

ISSN 0536—1044

**ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ**

9

1990

МАШИНОСТРОЕНИЕ

ЛИТЕРАТУРА

- Скиба В. М. Применение адаптивного управления для повышения эффективности последовательной многослойной обработки с переменным сечением среза / Труды МВТУ. — 1980. — № 344. — Надежность и эффективность станков-автоматов. — С. 155—163.
- Клюев А. С. Автоматическое регулирование. — М.: Энергия, 1973. — 391 с.
- Чернянский П. М., Скиба В. М. Функциональное нормирование жесткости станков // Известия вузов. Машиностроение. — 1979. — № 8. — С. 132—136.

Статья поступила 26 января 1990 г.

621.941.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕЦИЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗЦАМИ, ОСНАЩЕННЫМИ ПРИРОДНЫМИ АЛМАЗАМИ

Канд. техн. наук С. В. ГРУБЫЙ, инж. Н. И. МУРАТОВА

Приведены результаты исследования стойкости резцов, оснащенных природными монокристаллическими алмазами, при обработке деталей из меди и алюминиевого сплава. Проанализировано изменение геометрических параметров, элементов срезаемого слоя при движении резца от периферии к центру заготовки. Рассчитаны силы резания на передней и задней поверхностях резца, проведена оценка величины радиуса округления режущей кромки. Определены условия, при которых достигаются требуемые параметры качества обработанной поверхности.

В ответственных деталях современных машин и приборов, например дисках для звукозаписи и ЭВМ, электрографических цилиндрах, коллекторах, поршнях, роторах, отражателях, погрешность формы прецизионных поверхностей должна быть не более 1,0 мкм и шероховатость R_z 0,1...0,05 мкм и менее [1]. Механическая обработка поверхностей таких деталей может быть выполнена прецизионными резцами специальных конструкций из природных алмазов.

В НПО «Композит» с целью повышения эффективности тонкого алмазного точения проведены экспериментальные исследования и изучена стойкость резцов, оснащенных природными алмазами.

В качестве базовых использованы специальные алмазные резцы Р 361 производства Томилинского завода алмазного инструмента. Для оснащения резцов в состоянии поставки использованы монокристаллы природного алмаза по ТУ 47-2-73 XXVI группы подгрупп «а» и «б» или VII группы подгруппы «в» весовой группы 0,41—0,60 карата форме октаэдра и ромбододекаэдра плотной структуры, прозрачные или полупрозрачные, без трещин, раковин и других видимых дефектов рабочей части. Кристаллы в державке крепятся с помощью пайки. Предварительное формообразование режущей части выполнено на заде-изготовителе путем шлифования на шлифовально-доводочном станке. Окончательная доводка и переточка режущих лезвий резцов выполнены на чугунном круге, шаржированном алмазным микропорошком в условиях и на оборудовании НПО «ВНИИалмаз» и ИСМ АН СССР; для контроля качества доводки режущей кромки использовался металлографический микроскоп «Неофот» при увеличении 1000* на отсутствие сколов, выкрашиваний и других дефектов.

Применение алмазных резцов исследовалось на специальном прецизионном стенде модели МО 1805 разработки ИСМ АН УССР, реализующем схему наружного торцового точения [2]. Наличие аэростатических подшипников во всех подвижных узлах обрабатывающей установки стенда, прецизионных датчиков и приводов позволило получить высокие точность и качество обработки.

С учетом существенного влияния условий резания на работоспособность резцов и качество обработки изучались геометрические параметры и элементы срезаемого слоя, характерные для тонкого точения, когда в работе участвует только радиусный участок режущей кромки.

