

М.А. ГРИГОРЯН

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Получены формулы для определения: площади пятна контакта; локальной температуры и его изменения по длине дуги контакта. Установлены преимущества и эффективность применения алмазных прерывистых роликов; роликов с металлизированными алмазными зернами; подачи смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) через отверстия на рабочей поверхности ролика; процесса правки с ультразвуковым колебанием ролика.

Ключевые слова: пятна контакта, температура, ролик прерывистый и металлизированный, ролик с отверстиями, ультразвуковая правка.

Тепловые явления процесса. Вопросы локальных температур режущих выступов и его теплового режима работы в интервале длины дуги контакта не рассмотрены в динамическом режиме. Процессу правки характерно дискретное контактирование выступов шероховатых поверхностей алмазного ролика (АР) и шлифовального круга (ШК). Теплофизические параметры и механические свойства материалов выступов, их расположение и ориентация, геометрия и условия ударных встреч приводят к нестационарному теплообразованию: в некоторых точках площади контакта инструмента возникают высокие температуры, в других – низкие, в отдельных точках они отсутствуют, формируя в пространстве так называемый “температурный рельеф” поверхности контакта. Для вычисления случайных локальных температур единичных контактов принимаем: тепло, выделенное при единичном ударе, приложено мгновенно; тепло единичного контакта сосредоточено в центре пятна контакта; все тепловые источники имеют одинаковую мощность. Следовательно, представляя тепловой источник при ударной встрече пар выступов мгновенно точечным и идентифицируя его с процессом точечной сварки, можно определить локальную контактную температуру T ударяющихся пар выступов следующим образом:

$$T = 2Q \exp(-R^2 / 4at) / c\rho(4\pi at)^{3/2}, \quad (1)$$

где Q – количество тепла единичного сосредоточенного источника, Дж (определяется как отношение общего количества тепла процесса правки к числу n_y работающих зерен); c – удельная теплоемкость, Дж/(кг.К); ρ – плотность, кг/м³; a – температуропроводность, м²/с; R – радиус воздействия температуры, м; t – период выравнивания температуры, с.

Расчеты по формуле (1) на основании экспериментальных данных при правке червячных кругов 24A12C17K5 и Л012С1К5 100% алмазным роликом АС15 250/200 М2-02 показали (рис.1), что в момент окончания удара ($t=0$) температура

стремится к бесконечности; фактически же при единичном ударе локальная температура конечна (1500...1800 K). В реальных условиях правки у части соударяющихся алмазных зерен возможно наличие высокотемпературных участков и термических превращений на их поверхностях.

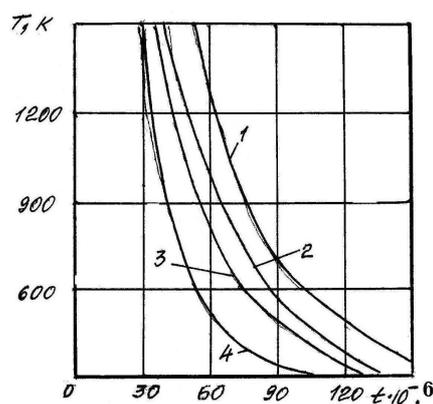


Рис. 1. Зависимость температуры алмаза от времени выравнивания температуры: 1 – ЛО12СМ1К5 ($S_p = 0,06 \cdot 10^{-3}$ м/ход); 2 – ЛО12С1К5 ($S_p = 0,02 \cdot 10^{-3}$ м/ход); 3 – 24А12С17К5 ($S_p = 0,06 \cdot 10^{-3}$ м/ход); 4 – 24А12С17К5 ($S_p = 0,02 \cdot 10^{-3}$ м/ход)

При контакте алмазного зерна с абразивным в течение времени t_y контакта действует импульсный тепловой точечный источник. При этом уравнение процесса распространения тепла в алмажном зерне на основании [1] будет

$$T = q_1 \psi / 4\pi\lambda R, \quad (2)$$

где q_1 – мощность теплового источника, Дж/с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м(К)); ψ – коэффициент теплонасыщения, который связан с функцией $((R / \sqrt{4at})$ интеграла Гаусса следующим образом: $\psi = 1 - \Phi(R / \sqrt{4at})$.

После удара алмазным зерном и разрушения абразивного зерна процесс контакта завершается, прекращается действие теплового источника, алмаз охлаждается до встречи со следующим абразивным зерном. При “отдыхе” температура алмаза снижается. Если интервал времени с момента окончания удара до начала следующего составляет t_H , то можно считать, что температура алмаза в момент начала второго удара является действием некоторого фиктивного теплового источника, которое длится $t_y + t_H$, и фиктивного стока, длящегося в течение t_H с момента окончания первого удара. Тогда коэффициент Ψ в (2) для определения температуры алмаза после завершения n_b ударов на длине дуги контакта принимает вид

$$\psi = \sum_1^{n_b} \left\{ \left[1 - \Phi \left(\frac{R}{\sqrt{4a n_b (t_y + t_H)}} \right) \right] - \left[1 - \Phi \left(\frac{R}{\sqrt{4a [n_b (t_y + t_H) - t_H]}} \right) \right] \right\}.$$

Количество n_v вероятных встреч алмазного зерна с абразивными на длине дуги контакта за один оборот АР определяется следующим образом: в течение времени (контакта алмазное зерно царапает на поверхности ШК дугу длиной ℓ_d величиной $\ell_d = \tau(V_k \pm V_p)$. Так как на единице длины ШК имеется $n = 0,27(31 - N)^{1/3} / V_3^{1/3}$ зерен [2], то на длине ℓ_d круга будет $n\ell_d$, а из них вероятно контактирующих будет $n_v = n\ell_d K_n$ штук (K_n – коэффициент, показывающий, какая часть общего количества зерен является рабочей $K_n = 0,08 \dots 0,1$).

