

*М.А. ГРИГОРЯН***НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРАВКИ**

Установлен закон разновысотности выступов режущих поверхностей алмазного ролика и шлифовального круга. Получены формулы для определения: количества режущих выступов на разных уровнях профиля инструмента; количества вероятных контактирующих зерен; критической разрушающей силы выступа. Показаны преимущества и эффективность применения алмазных роликов с ориентированными алмазными зёрнами.

**Ключевые слова:** микрогеометрия, разновысотность, количество контактов, разрушение.

Практика мирового производства подтвердила неоспоримые преимущества алмазных правящих роликов (АР), отличающихся высокой производительностью по сравнению с другими правящими инструментами. Однако состояние вопросов, связанных с использованием АР в промышленности, позволяет утверждать, что комплексные исследования и разработка научных основ повышения производительности правки шлифовальных кругов (ШК), а также новых высокоэффективных инструментов и методов правки – неотложная задача научно-технического прогресса, для решения которой необходимы соответствующие подходы.

**Рельеф контактирующих поверхностей.** При правке происходит динамическое взаимодействие рельефов композиционных шероховатых поверхностей двух неоднородных материалов АР и ШК, отличающихся следующими основными особенностями: контактирование происходит в условиях высоких давлений и температур; контактирующие тела являются композиционными с разными физико-механическими свойствами; микрогеометрии взаимодействующих поверхностей изменяются в процессе контактирования; контактирующие выступы перемещаются относительно друг друга с высокими скоростями и подвергаются динамическим и тепловым воздействиям; в зоне контакта возможны косые поперечные и продольные соударения режущих выступов зерен; контактирующие выступы подвергаются упругим деформациям, а зёрна перемещаются в связующих материалах.

На основании экспериментальных данных с учетом токопроводности металлической связки АР и метода повторного профилографирования поверхности ШК и разделения общей профилограммы на профилограммы отдельных компонентов установлено (табл.), что высотные параметры профиля зерен больше, чем связок; инструмент с большими зёрнистостями имеет большие высотные параметры.

Высотные параметры микрогеометрии компонентов инструментов

Характеристика инструмента	Профи-логграмма	До работы			После работы		
		H, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм	H, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм
АС15 250/200 М1 100%	Общая	23	11,5	2,3	120	100	24
	Алмаза	23	11,5	2,3	120	100	24
	Связки	8	6	1,6	80	50	15
АС15 315/250 М1 100%	Общая	24	12,2	2,4	125	104	25
	Алмаза	24	12,2	2,4	125	104	25
	Связки	12	10	1,7	85	68	15
АС15 400/315 М1 100%	Общая	26	13,3	2,6	128	106	26,5
	Алмаза	26	13,3	2,6	128	106	26,5
	Связки	14	11	1,8	90	70	18
24А40 СМ17К5	Общая	340	283	70,8	303	257	64
	Зерна	340	283	70,8	303	257	64
	Связки	110	90	20	200	150	35
24А25 СМ17К5	Общая	250	208	52	220	183	45
	Зерна	250	208	52	220	183	45
	Связки	150	110	28	145	110	25
24А16 СМ17К5	Общая	180	150	38	160	133	33
	Зерна	180	150	38	160	133	33
	Связки	130	110	28	110	80	20
Л020СТ1К5 100%	Общая	90	75	18	80	66	16
	Зерна	90	75	18	80	66	16
	Связки	60	55	15	50	40	10
Л016СТ1К5 100%	Общая	80	67	16	75	62	15
	Зерна	80	67	16	75	62	15
	Связки	50	40	10	45	36	8
Л012СТ1К5 100%	Общая	70	58	15	60	50	12
	Зерна	70	58	15	60	50	12
	Связки	45	35	10	40	30	10

Количество контактирующих зерен. Информация о количестве участвующих в процессе резания зерен при абразивной обработке остро необходима [1].