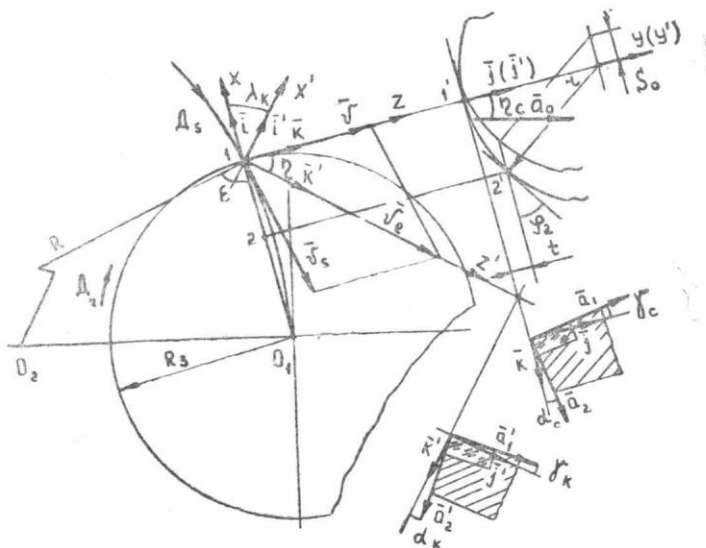


Рис. 1. Кинематическая схема резания

Рассмотрена кинематическая схема резания (рис. 1), на которой показано вращение заготовки с главным движением резания D_r , а резец имеет круговое движение подачи D_s по дуге окружности радиуса R , проходящей через центр заготовки O_1 (R_3 — текущий радиус заготовки).

На схеме рис. 1 выделена статическая система координат XYZ $\{\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}\}$, где орт \bar{i} задает направление режущей кромки по радиусу заготовки. Кинематическая система координат $X'Y'Z'$ $\{\bar{i}', \bar{j}', \bar{k}'\}$ образована поворотом системы XYZ вокруг орта \bar{j} на угол η так, что орт \bar{k}' совпадает с вектором скорости результирующего движения резания \bar{v}_e . Связь систем координат задается системой уравнений

$$X' = X \cos \eta + Z \sin \eta; \quad Y' = Y; \quad Z' = -X \sin \eta + Z \cos \eta, \quad (1)$$

где $\eta = \arcsin (v_s \sin \varepsilon / v_e)$, v — скорость резания, v_s — скорость движения подачи, ε — угол между радиусами R и R_3 в точке I .

Передний и задний углы γ_r и α_c определены в статической системе координат как углы между ортом \bar{j} , единичным вектором \bar{a}_1 и ортом \bar{k} , единичным вектором \bar{a}_2 соответственно. Углы γ_k и α_k находятся в кинематической системе координат между ортами \bar{j}' , \bar{k}' , проекциями \bar{a}_1' , \bar{a}_2' соответствующих единичных векторов. С учетом связи (1) передний и задний кинематические углы выражены через статические

$$\gamma_k = -\arccos \frac{\cos \gamma_c}{(\cos^2 \gamma_c + \sin^2 \gamma_c \cos^2 \eta)^{0.5}}, \quad (2)$$

$$\alpha_k = \arccos \frac{\cos \alpha_c \cos \eta}{(\sin^2 \alpha_c + \cos^2 \alpha_c \cos^2 \eta)^{0.5}}. \quad (3)$$

Кинематический угол наклона режущей кромки в точке I равен углу между ортами \bar{i} , \bar{i}' , т. е. $\lambda_k = -\eta$. С учетом реальных глубин резания для тонкого алмазного точения кинематические углы практически не изменяются вдоль активного участка радиусной режущей кромки.

Направление схода стружки по передней поверхности реза задавали углом схода между суммарным вектором схода \bar{a}_0 и ортом \bar{j} (рис. 1). Суммарный вектор схода стружки вычисляли с учетом допущений: условный угол схода стружки на элементарном участке режущей кромки равен кинематическому углу наклона, а значение элементарного вектора схода стружки пропорционально толщине среза на этом участке. Тогда суммарный вектор схода стружки и угол схода стружки равны

$$\bar{a}_0 = (A\bar{i} + B\bar{j}) / \sin \varphi_2, \quad (4)$$

$$\eta_c = \arccos [B / (A^2 + B^2)^{0.5}], \quad (5)$$

где
$$A = \sum_{i=1}^n \sin \varphi_i \sin (\varphi_i + \lambda_k) \quad B = \sum_{i=1}^n \sin \varphi_i \cos (\varphi_i + \lambda_k),$$

φ_2 , φ_i — углы в плане в точке 2 и на элементарном участке режущей кромки соответственно, угол λ_k берется с учетом знака, n — число участков суммирования на активном участке радиусной режущей кромки.

