и асферических поверхностей торцового типа диаметром от минимальных до 1500 мм. При обработке применяли прецизионные резцы, оснащенные природными монокристаллическими алмазами. В качестве базовых использовали резцы ИР361, изготовленные Томлинским заводом алмазного инструмента, с монокристаллами природных алмазов (ТУ 47-2-73) XXVI группы подгруппы "а" и "б" или VII группы подгруппы "в" массой 0,41±0,60 карата в форме октаэдра и ромбододекаэдра плотной структуры, прозрачные или полупрозрачные, без трещин, раковин и других видимых дефектов в рабочей части. При обработке крупногабаритных поверхностей применяли специальные резцы с монокристаллами массой 0,65±1,06 карата VII группы подгруппы "в". Заточку и доводку режущих лезвий резцов выполняли на чугунном круге, шаржированном алмазным микропорошком, качество доводки режущих кромок на отсутствие сколов, выкрашиваний и других дефектов контролировали при увеличении 1000. Геометрические параметры резцов: передний угол  $-1\pm-3^\circ$ , задний угол  $10\pm12^\circ$ , радиус при вершине  $2\pm3,5$  мм. В качестве смазочно-охлаждающей технологической среды использовали этиловый спирт, подаваемый в зону резания в распыленном состоянии со стороны передней поверхности реза. При технологической подготовке были предусмотрены технические мероприятия по балансировке обрабатываемой детали, оснастки и планшайбы, а также защите станков от внешних вибраций.

При исследовании состоянии поверхностей после алмазного микрооточения изучали на алюминиевых сплавах 1541М, АМг6, специальных мелкокристалли-

ческих сплавах с размерами зерна до 10 мкм системы алюминий-магний и алюминий-медь-марганец, меди МО6 и меди гальванической. Измерения параметров поверхностей проведены на основах жестких дисков магнитной памяти  $\varnothing 130$  мм, оптических элементах малых габаритных размеров, а также образцах-свидетелях из этих же материалов размерами  $40\times40$  мм,  $\varnothing 30$  и 45 мм. Поверхности образцов-свидетелей обработаны при условиях (оборудование, режимы, степень затупления реза и др.), соответствующих алмазному микрооточению натуральных изделий.

Исследования шероховатости обработанных поверхностей выполнены на профилографах-профилометрах мод. "Talystep", "Talysurf-6" фирмы "RANK TAYLOR HOBSON" (Англия). Технические характеристики приборов позволяют получить достоверную и надежную оценку шероховатости сверхгладких поверхностей. Например, профилограф мод. "Talystep" имеет диапазон измерений при максимальном увеличении до 0,03 мкм, разрешающую способность менее 0,5 нм, вертикальное увеличение 5000-200000. Собственный шум прибора в помещении без вибрации пола при скорости протяжки 0,025 мм/с составляет 0,1 нм (в полосе до 8 Гц), воспроизводимость профиля по двум измерениям не более 0,6 нм на трассе 0,1 мм. С обработанной поверхностью контактирует алмазный щуп специальной формы с размером острия 0,1 мкм и усилием 10 мкН.

Количественную оценку связи шероховатости обработанных поверхностей с технологическими режимами алмазного микрооточения проводили по трем параметрам:  $R_{\max}$ , что дает представление о предельных размерах микронеровностей, а также отражает наличие дефектов в обработанной поверхности;  $R_a$  — более наглядно отражает тенденцию изменения размеров микронеровностей при варьировании технологических режимов и условий обработки;  $R_q$  — аналогичен параметру  $R_a$ , но позволяет проводить сравнение с оценками по фотометрическому методу.

С целью уменьшения влияния случайной составляющей погрешности измерения и неоднородности свойств материала исследуемых поверхностей, каждую поверхность измеряли в 10 радиальных сечениях. Ограничение в количестве сечений обусловлено значительной трудоемкостью измерений, кроме того, как показали эксперименты, такие измерения позволяют вполне достоверно проследить изменение параметров шероховатости от образца к образцу. До измерений осуществлялась температурная стабилизация, а также минимизировалось влияние внешних вибраций. Параметры шероховатости измеряли с применением отсечки шага (высокочастотного фильтра) 0,08 мм, что исключило влияние волнистости. Такая методика позволила получить оценки измеряемых параметров  $R_{\max}$  и  $R_a(R_q)$  с погрешностью  $10\pm15$  и  $6\pm8$  % соответственно.