Проведенный нами анализ профилограмм режущей поверхности АР и ШК с построением и проверкой полигонов разновысотности режущих выступов по асимметричности, островершинности и критерию согласия  $\chi^2$  позволил получить информацию о бета-распределении разновысотности режущих выступов и выражение для определения количества  $n$  режущих выступов на уровне  $Y$  сечения профиля инструмента:

$$n = [n_c \Gamma(\alpha + \beta) M / \Gamma(\alpha) \Gamma(\beta) (\alpha + m)] (Y / H)^{\alpha + m},$$

где  $P_c$  - число всех режущих выступов на поверхности инструмента;  $\alpha$ ,  $\beta$  - параметры бета-распределения;  $\Gamma$  - гамма-функция;  $H$  - высота профиля;

$$M = \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m (\beta - 1)! / (\beta - 1 - m)! m!$$

Для алмазного ролика и эльборового круга  $n_c$  зависит от концентрации зерен и объема единичного зерна  $n_c = 0,018(K/V_3)^{2/3}$ , а для электрокорундового круга – от номера структуры инструмента  $n_c = 0,27(31 - N)^{2/3} / V_3^{2/3}$ , где  $K$  – концентрация зерен в инструменте;  $V_3$  – объем единичного зерна,  $N$  – номер структуры инструмента.

При взаимодействии рельефов АР и ШК после радиальной подачи  $S_p$  ролика вероятное количество  $n_y$  контактов выступов определяется следующим образом:

$$n_y = n_{\min} A_p A_k H_p H_k M_p M_k B(S'_p / H_{\min})^{\alpha_p + \alpha_k + m_p + m_k - 2}, \quad (1)$$

где  $n_{\min}$  – количество выступов на той из контактирующих поверхностей, которая имеет меньшее число выступов;  $H_{\min}$  – минимальная высота профиля из двух контактирующих рельефов;  $S'_p$  – сближение профилей;

$$B = (\alpha_p - 1)! (\alpha_k - 1)! m_p! m_k! / (\alpha_p + \alpha_k - 2)! (m_p + m_k)!$$

Разделив профилограммы поверхностей АР и ШК на профилограммы “зерен” и “связки”, представляется возможным определить из общего количества количество контактов алмазных и электрокорундовых зерен:

$$n_A = n_y - n'_{\min} A_M A_K H_M H_K M_p M'_K B'(S'_p / H_M)^{\alpha_p + \alpha'_k + m_p + m'_k - 2},$$

$$n_{\text{э}} = n_y - n''_{\min} A_p A_{Kc} H_p H_{Kc} M'_p M_K B'(S'_p / H_{Kc})^{\alpha'_p + \alpha_k + m'_p + m_k - 2}.$$

Здесь  $n_A$  – количество контактов алмазных зерен АР;  $n_{\text{э}}$  – количество контактов абразивных зерен ШК;  $n'_{\min}$ ,  $n''_{\min}$  – соответственно минимальное количество выступов контактирующих поверхностей: ШК и металлической связки АР, керамической связки ШК и АР; индексы “М”, “Кс”, “Р”, “К” соответственно относятся к металлическим и керамическим связкам, к АР и ШК.

Выполненные по зависимости (1) расчеты количества вероятных контактов показали (рис.1), что с увеличением радиальной подачи  $S_p$  ролика и уменьшением зернистости алмаза количество  $n_y$  увеличивается.

Сравнение экспериментальных данных количества контактирующих выступов, определенных при использовании метода отпечатков прижатием непосредственно на станке ролика через фольгу на поверхность ШК, с теоретическими данными показало их хорошее совпадение (отклонение в пределах 8...10%).

