

■ ТРУДЫ ■
ВНИИАЛМАЗА



■ ТРУДЫ ■
ВНИИАЛМАЗА

■ ТРУДЫ ■
ВНИИАЛМАЗА

■ ТРУДЫ ■
ВНИИАЛМАЗА

НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ
АЛМАЗНОЙ
ОБРАБОТКИ
И ДОВОДКИ

МИНИСТЕРСТВО СТАНОКСТРОИТЕЛЬНОЙ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ И ИНСТРУМЕНТА
(ВНИИАЛМАЗ)

*Задание
от одного
Заведущего*

НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ И ДОВОДКИ

Труды ВНИИАЛМАЗа

№ 2

“Библиотека Машиностроителя”
www.lib-bkm.ru

НИИМАШ
МОСКВА 1974

ПРЕДИСЛОВИЕ

Широко применяющаяся в настоящее время в самых различных сферах народного хозяйства алмазная обработка как новый технологический метод изучена еще недостаточно. Этим можно объяснить, например, часто встречающуюся в практике различную эффективность использования алмазных инструментов даже на однотипных операциях. Для определения общих закономерностей алмазной обработки, а в дальнейшем и разработки теоретических основ этого процесса важно тщательное накопление и обобщение опыта в области производства и в условиях эксплуатации алмазного инструмента.

ВНИИАЛМАЗ, один из первых в нашей стране инструментальных институтов, работает над созданием новых конструкций и технологии изготовления всех видов инструмента из природных и синтетических алмазов и сверхтвердых материалов. Одним из важных направлений его деятельности является определение оптимальных режимов эксплуатации алмазных инструментов.

При все возрастающем объеме использования алмазных инструментов для обработки различных материалов непрерывно увеличивается и круг специалистов научно-исследовательских организаций, вузов и заводов, работающих в этой области. Имея целью ознакомить специалистов разного профиля с информацией не только прикладного характера, но и прежде всего теоретического плана, ВНИИАЛМАЗ начал с 1973 года систематическое издание Трудов. Вопросы информационного оперативного характера, связанные с практикой алмазной обработки, освещаются в ежемесячном сборнике «Алмазы и сверхтвердые материалы».

Второй выпуск Трудов посвящен работам, выполненным в институте за последние годы, по созданию технологии изготовления инструментов и техники их применения, третий — вопросам изучения и исследования свойств природных и синтетических алмазов.

Авторы Трудов института будут благодарны всем специалистам, приславшим свои замечания и предложения по существу публикуемых работ.

Директор ВНИИАЛМАЗа

В. Ф. РОМАНОВ

АННОТАЦИИ СТАТЕЙ, ПОМЕЩЕННЫХ В ТРУДАХ

ВНИИ Алмаза № 2

Алмазная обработка поверхностей элементов ускоряющей структуры. Г. А. Зеликсон, В. Л. Шлионский, М. Н. Косякин, Е. К. Сорочкин.

Приведены результаты исследований обработки элементов ускоряющих структур алмазным инструментом, что позволяет уменьшить потери высоко-частотной энергии на 5—10%.

Исследование процесса одновременной двусторонней доводки изделий из корунда. Р. З. Цыпкин, В. И. Белов, А. С. Дарер.

Сообщаются результаты исследования двусторонней доводки корунда на модернизированном станке мод. ПД-01 с использованием новой технологии, позволяющей сократить трудоемкость доводки в 18—20 раз.

Влияние смазочных сред на контактные взаимодействия между твердыми телами при граничном трении. А. А. Канаев, С. Я. Вейлер, Р. Ф. Кохап.

Исследовалось влияние смазок на процесс протягивания проволоки через твердосплавные и алмазные волокна. Показано, что смазки могут значительно повышать износостойкость алмазных волокон, не влияя при этом на силу трения.

Исследование кинетики уплотнения при спекании композиции железо — медь — олово. Г. А. Меерсон, Е. Г. Зимина, В. В. Журавлев.

Приведены результаты исследований изменения объема образцов композиции Fe — Cu — Sn при нагрезе.