Наилучшие результаты по шероховатости обработанных поверхностей получены при алмазном микрооточении специального мелкокристаллического сплава системы алюминий-магний. Результаты исследований параметра  $R_{\max}$  составили: диапазон изменения  $14,2\pm25,3$  нм; среднее 17,3 нм; среднеквадратическое

отклонение 1,05 нм; коэффициент вариации 0,06 (46 измерений,  $S = 6,3 \div 9,6$  мкм/об).

При обработке поверхностей из стандартных сплавов шероховатость возрастает как по средним значениям, так и по рассеянию. Результаты исследования шероховатости алюминиевых поверхностей оснований дисков магнитной памяти различных партий [число исследованных поверхностей, среднее значение параметров, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации ( $S = 19,5$  мкм/об)] приведены ниже:

	Число поверхностей	Среднее значение, нм	Среднеквадратическое отклонение, нм	Коэффициент вариации
$R_{max}$	83	36,2	12,61	0,35
$R_a$	22	6,0	0,87	0,14
$R_q$	22	7,7	1,10	0,14
$R_p$	23	29,7	8,58	0,29
$R_v$	12	25,1	4,13	0,16

Шероховатость по верхнему отклонению параметра  $R_{max}$  составляет менее 49 нм, что удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Параметры шероховатости могут быть уменьшены при рациональном выборе подачи. На рис. 1 приведены экспериментальные точки значений и аппроксимирующие кривые параметров шероховатости  $R_{max}$ ,  $R_q$ ,  $R_a$ , измеренные на алюминиевых и медных поверхностях, обработанных алмазным микрооточением при  $S_0 = 2,5 \div 39$  мкм/об (глубина резания  $4 \div 6$  мкм). Влияние подачи на параметры шероховатости (в нм) аппроксимировано степенной зависимостью:

$$R = CS^m \pm \Delta, \quad (1)$$

где  $C$  — постоянный коэффициент;  $m$  — показатель степени;  $\Delta$  — среднеквадратическая ошибка аппроксимации.

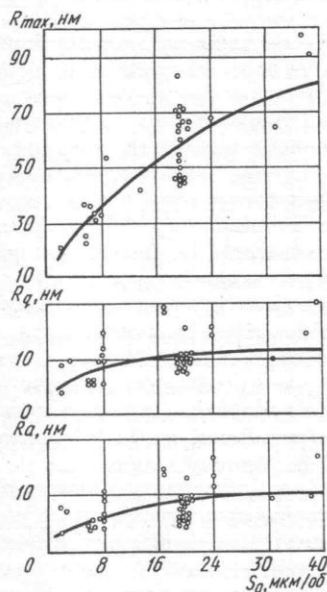


Рис. 1

Параметр шероховатости	$C$ , нм	$m$	$\Delta$ , нм
$R_{max}$	11,85	0,52	11,67
$R_a$	3,77	0,26	2,93
$R_q$	4,92	0,25	3,65

В табл. 1 приведены значения характеристик аппроксимации зависимостей (1) ( $C$ ,  $m$  и  $\Delta$ ) для соответствующих параметров шероховатости. Параметр шероховатости  $R_{max} \leq 50$  нм гарантированно обеспечивается при значениях  $S_0 < 9$  мкм/об. Такая шероховатость позволяет использовать эти поверхности как отражающие в оптических элементах различного назначения.