Эффективная толщина срезаемого слоя определена как средняя вдоль радиусной режущей кромки в направлении схода стружки, т. е.

$$a_{\text{эф}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sin \varphi_i / \cos (\varphi_i - \eta_c)}{n} \frac{v_s \sin \epsilon}{\omega}, \quad (6)$$

где ω — частота вращения шпинделя с деталью, угол η_c берется с учетом знака. Ширина срезаемого слоя принята равной длине активного участка радиусной режущей кромки.

Таблица 1
Изменение геометрических параметров и элементов срезаемого слоя при движении реза от периферии к центру

Радиус заготовки, мм	Кинематические углы, град			Угол схода стружки	Элементы срезаемого слоя, мкм	
	γ_k	α_k	λ_k	η_c , град	$a_{\text{эф}}$	b
5	-3,0	12,0	0	2,4	0,671	222,4
0,1	-3,0	12,0	-1,9	-10,0	0,309	100,0
0,02	-2,9	12,2	-9,6	-35,0	0,075	20,0
0,005	-2,5	14,4	-34,1	-64,0	0,036	5,0

На основании (2)—(6) выполнен анализ кинематических углов реза, угла схода стружки, элементов срезаемого слоя в зависимости от текущего радиуса заготовки. В табл. 1 приведены расчетные значения для конкретных условий: статический передний угол — 3 град, ста-

тический задний угол 12 град, радиус при вершине 3,5 мм, скорость движения подачи 0,14 мм/с, частота вращения шпинделя 400 об/мин, глубина резания 7 мкм. Следует отметить, что геометрические параметры изменяются при приближении резца к центру вращения заготовки, причем наиболее значительно — углы наклона режущей кромки и схода стружки. Эффективная толщина срезаемого слоя уменьшается и находится в пределах от десятых до сотых долей микрометра. Вследствие этого изменяются силы, действующие на резец при резании:

на передней поверхности сила стружкообразования и трения

$$R_c = 1,41 \tau_p a_{эф} b / \sin \beta, \quad F_{тр} = R_c \sin(45 + \gamma_k - \beta); \quad (7)$$

на задней поверхности сила трения и нормальная сила

$$F_z = 0,5 \tau_p b l_z, \quad N_z = F_z / \mu, \quad (8)$$

где τ_p — сопротивление обрабатываемого металла пластической деформации в плоскости сдвига; β — угол сдвига, b — ширина срезаемого слоя, l_z — длина контакта по задней поверхности, μ — коэффициент трения.

Величина τ_p принята равной касательному напряжению при относительном сдвиге 2,5 и для меди составляет 280 МН/м² [3]. Расчет угла сдвига, коэффициента усадки, длины контакта по задней поверхности выполнен по [4]. Коэффициент трения природного алмаза по меди равен 0,06 и остается постоянным в широком диапазоне скоростей скольжения [5].

В табл. 2 приведены расчетные значения угла сдвига, длины контакта и сил, действующих на резец при точении медной заготовки (условия резания соответствуют условиям табл. 1, радиус округления кромки 0,1 мкм).

Таблица 2

Результаты расчета сил, действующих на алмазный резец

Радиус заготовки, мм	Передняя поверхность			Задняя поверхность		
	β , град	R_c , мН	$F_{тр}$, мН	l_z , мкм	N_z , мН	F_z , мН
5	8,4	224,0	124,0	0,345	178,3	10,7
0,1	7,9	35,0	19,6	0,345	80,0	4,8
0,02	—	—	—	0,342	16,7	1,0
0,005	—	—	—	0,306	3,3	0,2

Как следует из данных табл. 1 и 2, для резца с радиусом округления режущей кромки 0,1 мкм процесс резания прекращается при текущем радиусе заготовки менее 0,02 мм в связи с малой толщиной среза. При этом остается силовое взаимодействие между резцом и заготовкой по контактной площадке на задней поверхности. Уменьшая радиус округления режущей кромки резца можно установить условия, при которых процесс будет продолжаться до тех пор, пока резец приблизится практически к центру вращения заготовки. В этом случае для частоты вращения шпинделя 400 об/мин радиус округления не должен быть больше 0,04 мкм, для частоты вращения 1000 об/мин — 0,01 мкм.