Методика расчета оптимального состава металлических связок алмазного абразивного инструмента для обработки различных материалов. П. И. Калинин, Г. М. Свердлов.

Разработана новая методика оценки взаимозависимости различных параметров металлической связки круга и обрабатываемого материала, позволяющая с учетом известных свойств сплавов и с минимальным количеством экспериментов создавать высокоэффективные инструменты различного назначения.

Исследование свойств поверхности твердосплавных деталей, обработанных электролитическим алмазным шлифованием. В. Н. Львов, В. Г. Сафонов, Э. В. Дуров.

Приведены результаты исследований качества обработанной электролитическим шлифованием поверхности твердых сплавов.

Исследование некоторых свойств наполненных фенолформальдегидных смол. Е. А. Сторчак, С. А. Попов, И. С. Пеккер.

Показано влияние материала и количества наполнителя на физико-механические и эксплуатационные свойства алмазных кругов на органических связках.

Влияние некоторых свойств шлифовального круга на интенсивность автоколебаний. В. Н. Ряховский.

Исследовалось влияние имеющихся на рабочей поверхности круга волн на точность обработки. Показано, что периодическое изменение скорости шлифования существенно снижает огранку на шлифуемой поверхности.

Оперативно-суточное планирование заданий для участков по производству алмазных кругов с применением современных математических методов и ЭВМ. В. А. Волков, М. Я. Израйлович, Н. А. Колчманов.

Разработан алгоритм оптимального оперативно-суточного планирования производства алмазного инструмента, рекомендуемый для практического использования диспетчерской службой заводов-изготовителей.

Исследование процесса шлифования мрамора алмазными торцевыми кругами. К. А. Перепеч.

Приведены результаты внедрения поточного шлифования камня на камнеобрабатывающих комбинатах.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
<i>Г. А. Зеликсон, В. Л. Шлионский, М. Н. Косякин, Е. К. Сорокин.</i> Алмазная обработка поверхностей элементов ускоряющей структуры	4
<i>Р. З. Цыпкин, В. И. Белов, А. С. Дарер.</i> Исследование процесса одно-временной двусторонней доводки изделий из корунда	13
<i>А. А. Канаев, Р. Ф. Кохан, С. Я. Вейлер.</i> Влияние смазочных сред на контактные взаимодействия между твердыми телами при граничном трении	20
<i>Г. А. Меерсон, В. В. Журавлев, Е. Г. Зимица.</i> Исследование кинетики уплотнения при спекании композиций железо — медь — олово	26
<i>П. И. Калинин, Г. М. Свердлов.</i> Методика расчета оптимального состава металлических связок алмазного абразивного инструмента для обработки различных материалов	35
<i>В. Н. Львов, В. Г. Сафронов, Э. В. Дуров.</i> Исследование свойств поверхности твердосплавных деталей, обработанных электролитическим алмазным шлифованием	54
<i>Е. А. Сторчак, С. А. Попов, Н. С. Пеккер.</i> Исследование некоторых свойств наполненных фенолформальдегидных смол	62
<i>В. Н. Ряховский.</i> Влияние некоторых свойств шлифовального круга на интенсивность автоколебаний	76
<i>В. А. Волков, М. Я. Израилович, Н. А. Колчманов.</i> Оперативно-суточное планирование заданий для участков по производству алмазных кругов с применением современных математических методов и ЭВМ	82
<i>К. А. Перепеч.</i> Исследование процесса шлифования мрамора алмазными торцевыми кругами	91

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ АУТОКОЛЕБАНИЙ

В. Н. РЯХОВСКИЙ

При шлифовании на рабочей поверхности круга возникают неровности, вызывающие относительные колебания круга и изделия, от чего на поверхности круга образуются волны.

Известно [1], что волны круга служат источником энергии, поддерживающей автоколебания при шлифовании.