Характеристики отражения оптических поверхностей образцов после алмазного микрооточения измеряли на спектрофотометрах "U-3400" и "270-50" фирмы "НТАСНИ" с приставкой на отражение поверхностей. Коэффициент  $R_3$  зеркального отражения при длине волны  $\lambda = 10,6$  мкм и угле падения излучения, близком к нормальному, измеряли на инфракрасном спектрофотометре "270-50" с приставкой на отражение "IRR-31" и сравнивали с калиброванным стандартом ( $99 \pm 0,3\%$ ). Поверхности натуральных изделий (при  $\lambda = 10,6$  мкм) контролировали на специальном стенде с погрешностью  $\pm 0,2\%$ . Коэффициенты зеркального  $R_3$  (угол падения излучения, близкий к нормальному) и диффузного  $R_d$  отражений поверхностей образцов в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,25 \div 1,5$  мкм определяли на спектрофотометре "U-3400", используя приставку на отражение.

Характеристики отражения поверхностей после алмазного микрооточения при оптимальных режимах зависят прежде всего от материала поверхности, наличия и состава отражающего и защитного покрытий. В табл. 2 приведены коэффициенты  $R_3$  зеркального отражения при  $\lambda = 10,6$  мкм для алюминиевых и медных поверхностей без покрытий, а также с отражающими медным и серебряным покрытиями после алмазного микрооточения. В качестве адгезионного переходного слоя использовали хром, защитными покрытиями являлись  $HfO_2$  или  $Al_2O_3$ . Из табл. 2 видно, что для поверхностей, обработанных алмазным микрооточением, характерна высокая отражательная способность. В ИК области спектра отражательная способность оптических поверхностей после алмазного микрооточения практически соответствует

Таблица 2

Материал образца	Состав покрытия	$R_3$ , %	Примечание
АМг6	Без покрытия	97,4+97,6	Образцы
АМг6	$Al_2O_3$	96,7	Изделие — вносевой параболоид $\phi$ 406 мм
АМг6	Cr—Ag— $HfO_2$	97,4	Изделие — вносевой параболоид $\phi$ 406 мм
АМг6	Cr—Cu— $HfO_2$	99+99,1	Образцы, изделие — габариты 200×300 мм
МО6	Без покрытия	98,7+98,9	Образцы
МО6	Cr—Ag— $HfO_2$	99+99,3	Изделие $\phi$ 36 мм

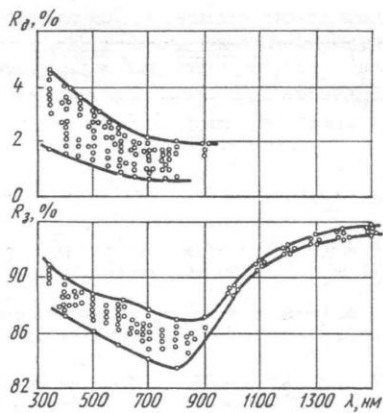


Рис. 2

отражательной способности оптических поверхностей, обработанных традиционным методом полирования — доводки.

В ультрафиолетовой (УФ) и видимой областях спектра отмечается разброс значений  $R_z$  и  $R_d$  вследствие анизотропии свойств, вызванной влиянием ориентации обработанной поверхности относительно падающего излучения и технологическими факторами обработки.

На основании обработки спектральных зависимостей приведены результаты измерений значений  $R_z$  и  $R_d$  (рис. 2) для различных образцов и изделий из сплава АМг6 при  $\lambda = 0,25-1,5$  мкм, обработанных алмазным микроточением. Средние значения  $R_z$  для образцов из меди МОБ после алмазного точения при  $\lambda = 0,4-0,8$  мкм приведены ниже:

Длина волны $\lambda$ , нм	400	450	500	550	600	700	800
Коэффициент $R_z$ , %	42	51	55,5	62	91,5	97	98

Анализ показывает, что для изготовления высококачественных оптических элементов, используемых в УФ и видимой областях спектра, целесообразно алмазное микроточение дополнить последующей операцией полирования — доводкой с целью уменьшения, прежде всего, диффузного рассеяния излучения.