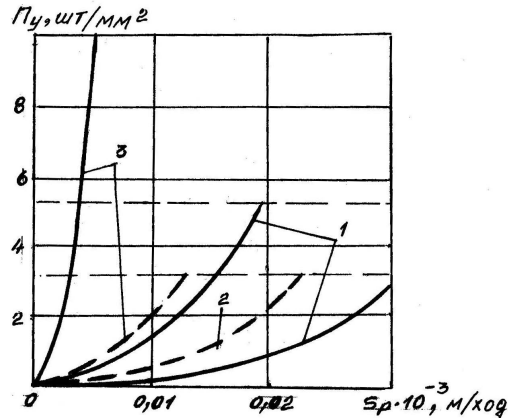


Рис. 1. Зависимость вероятных контактов  $n_y$  от радиальной подачи  $S_p$  ролика при правке алмазным роликом: - АС15 250/200; ---АС 15 500/400; 1-24А40СТ17К5; 2-24А25СТ17К5; 3-Л016СТ1К5 (штриховые горизонтальные линии - предельные значения контактов)

**Разрушение контактирующих зерен.** Для аналитического исследования процесса разрушения алмазных зерен была принята механическая модель разрушения и следующие допущения: нагрузки, действующие на контактирующие выступы, прилагаются в их вершинах; контактирующие выступы деформируются только упруго; влияние контактной температуры на механизм разрушения не учитывается. Кроме того, геометрическая форма каждого алмазного зерна является случайной величиной, поверхность его шероховатая; аппроксимация контурных форм большого количества зерен дает возможность представить зерно в виде эллипсоида. Для измерения размеров зернового состава в отходе использовали микроскоп УММ. Износ алмаза в ролике изучался путем последовательного фотографирования единичных зерен на микроскопе МИМ-8, а размерный износ алмазных зерен определяли на микроскопе МИН-9 путем фокусировки на неподвижную поверхность (в качестве базы измерений принималось дно лунки, нанесенное вблизи зерна) и на вершину зерна. При этом установлено наличие лунок от разрушенных и выпавших из связок алмазных зерен: количество разрушенных зерен в 4...9 раз больше, чем выпавших зерен. Исследование отходов правки показало, что износ алмазного слоя ролика состоит из износа и вырывания алмазных зерен и абразивного истирания металлической связки. Размеры алмазных зерен в отходе составляют 0,4...0,5 от среднего размера зерна в инструменте: большинство алмазов разрушается из-за скалывания отдельных их частей (80...90%). Таким образом, можно утверждать, что основным видом износа алмазных зерен правящего ролика за счет микровыкрашивания и микросколов является их хрупкое разрушение и выпадение из связки.



Рис.2. Схема контактирования алмазного ролика с шлифовальным кругом :

1 - зерно алмазное, 2 - зерно абразивное

Каждое алмазное зерно, внедряясь в ШК, работает на длине  $L$  дуги контакта в течение времени  $\tau$  контакта ( $\tau=L/V_p$ ) и выходит из ШК. После удара алмазного зерна и разрушения I абразивного зерна алмазное зерно некоторое время движется без контактирования (рис.2). Затем оно ударно встречается со II абразивным зерном и разрушает его, потом разрушает III зерно и так далее до выхода из зоны контакта. Эти повторяющиеся микроудары приводят к увеличению длины существующей в алмажном зерне трещины до критической величины, в результате чего, когда коэффициент интенсивности напряжения достигает своего критического значения, происходит разрушение зерна.

Хрупкое разрушение выступа алмазного зерна можно объяснить процессом зарождения и развития трещин в нем. Если на выступе существует трещина, то напряжение  $\sigma$  у конца трещины, находящейся на расстоянии  $X$  от ее вершины, можно определить с помощью критического коэффициента  $K_{Ic}$  интенсивности напряжения [2]  $\sigma = K_{Ic} / \sqrt{2\pi X}$ .