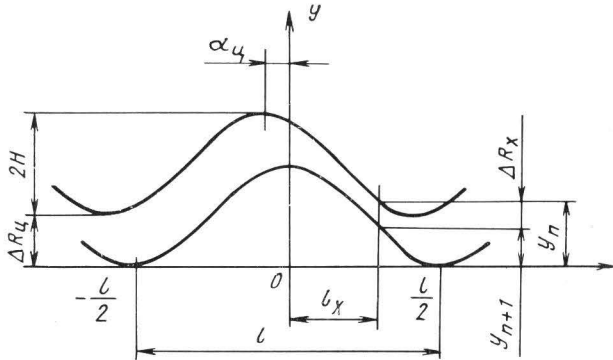


Рис. 1. Схема изменения положения волны на рабочей поверхности круга за один его оборот

Расчетная схема (рис. 1) демонстрирует изменение положения волн на одном из участков развертки рабочей поверхности круга при следующих друг за другом оборотах круга (после n и $n+1$ оборотов).

Круг расположен ниже соответствующих кривых, движение его поверхности происходит справа налево, а волны описываются синусоидальными линиями:

$$y_{n+1} = H + H \cos \frac{2\pi l_x}{l}, \quad (1)$$

где H — высота волн на рабочей поверхности круга, мм;
 l_x — текущее значение абсциссы волны, мм;
 l — длина волны, мм.

$$y_n = \Delta R_{ц} + H + H \cos \frac{2\pi(l_x + \alpha_{ц})}{l}, \quad (2)$$

где $R_{ц}$ — изменение радиуса круга за один оборот, мм;
 $\alpha_{ц}$ — смещение волны по поверхности круга за один оборот, мм.

Изменение радиальной составляющей силы резания при работе на металлорежущих станках является мощным источником энергии, поддерживающей автоколебания [2].

Величина мгновенной радиальной составляющей силы резания P_{yx} при шлифовании может быть определена по формуле [3]:

$$P_{yx} = P_y \left(\frac{\Delta R_x}{\Delta R_u} \right)^b \text{ кгс}, \quad (3)$$

где P_y — величина радиальной составляющей силы резания без вибраций, кгс;

ΔR — мгновенная толщина материала круга, снимаемого изделием при вибрациях, мм;

$$b = \frac{z_p}{z},$$

z_p и z — показатели степени в формулах (4) и (5) для определения величины радиальной составляющей силы резания P_y и величины износа абразивного круга Q при шлифовании без вибраций.

$$P_y = c_p v_n^x s^y t^z v_{кр}^{m_p} \text{ кгс}, \quad (4)$$

$$Q = c_v v_n^x s^y t^z v_{кр}^{m_q} \text{ кгс}, \quad (5)$$

где v_n — скорость изделия, м/мин;

s — продольная подача за оборот изделия, мм/об.изд.;

t — задаваемая глубина резания, мм;

$v_{кр}$ — скорость круга, м/сек;

$c, x, y, z, m, c_p, x_p, y_p, z_p, m_p$ — коэффициенты, определяемые экспериментально.

Величина ΔR_u вычисляется на профилографах, показывающих изменение радиуса круга за счет его износа при шлифовании без вибраций.

Величина ΔR_u также может быть рассчитана по формуле:

$$\Delta R_u = \frac{Q}{60000 v_{кр} B}, \quad (6)$$

где B — высота рабочей части круга, мм.

Из расчетной схемы:

$$\Delta R_x = y_n - y_{n+1}. \quad (7)$$

После соответствующих преобразований получим:

$$\Delta R_x = \Delta R_u = 2H \sin \frac{\pi (2l_x + \alpha_u)}{l} \sin \frac{\pi \alpha_u}{l}. \quad (8)$$

Работа силы P_{yx} в радиальном направлении (вдоль оси y)

при перемещении на величину dy составит:

$$dA = P_{yx} dy = P_y \left(\frac{\Delta R_x}{\Delta R_{II}} \right)^b dy. \quad (9)$$

Из формулы (1):

$$dy = - \frac{2\pi H}{l} \sin \frac{2\pi l_x}{l} dl_x. \quad (10)$$

Подставив в формулу (9) значения ΔR_x и dy , определяемые по формулам (8) и (10), получим:

$$dA = - \frac{2\pi HP_y}{l} \left[1 - \frac{2H}{\Delta R_{II}} \sin \frac{\pi(2l_x + \alpha_{II})}{l} \sin \frac{\pi \alpha_{II}}{l} \right]^b \sin \frac{2\pi l_x}{l} dl_x. \quad (11)$$