Кроме того, проведены исследования изменения отражательной способности во времени медных поверхностей, обработанных алмазным микроточением. Для повышения коррозионной стойкости образцы непосредственно после алмазного микроточения облучали на ускорителе с анодным слоем ионами ксенона. Результаты анализа показали, что отражательная способность медных поверхностей после алмазного микроточения и ионной обработки практически не меняется в течение длительного времени. Спектральные зависимости коэффициентов  $R_d$  диффузного отражения образцов из меди МОБ, измеренных непосредственно после обработки алмазным микроточением и ионами ксенона приведены на рис. 3, а, а также после выдержки в течение 7 мес. в атмосферных условиях (рис. 3, б). Наблюдаемые изменения коэффициентов  $R_d$  находятся в пределах разброса экспериментальных данных, обусловленных анизотропией свойств поверхности. Аналогичные результаты по стабильности отражательной способности получены

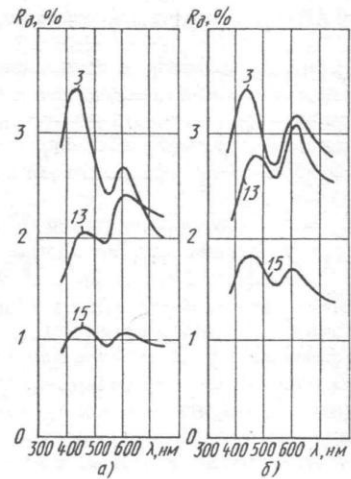


Рис. 3

при соответствующих измерениях коэффициентов  $R_z$  зеркального отражения.

Для анализа причин повышения коррозионной стойкости медных поверхностей, обработанных алмазным микроточением и ионами ксенона, проведен анализ химического состава приповерхностных слоев методом вторичной ионной масс-спектрометрии на приборе "IMS 4F". Установлено, что на образцах, облученных ионами ксенона, присутствует органическая пленка. Для уточнения состава пленки и ее толщины были получены концентрационные профили элементов С, О, Си и соединений СН,  $C_2H_2$ ,  $CuO$ , которые показали, что толщина пленки составляет несколько десятков ангстрем и практически не зависит от времени ионной обработки образцов, в то время как граница раздела системы пленка — подложка уменьшается с увеличением времени ионной обработки. Получен также концентрационный профиль для поверхности непосредственно после обработки алмазным микроточением, в котором наблюдаются лишь незначительные загрязнения, не более нескольких монослоев.

Масс-спектр пленки, обнаруженной на поверхностях, облученных ионами ксенона, содержит группы интенсивных линий в высокомолекулярной области спектра, что позволяет предположить наличие полимерной структуры пленок, содержащих крупные звенья с массой около 200 а.е.м. Соединение оксидов меди на поверхностях образцов не обнаружены. Для выяснения механизма образования полимерной пленки после ионной обработки необходимо провести специальные эксперименты.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили эффективность микроточения как технологического метода создания высококачественных прецизионных поверхностей с низкой шероховатостью и высокой отражательной способностью. Совершенствование этого метода финишной обработки будет определяться прежде всего развитием специального прецизионного технологического оборудования, которое позволит повысить точность и качество обработки.

1. По результатам анализа и исследований установлено определяющее влияние свойств и структуры обрабатываемого металла, технических характеристик оборудования, режимов и условий алмазного микроточения на качество обработанной прецизионной поверхности.

2. Высокое качество обработанной поверхности достигается при алмазном микроточении бескислородной меди, алюминия или мелкокристаллических сплавов системы алюминий—магний с содержанием примесей до тысячных долей процента.

3. Подача оказывает существенное влияние на шероховатость обработанной поверхности. Оптический класс поверхностей достигается при  $S_0 \leq 9$  мкм/об.

4. Отражательная способность поверхностей, обработанных алмазным микроточением, в инфракрасной области спектра соответствует отражательной способности полированных поверхностей и может быть увеличена благодаря нанесению отражающих покрытий.

5. В ультрафиолетовой и видимой областях спектра излучения разброс коэффициентов отражения

достигает нескольких процентов вследствие анизотропии свойств обработанной поверхности.