Тепловая мощность q_1 единичного удара определяется отношением тепловой мощности q правки к количеству n_v работающих зерен.

Для более сложного процесса правки червячных зубошлифовальных кругов из электрокорунда 24А и эльбора ЛО алмазным роликом АС15 250/200 М2-02 при $V_k = 0,44$ м/с, $V_p = 7$ получена эмпирическая формула для определения q в зависимости от модуля m червяка, радиальной подачи S_p ролика и твердости T_B круга:

$$q = e^{5,33} m^{0,57} S_p^{0,96} T_B^{-0,32} K_q,$$

где K_q – коэффициент, учитывающий влияние СОЖ, характеристики ШК, зернистости ролика и круга на q .

Экспериментально-теоретическими исследованиями установлено, что образующееся в зоне правки тепло распределяется между трущимися материалами следующим образом: в ролик уходит 45...50%, в круг – 35...40%, в отходы – 10...20 % от общего тепла.

Площадь пятна контактирующих зерен. Площадь контакта при абразивной обработке является одним из основных параметров процесса, через которую происходит тепловыделение. При правке за счет вращательных движений АР и ШК каждое зерно их, имея горизонтальную и вертикальную составляющие скорости, перемещается от одного к другому, совершая микроудары. В зависимости от угла между скоростью V_p ролика и скоростью V_k круга горизонтальные составляющие могут быть малы, и можно принять, что скорость V_y удара обуславливается только вертикальной составляющей, имеющей направление скорости V_k ($V_k > V_p$), т.е. $V_y = V_k \pm V_p$.

Площадь единичного контакта пар выступов в случае их ударного взаимодействия зависит от продолжительности контакта. При косом соударении выступов (рис.2) время t_y удара будет зависеть от приведенной массы m ударяющихся зерен, скорости V_y удара, коэффициента K_3 , зависящего от свойства материалов зерен, и кривизны их поверхностей. На основании [3] t_y может быть определено следующим образом:

$$t_y = 3,213(m^2 / V_y K_3^2)^{1/5}.$$

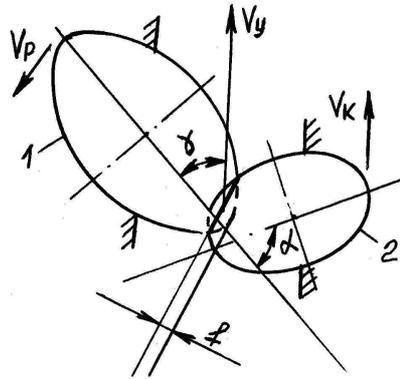


Рис.2. Схема косоугольного соударения зерен (1-зерно алмазное; 2-зерно абразивное)

В течение времени t_y алмазное зерно упруго деформируется в направлении своей оси на величину $f_A = t_y V_y \cos \gamma / 2,944$ (γ – угол между направлением скорости удара и осью зерна); перемещение $\Delta_э$ свободного конца абразивного зерна в направлении оси алмазного зерна составляет $\Delta_э = P \cos \gamma \sin(\alpha + \gamma) K_d \ell_э^3 / 3E_э F_э$, а упругое перемещение h_A алмазного зерна в металлической связке: $h_A = P \cos \gamma t_M K_d / E_M F_M$. При этом площадь A_r пятна контакта будет

$$A_r = 0,785 b_A d_A \left[1 - \left(1 - \frac{2f}{\ell_A} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где E – модуль Юнга; F – площадь поперечного сечения выступа; α – угол между осями соударяющихся зерен; P – сила удара; K_d – коэффициент динамики; t_M – толщина связующего материала между алмазными зернами; ℓ , b , d – длина, ширина и высота эллипсоидного зерна; f – абсолютная деформация (сближение) алмазного зерна ($f = f_A - \Delta_э - h_A$); индексы “А”, “э” соответственно относятся к алмазным и абразивным зернам.