В общем случае показатель степени b не является целым числом, поэтому для интегрирования уравнения (11) в общем виде выражение, стоящее в квадратных скобках, определим приближенно, пользуясь следующим разложением в ряд:

$$(1 - x)^b = 1 - bx + \frac{b(b-1)}{2} x^2 - \dots \quad (12)$$

Это разложение действительно при $x \leq 1$; $b > 0$.

В данном случае разложение в степенной ряд справедливо при:

$$\frac{2H}{\Delta R_{II}} \sin \frac{\pi(2l_x + \alpha_{II})}{l} \sin \frac{\pi \alpha_{II}}{l} \leq 1. \quad (13)$$

Выполнив указанное разложение (до второго члена) и соответствующие преобразования, получим:

$$dA = - \frac{2\pi HP_y}{l} \left[1 + \frac{Hb}{\Delta R_{II}} \cos \frac{2\pi(l_x + \alpha_{II})}{l} - \frac{Hb}{\Delta R_{II}} \cos \frac{2\pi l_x}{l} \right] \times \\ \times \sin \frac{2\pi l_x}{l} dl_x. \quad (14)$$

Энергия, вводимая в систему волнами круга за цикл колебаний, рассчитывается следующим образом:

$$A = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} dA. \quad (15)$$

После вычислений получим:

$$A = \frac{\pi H^2 b P_y}{\Delta R_{II}} \sin \frac{2\pi \alpha_{II}}{l} \text{ кгс} \cdot \text{мм}. \quad (16)$$

Учитывая, что $\frac{2\pi\alpha_{\text{ц}}}{l} \ll 1$, и полагая, что

$$\sin \frac{2\pi\alpha_{\text{ц}}}{l} = \frac{2\pi\alpha_{\text{ц}}}{l},$$

получим:

$$A = \frac{2\pi^2 H^2 P b \alpha_{\text{ц}}}{\Delta R_{\text{ц}} l} \text{ кгс} \cdot \text{мм}. \quad (17)$$

В том случае, когда волны на рабочей поверхности круга несимметричны, величина энергии, вводимой в систему за цикл колебаний, может быть определена по формуле (18), вывод которой аналогичен изложенному:

$$A = \frac{\pi^2 H^2 P_y b}{\Delta R_{\text{ц}}} \left(\frac{\alpha_{\text{ц}}}{l_1} + \frac{\alpha_{\text{ц}}}{l_2} \right) \text{ кгс} \cdot \text{мм}, \quad (18)$$

где l_1 — участок волны после $n+1$ оборотов расположен слева, а l_2 — справа от оси ординат (см. рис. 1).

При обработке твердого сплава марки ВК10 алмазным кругом АПП 200×10×75 А12 Б2 50% на круглошлифовальном станке мод. 312М с применением для охлаждения 1,5%-ного раствора соды в воде на режимах фрезания: скорость круга — 29,5 м/сек, скорость изделия — 18 м/мин, продольная подача — 5,3 мм/об.изд., поперечная подача — 0,0025 мм при каждом проходе получены следующие значения коэффициентов: $2H = 0,023$ мм, $b = 0,55$, $\alpha_{\text{ц}} = 0,002$ мм, $\Delta R_{\text{ц}} = 0,000005$ мм, $l_1 = 20$ мм, $l_2 = 24$ мм. Величина этой энергии значительно больше величины энергии от других источников, поддерживающих автоколебания при шлифовании [1]. Методика и пример определения мгновенных значений составляющих силы резания и величины рассматриваемой энергии с учетом фактического изменения размеров и формы волн круга приведены в работе [3].

Анализ полученных зависимостей и примера позволяет сделать следующие выводы.