С учетом проведенного анализа установлены допустимые параметры качества обработанной поверхности, соответствующие периоду нормального изнашивания резца: наибольшая высота неровностей профиля менее 0,05 мкм по всей поверхности, отсутствие круговых царапин и др. Период катастрофического изнашивания соответствует появлению на

передней поверхности режущей кромки микросколов усталостного характера размером 10...50 мкм.

Период стойкости резцов оценивали по пути резания до выхода параметров качества за пределы допустимого. Предусмотрен автоматизированный расчет пути резания для деталей различных типоразмеров. Стойкость каждого резца определена при последовательной обработке деталей типа дисков диаметром до 350 мм из меди марки МОБ ГОСТ 859-78 или алюминиевого сплава АМг6 ГОСТ 4784-74. Заготовки перед точением подвергнуты стабилизирующему отжигу. Шероховатость поверхности заготовок контролировали при визуальном сравнении с поверхностью образцов — свидетелей, обработанных в одинаковых условиях. Профилограммы образцов — свидетелей получали на профилографе «Talystep» во ВНИИ Метрологической службы Госстандарта СССР.

Геометрические параметры отобранных резцов составили: передний угол—1...5 град, задний угол 11...13 град, радиус при вершине 3,2...4,0 мм. Установлены рациональные режимы резания: частота вращения шпинделя 300...400 или 1000 об/мин в зависимости от веса заготовки, глубина 3...7 мкм, скорость движения подачи 0,08...0,18 мм/с. В качестве СОТС использована спирто-воздушная смесь, подача в зону резания со стороны передней поверхности резца с расходом спирта 100...130 мл/ч.

Гистограмма стойкости резцов приведена на рис. 2, где заштрихованная часть соответствует периоду приработки, незаштрихованная — нормальному изнашиванию. Средняя стойкость резцов составила 181,5 км по пути резания, коэффициент вариации стойкости 0,26. Разброс значений стойкости вызван различием как свойств кристаллов алмаза, так и характеристик обрабатываемых деталей.

Проведенные исследования подтвердили, что для обработки ответственных деталей машин и приборов необходимы специальные алмазные резцы повышенной стойкости, с более стабильными режущими свойствами.

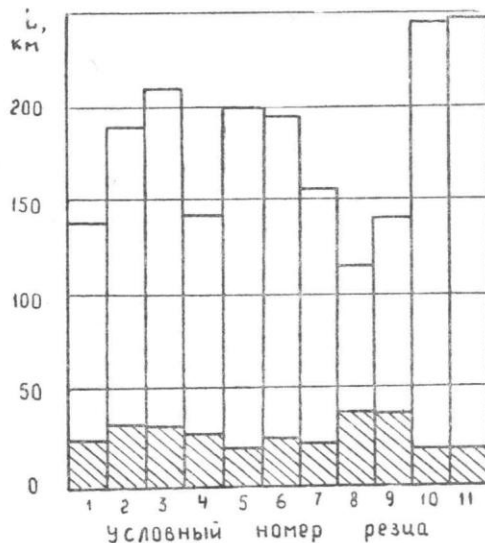


Рис. 2. Гистограмма стойкости алмазных резцов

ЛИТЕРАТУРА

1. Хрульков В. А., Головань А. Я., Федотов А. И. Алмазные инструменты в прецизионном приборостроении. — М.: Машиностроение, 1977.—233 с.
2. А. с. 1103947 (СССР). Способ токарной обработки асферических поверхностей и устройство для его осуществления; Авт. изобрет. Г. Г. Добровольский, Б. С. Крячек, Н. К. Люненко // Бюллетень изобретений. 1984.—№ 7.—МКИ В23 В 5/40.
3. Сяли С. С. Метод подбора при резании материалов. — М.: Машиностроение, 1979.—152 с.
4. Добровольский Г. Г. Жоголев Д. А. Расчет угла сдвига и усадки стружки при алмазном микроточении // Сверхтвердые материалы. — 1985.—№ 5.—С. 44—48.