Для исследования условий хрупкого разрушения рассмотрим каждый контактирующий режущий выступ как консольную балку переменного сечения, заделанную одним концом в тело зерна, а общее зерно прикрепленным к связке. Если ударная сила  $P$  на алмазное зерно действует наклонно под углом  $\alpha$  к оси выступа (большая ось зерна эллипсоида) зерна со скоростью  $V_y$  удара (рис.3), то, используя метод сечений, условие равновесия будет

$$\int_{Z_2}^{Z_1} \sigma_H m dz - \int_{Z_1}^{Z_1+a} \frac{K_1 m dz}{\sqrt{2\pi(Z-Z_1)}} - \int_{Z_2-b}^{Z_2} \frac{K_{I1} m dz}{\sqrt{2\pi(Z_2-Z)}} = 0, \quad (2)$$

где  $\sigma_H$  – нормальные напряжения в сечении выступа;  $a, b$  – расстояние от вершины трещины до места, где напряжение имеет нормальное значение;  $Z_1, Z_2$  – расстояние от нейтральной оси до верхнего и нижнего концов трещин;  $m$  – эквивалентная толщина выступа.

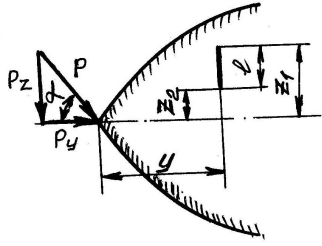


Рис.3. Схема косоугольного соударения силой P на выступ алмазного зерна

На основании (2) и из условия нахождения конца трещины у ближайшего к свободной поверхности выступа и равенства критерия  $K_1$  разрушения и критического коэффициента  $K_{1c}$  интенсивности напряжения определяем критическую силу  $P_{zk}$ , под влиянием которой будет происходить разрушение выступа:

$$|P_{zk}| = \frac{\pi \lambda_1 c d \sqrt{E \gamma}}{K_d \sqrt{\ell_t} \left[ \left( \frac{2y(Z_1 + Z_2)}{c^2} - \frac{P_y}{P_z} \right) \right] \left[ \left( \frac{4yZ_1}{c^2} - \frac{P_y}{P_z} \right) \right]}, \quad (3)$$

где  $\lambda_1$  – коэффициент ( $\lambda_1=0,798$ );  $\gamma = K \lambda r_0 / 6 \mu$ ,  $H/M$  ( $K = E / 3(1 - 2\nu)$ ,  $H/M^2$ );  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $r_0$  – расстояние атомов, м;  $\lambda$ ,  $\mu$  – коэффициенты для кубического кристаллографического строения,  $\lambda=1$ ,  $\mu=6$ );  $\ell_t$  – длина трещины, м.

На основании расчетов по формуле (3) при правке шлифовальных кругов 24A12CM17K5 и ЛО12СМ1К5 алмазным роликом АС15 250/200 М1 (для алмаза  $E = 90 \cdot 10^{10} H/M^2$ ;  $\nu = 0,42$ ;  $r_0 = 1,54 \cdot 10^{-10} м$ ;  $K = 18,75 \cdot 10^{11} H/M^2$ ;  $\gamma = 8 H/M$ ;  $K_{1c} = 37,9 \cdot 10^5 H/M^{3/2}$ ; для эльбора  $E = 72 \cdot 10^{10}$ ;  $\nu = 0,427$ ;  $r_0 = 1,56 \cdot 10^{-10}$ ;  $K = 16,1 \cdot 10^{11}$ ;  $\gamma = 7,1$ ;  $K_{1c} = 31,9 \cdot 10^5$ ; для электрокорунда  $E = 35 \cdot 10^9$ ;  $\nu = 0,42$ ;  $r_0 = 1,2 \cdot 10^{-10}$ ;  $K = 7,3 \cdot 10^{11}$ ;  $\gamma = 0,8$ ;  $K_{1c} = 7,4 \cdot 10^5$ ) определены критические разрушающие силы в зависимости от расстояния  $y$  трещины от вершин режущего выступа и длины  $\ell$ . Так, при длине трещины  $\ell = 1 мкм$  с увеличением  $y$  от 3...10 мкм разрушающая сила  $P_{zk}$  уменьшается от 0,8...0,012 Н (для алмазного зерна), 0,6...0,006 Н (для эльборового зерна) и 0,02...0,001 Н (для электрокорундового зерна).