Количество энергии, вводимой в колеблющуюся систему вследствие возбуждающихся автоколебаний, зависит от высоты волн, свойств круга и технологической системы. Так, величина рассматриваемой энергии пропорциональна квадрату высоты волн круга. При одинаковой высоте волн влияние свойств круга на количество возникающей энергии выражено через величины P_y , b , B , $\Delta R_{\text{ц}}$, Q , $\alpha_{\text{ц}}$. Чем больше значение радиальной составляющей силы резания (и величин B , b) и меньше износ круга, тем больше энергии возбуждается волнами круга. Влияние технологической системы представлено коэффициентами $\alpha_{\text{ц}}$, l . Чем больше сдвиг волн при последующих оборотах круга, тем больше энергии вводится в колебательную систему.

Как указано в работе [2], наличие переменной силы без сдвига фаз колебаний не создает энергии, поддерживающей автоколебания.

В табл. 1 представлены результаты исследований по определению влияния жесткости заднего центра на некоторые параметры процесса шлифования и возникающих автоколебаний. Шлифование твердого сплава ВК10 производилось алмазным

Таблица 1

Жесткость заднего центра, кгс/мм	Чистота колебаний, $\mu\text{ц}$	Время работы до появления огранки, мин	Высота волн на круге, мкм	Удельный расход алмаза, мг/г
1000	750	8	10	9,8
620	540	5	38	15,5
380	420	3	64	19,7

кругом АПП 200×10 АСП8 Б1 50% на круглошлифовальном станке мод. 312М с охлаждением 1,5%-ным раствором соды в воде при следующих режимах резания: $v_{\text{кр}}=26 \text{ м/сек}$, $v_{\text{ш}}=18 \text{ м/мин}$, $s_{\text{прод}}=5 \text{ мм/об.изд.}$, $s_{\text{поп}}=0,0025 \text{ мм}$ при каждом проходе.

Из результатов, представленных в табл. 1, видно, что снижение жесткости технологической системы приводит к более быстрому возникновению автоколебаний, повышению их интенсивности и увеличению расхода алмаза, поэтому возникновение автоколебаний при алмазном шлифовании нежелательно.

Анализ полученных теоретических зависимостей и результатов экспериментальных исследований позволяет наметить пути рекомендаций снижения интенсивности автоколебаний при шлифовании. Одним из них является своеобразная правка круга. Недостатком этого способа снижения интенсивности колебаний является потеря времени на правку и расход круга при правке. Установлено [1], что волны круга, соударяясь с изделием примерно в одних и тех же участках (по впадинам волн), увеличивают высоту волн на круге, раскачивают технологическую систему и образуют волны на обрабатываемой поверхности. Существует предположение [1, 6], что для предотвращения быстрого возникновения и роста волн на поверхности круга нужно исключить соударение круга и изделия в одних и тех же точках. Это возможно, например, за счет периодического изменения скорости вращения круга. Данный способ, проверенный [1, 6, 7, 8] при шлифовании конструкционных, валковых и жаропрочных сталей, показал повышение стойкости круга до появления огранки на изделии в полтора-два раза, снижение высоты волн на круге и изделия — до двух-трех раз и уменьшение шероховатости обработанной поверхности — в пределах одного класса по сравнению со значениями соответствующих факторов при шлифовании с постоянной скоростью резания.

В табл. 2 приведены результаты исследования влияния изменения скорости резания на волнистость круга при шлифовании

Таблица 2

Скорость шлифования, м/сек		Время шлифования, мин	Высота волн на круге $2H$, мкм	Число волн
Постоянная	33,6	11,25	5	12—13
		15,0	9	12—13
		18,75	10	12
		22,5	12	11
Переменная	33,6	11,25	—	—
	22	15	—	—
	33,6	18,75	—	—
	26	22,5	2—3	14

с охлаждением 1,5%-ным раствором соды в воде твердого сплава ВК10 на станке мод. 312М алмазным кругом АПП $200 \times 10 \times 75$ А12 Б2 25% с поперечной подачей 0,0025 мм на 4 прохода, продольной подачей 5,3 мм/об и скоростью изделия 18 м/мин.