При поперечном соударении выступов силой P_z площадь пятна контакта будет $A_r = \pi f (2r_c - f)$, где r_c – радиус закругления вершин алмазного зерна; $f = f_A - \Delta_A - \Delta_э$. Упругая деформация f_A алмазного зерна, упругие перемещения свободных концов алмазного Δ_A и абразивного $\Delta_э$ зерен определяются следующим образом:

$$f_A = t_y V_y / 2,944,$$

$$\Delta_A = P_z K_d \ell_A^3 / 3E_A F_A; \quad \Delta_3 = P_z K_d \ell_3^3 / 3E_3 F_3.$$

При продольном соударении выступов силой P_y площадь A_r пятна контакта определяется по (3). Абсолютная деформация f алмазного зерна, зависящая от упругой деформации f_A алмазного зерна ($f_A = t_y V_y / 2,944$), упругого перемещения h_A алмазного зерна в металлической связке ($h_A = P_y t_M / E_M F_M$) и упругого перемещения h_{Ke} абразивного зерна в керамической связке ($h_{Ke} = P_y t_{Ke} / E_{Ke} F_{Ke}$), определяется следующим образом: $f = f_A - h_A - h_{Ke}$. По теории Сен-Венана $t_y = 2\ell/a$ (ℓ – размер длинного зерна; a – скорость звука в материале зерна).

Аналогичным образом определяется площадь пятна контакта выступов отдельных компонентов АР и ШК.

Сравнение результатов экспериментальных исследований площади пятна контакта алмазного зерна (использовались прозрачные полимерные пленки толщиной 25 мкм, заложенные между поверхностью АР и ШК) с теоретическими данными показало, что расхождение результатов составляет 10...15%, что дает основание использовать теоретические зависимости в инженерных расчетах.

Новые алмазные ролики и процессы правки. Разработаны алмазные ролики многониточного типа для нарезания новых и одновременной правки по винтовой линии и по наружному диаметру витка изношенных червячных зубошлифовальных кругов. Исследована кинематика и динамика процесса. Даны рекомендации и внедрены в ряд машиностроительных заводов (Армении, Грузии, России) эффективные многониточные ролики.

Одними из путей снижения теплонапряженности процесса правки и увеличения износостойкости алмазных роликов являются новые виды алмазных роликов с прерывистой поверхностью. Установлено, что при использовании прерывистых роликов, за счет улучшения условия удаления шлама и времени действия теплового источника, силы резания уменьшаются на 35...40 %, стойкость ролика увеличивается в 1,6 раза, в зоне правки появляется в 1,7 раза меньшее тепло. Применение прерывистых роликов для правки эльборовых червяков обеспечило эффективность шлифования долбяков из стали Р9К5, Р6М5 и получение деталей 5-й степени точности с шероховатостью поверхности $R_z = 0,32$ мкм.

С целью повышения эффективности работы алмазных зерен ролика подачу СОЖ в зону резания осуществляли через мелкие отверстия, сделанные на рабочей поверхности ролика, площадь которых занимает 15% площади рабочей поверхности ролика. Установлено, что за счет непосредственного и эффективного действия СОЖ в зоне резания с образованием эффекта гидроклина силы и температуры правки снижаются в 1,5...2 раза, износостойкость ролика увеличивается в 1,2...1,6 раза.

Наиболее эффективным методом повышения износостойкости алмазного ролика является процесс правки, осуществляемый правящим роликом с металлизированными алмазами. Установлено, что за счет заполнения микротрещины на поверхности алмазного зерна никелем и локального упрочнения связи ролика с диффузией никеля, приводящих к повышению прочности зерна и удержанию алмазов в связке, удельный расход алмазов в два раза меньше удельного расхода неметаллизированных алмазов.

Для улучшения показателей и повышения эффективности процесса правки предложен метод правки алмазным роликом с наложением на ролик ультразвуковых колебаний. При этом установлено, что за счет улучшения условий работы алмазного зерна и охлаждения износ ролика уменьшается в 1,2...1,4 раза, температура в зоне контакта уменьшается на 10%, производительность процесса правки увеличивается в 1,2...1,6 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рыкалин Н.Н.** Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: Машгиз, 1951. – 296 с.
 2. **Григорян М.А.** Некоторые особенности контактирования процесса правки // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2001. – Т.54, № 3. – С. 334-340.
 3. **Пановко Я.Г.** Введение в теорию механического удара.- М.: Физматгиз, 1977. - 223 с.
- Ассоциация по природному камню РА. Материал поступил в редакцию 25.04.2001.

Մ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՀՂԿԱՔԱՐԵՐԻ ՈՒՂՂՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՁԵՐՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՑԹՆԵՐԸ

Ստացվել են բանաձևեր ավաստե հատիկի տեղային ջերմաստիճանի և հպման աղեղի երկայնքով նրա փոփոխման, հպման գծերի որոշման համար: Հիմնավորվել են ընդհատվող մակերևույթով, մետաղապատված ավաստե հատիկներով գրտնակների, գրտնակի բանվորական մակերևույթի վրայի անցքերով հեղուկի մատուցման, գրտնակի ուլտրաձայնային տատանումներով ուղղման գործընթացի առավելություններն ու շահավետությունը:

M.A. GRIGORYAN

HEAT PHENOMENA IN GRINDING WHEEL STRAIGHTENING

Formulas are obtained for determining: bearing pattern area, local temperature arc and its changes along the contact length. Advantages and effectiveness of diamond intermittent rollers, rollers with metallized diamond grains, coolant feed through the hole on working roller surface, straightening process with ultrasound oscillation of the roller are established.