6. Полученные рекомендации позволяют рационально выбрать метод и условия обработки прецизионных металлических поверхностей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хирози Э. Исследование методов сверхточной обработки металлов резанием // Сэймицу кикай. 1985. Т. 51. № 9. С. 1750—1756.
2. Кобаяси А. Повышение точности сверхпрецизионных станков для алмазного точения // Кикай сэккэй. 1985. Т. 29. № 14. С. 26—32.
3. Кобаяси А. Современное состояние и перспективы технологической сверхточной обработки металлов // Кикай но кэнкю. 1983. Т. 35. № 1. С. 169—178.
4. Добровольский Г.Г., Дятлов Ю.А. Точность формы изделий при алмазном микроточении // Сверхтвердые материалы. 1990. № 4. С. 58—62.
5. Грубый С.В. Выбор условий алмазного микроточения крупногабаритных поверхностей // Вестник машиностроения. 1994. № 11. С. 40—43.
6. Грубый С.В., Милов И.В. Технологические особенности алмазного микроточения крупногабаритных прецизионных поверхностей // Вестник машиностроения. 1995. № 6. С. 37—40.

УДК 621.941.02:681.513.2

А.А. КУТИН, канд. техн. наук (МГТУ "Станкин")

## Опыт разработки и создания гаммы конкурентоспособных токарных станков с ЧПУ

Станкостроение является важнейшей фондообразующей отраслью, обеспечивающей поступательное развитие машиностроения и экономики в целом. Однако ситуация в отечественном станкостроении в настоящее время чрезвычайно сложная. Объем выпуска станков ежегодно уменьшается почти в 2 раза, в основном изготавливаются станки с ручным управлением, сокращается доля прецизионных, наукоемких высокотехнологичных машин с ЧПУ [1].

Процесс стабилизации в экономике, а в ближайшем будущем ее несомненный рост потребует оснащения российского машиностроения и прежде всего конверсионных производств новыми станками. Отмечается рост спроса на перспективные, относительно недорогие станки с ЧПУ и на мировом рынке.

Важной является проблема конкурентоспособности оборудования. К числу признаков конкурентоспособности относятся [2]:

низкая стоимость продукции, определяющая способность конкурировать на уровне цен;

стабильность качества и высоких потребительских свойств изделия;

гибкость выпускаемой машины, возможность быстро вносить изменения в ее конструкцию;

гибкость объема выпуска, способность быстрой реакции на колебания спроса;

скорость поставки, т.е. способность доставить продукцию в срок ("как обещано");

разнообразии продукции и ее сервисное сопровождение.

Проблема достижения конкурентоспособности решается по нескольким направлениям. Во-первых, целесообразно осуществлять разработку не одной машины, а гаммы станков, состоящих из отдельных часто повторяющихся агрегатов, представляющих самостоятельные узлы. Принцип агрегатирования позволяет удовлетворить разнообразные запросы конкретных потребителей машинами различных исполнений и типоразмеров.

Хотя объемы заказов на отдельные станки могут быть небольшими, благодаря повторяемости использования одних и тех же или подобных узлов в разных станках, потребность в отдельных узлах оказывается существенно выше и они могут изготавливаться достаточно крупными партиями со всеми благоприятными последствиями. Во-вторых, организационно-технологические мероприятия должны быть также направлены на сокращение сроков выполнения заказов и повышение гибкости производства.

Сопоставление признаков конкурентоспособности и причин низкой рентабельности заставляет обратиться к анализу функций деятельности предприятия. Можно определить пять глобальных функций (рисунок), которые информационно связаны между собой и критичны ко времени исполнения. В рамках глобальных функций существуют десятки субфункций, которые потребляют и порождают информацию и нуждаются в интеграции для своей эффективной и экономичной работы. Интеграцию таких функций и будем называть системной.

Средства системной интеграции (инструментальные, прикладные) можно отнести к одному из двух разделов: информационным технологиям и технологической автоматизации. К средствам информационных технологий относятся: локальные вычислительные сети, базы данных, эмулирующие терминалы, электронная почта, текстовые процессоры, крупноформатные электронные таблицы, системы статистической обработки данных, разнообразные и многочисленные прикладные пакеты специального назначения. Ключевые