Шлифование проводилось с постоянной скоростью круга — 33,6 м/сек и переменной — от 26 до 33,6 м/сек и обратно (время шлифования дано для каждой скорости).

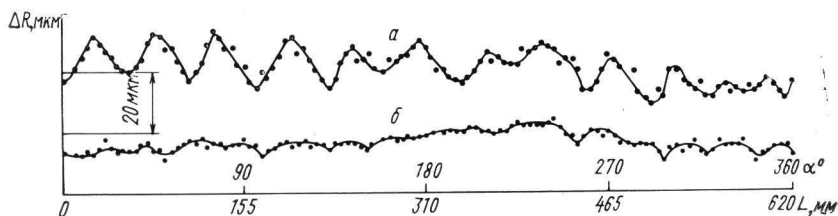


Рис. 2. Влияние способа шлифования на образование волн на рабочей поверхности алмазного круга:

а — с постоянной скоростью; б — с переменной скоростью

На рис. 2 приведена развертка рабочей поверхности круга после 18,75 мин шлифования с постоянной (кривая а) и переменной (кривая б) скоростями резания. По оси абсцисс дана развертка рабочей поверхности круга.

При шлифовании с постоянной скоростью резания четкие волны на круге возникли после 11,25 мин шлифования, их средняя высота составила 5 мкм; при шлифовании с переменной ско-

ростью волны стали заметны после 18,75 мин шлифования. В последнем случае волны были нечеткие, число их не соответствовало частоте колебаний при работе с постоянной скоростью резания (на каждом из ее экстремальных значений), средняя высота волн была в несколько раз меньше, чем при шлифовании с постоянной скоростью резания, и они не привели к образованию заметной волнистости на обрабатываемой поверхности.

При шлифовании с постоянной скоростью круга 33,6 м/сек огранка на шлифуемой поверхности возникла после 7,5 мин, при шлифовании с переменной скоростью резания огранка не появилась в течение всего времени шлифования, длившегося 22,5 мин.

Таким образом, периодическое изменение скорости круга при алмазном шлифовании твердого сплава существенно влияет на образование волн шлифовального круга, интенсивность колебаний и снижает огранку на шлифуемой поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ряховский В. Н. Исследование процесса вибраций при круглом наружном шлифовании. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., ЦНИИТМАШ, 1965.
2. Ильницкий И. И. Колебания в металлорежущих станках и пути их устранения. Москва — Свердловск, Машгиз, 1958.
3. Ряховский В. Н. Определение мгновенной силы резания при шлифовании алмазными и абразивными кругами. Сб. «Теория и практика алмазной обработки». М., НИИМАШ, 1969.
4. Кедров С. М., Цейц И. Э. Справочник нормировщика. Вып. IX, М., 1949.
5. Ряховский В. Н., Агасарян Р. Р. Влияние финишной обработки на качество валков холодной прокатки. Сб. «Алмазно-абразивная обработка высокопрочных и труднообрабатываемых материалов». М., ЦНИИТМАШ, 1967.
6. Ряховский В. Н. Способ шлифования. Авторское свидетельство № 174957, «Бюлл. изобр. и товарных знаков», № 18, ЦНИИПИ, 1965.
7. Тодоров Н. Т. Экспериментальное исследование колебаний, волнистости круга и изделия при круглом врезном шлифовании. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., ЭНИМС, 1968.
8. Кучма Л. К., Ряховский В. Н. Исследование процесса вибраций при круглом наружном шлифовании. Сб. «Вибрации в машиностроении и сельскохозяйственной технике». Арм. НИИМЭСХ, Закавказский филиал ЭНИМС, Ереван, 1966.

УДК 658.512.6:681.32]:621.922.34.002.2

ОПЕРАТИВНО-СУТОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАДАНИЙ ДЛЯ УЧАСТКОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ЭВМ

В. А. ВОЛКОВ, М. Я. ИЗРАИЛОВИЧ, Н. А. КОЛЧЕМАНОВ

Одной из наиболее важных задач совершенствования системы оперативно-суточного планирования является повышение ритмичности производства.