При поперечном соударении силой  $P_z$  на выступ алмазного зерна критическую разрушающую силу можно определить следующим образом:

$$|P_{zk}| = K_{1c} J / (K_d y \sqrt{\pi \ell (Z_1 + Z_2) / 2}),$$

где  $J$  – момент инерции ( $J = dc^3/4$ ).

При продольном соударении силой  $P$  на алмазное зерно (рис.4) начальная трещина сдвига наклоняется под определенным углом (. Если трещина распространяется по направлению силы  $P$ , то сила, разрушающая выступ по отрывному  $P_{1k}$  и по сдвигу  $P_{11k}$ , будет

$$|P_{IK}| = \sqrt{\pi l_2} FK_{IC} / 2K_d l_1 h_1; |P_{IIK}| = \sqrt{\pi l_2} qFK_{IC} / 2K_d l_1 h_2,$$

где  $2l_1$  – длина наклонной трещины;  $2l_2$  – длина прямолинейной трещины;  $h_1, h_2$  – параметры, зависящие от угла наклона трещины и от коэффициента трения;  $q=K_{IIc}/K_{Ic}$ .

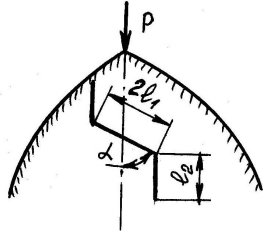


Рис.4. Схема продольного соударения силой P на выступ алмазного зерна

Экспериментальные исследования в условиях микрорезания с использованием специальной державки с разными углами  $\beta$  наклона большой оси зерна к нормали поверхности ШК показали, что при  $\beta = 0$  (поперечном соударении на алмазное зерно) линейный износ алмаза получается в 1,5 раза больше, чем при  $\beta=45^\circ$  (косом соударении), т.е. при  $\beta=0$  алмаз разрушается быстрее и легче, что и вытекает из полученных теоретических формул. Принимая связки AP и ШК однородными, аналогичным образом определяется критическая разрушающая сила их выступов.

Износ алмазных зерен ролика можно уменьшить с помощью их ориентации. Установлено, что за счет увеличения прочности алмазных зерен при увеличении угла между осью алмазного зерна и нормалью ролика хрупкое разрушение зерен можно уменьшить в 1,4 раза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резников А.Н. Теплофизика резания. -М.: Машиностроение, 1969. - 288 с.
2. Броек Д. Основы механики разрушения.- М.: Высшая школа, 1980. - 396 с.

Ассоциация по природному камню РА. Материал поступил в редакцию 19.06.2000.

#### Մ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

#### ՈՒՂՂՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ՀՊՄԱՆ ՄԻ ՇԱՐՔ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Հիմնավորվել են պիմաստե գրտնակի և հղկաքարի կտրող մակերևույթների ելունների տարաբարձրությունների բաշխվածության օրինաչափությունները: Ստացվել են կտրող ելունների քանակի, նրանց հավանական հպումների քանակի, ելունների քայքայման սահմանային ուժերի որոշման բանաձևեր: Հիմնավորվել են կողմնորոշված պիմաստե հատիկներով գրտնակների առավելություններն ու շահավետությունը:

#### M.A. GRIGORYAN

#### SOME DRESSING PROCESS PECULIARITIES OF GRINDING WHEELS

A diverse altitude law of a diamond roller and grinding wheel cutting surface bulges is established. Formulas are obtained for determination of: the amount of cutting bulges on different levels of the tool profile, the amount of probable contacting grains; contact spot area; critical breaking force of the bulge. Advantages and effectiveness of using diamond rollers with oriented diamond grains are shown.