

М.А. ГРИГОРЯН, Т.М. ГРИГОРЯН

О ФАКТОРЕ, ВЛИЯЮЩЕМ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Установлено, что на стойкость абразивного инструмента большое влияние оказывает теплонпряженность процесса резания. Получены аналитические выражения для определения температуры в зоне контакта инструмента. Достоверность теоретических расчетов подтверждена экспериментальными данными.

Ключевые слова: абразивный инструмент, долговечность, процесс правки, тепловые явления.

Срок службы каждого режущего инструмента является одним из основных его качественных показателей. Чем больше работает инструмент, тем выше эффективность его использования. Однако работоспособность инструмента зависит от различных факторов. К важнейшим из них относятся тепловые явления, сопровождающие процесс резания при работе инструмента. Износостойкость и долговечность абразивного инструмента в определенной степени обуславливаются температурой, появляющейся в зоне его контакта с обрабатываемым образцом. Учитывая, что каждое зерно абразивного инструмента подвергается действию высоких температур, вследствие чего твердость и стойкость его уменьшаются, а у алмазных зерен в приповерхностном слое не исключено возникновение температурных напряжений и возможность процессов графитизации алмаза, которые в определенной степени обуславливают процесс разрушения режущих кромок зерен, изучение тепловых явлений при абразивной обработке представляется актуальной задачей.

При абразивной обработке, в частности при правке шлифовальных кругов (ШК) алмазными роликами (АР), каждое зерно их, имея горизонтальную и вертикальную составляющие скорости, перемещаются от одного к другому, совершая микроудары. Для процесса правки ШК с помощью АР характерны дискретное контактирование выступов алмазных, абразивных зерен, металлических и керамических связок в условиях тепловых и механических ударов, а также сложный вид теплообразования и разрушения контактирующих выступов. Теплофизические параметры и механические свойства материалов выступов, их расположение и ориентация, геометрия и условия их ударных встреч приводят к случайному теплообразованию на отдельных пятнах контактов: в одних точках площади контакта ШК и АР возникают высокие локальные температуры, в других – низкие, в отдельных точках температура не возникает. С целью вычисления локальных температур единичных ударно-контактирующих выступов можно принять: тепло, выделенное при единичном ударе, приложено мгновенно; тепло единичного контакта сосредоточено в центре пятна этого контакта; все тепловые источники имеют одинаковые мощности.

Тепловой поток в зоне правки аккумулируется на фактические пятна контактов, расположенные на случайных высотах и расстояниях друг от друга. Шаг контактирующих выступов алмазных зерен значительно превышает размеры площади пятна контакта. При этом источник теплообразования можно считать точечным. С момента, когда алмазное зерно ударно контактируется с единичным выступом абразивного зерна, начинает непрерывно действовать тепловой источник в течение времени t_y их контакта. Уравнение процесса распределения тепла в алмазном зерне на основании [1] имеет вид

$$T = \frac{q_1}{4\pi\lambda R} \psi, \quad (1)$$

где T - температура, K ; q_1 - мощность единичного теплового источника, $Дж.с$; λ - коэффициент теплопроводности, $Вт/(м·K)$; R - радиус воздействия температуры, $м$; ψ - коэффициент теплонасыщения, который посредством функции $\Phi(R/\sqrt{4at})$ интеграла Гаусса определяется как $\psi = 1 - \Phi(R/\sqrt{4at})$; a - температуропроводность, $м^2/с$; t - период выравнивания температуры.

Тепловая мощность q_1 единичного источника определяется отношением тепловой мощности q процесса правки к количеству n_F одновременно контактирующих выступов в зоне резания $q_1 = q/n_F$.

Для сложного процесса правки червячных зубошлифовальных кругов из электрокорунда 24А и эльбора ЛО алмазным роликом из алмазов АС15 при $V_k = 0,44$ м/с, $V_p = 7$ получена эмпирическая формула для определения q_1 в зависимости от модуля m червяка, радиальной подачи S_p и твердости T_b круга:

$$q_1 = e^{5,33} m^{0,57} S_p^{0,96} T_b^{-0,32} n_F^{-1} K_q,$$

где K_q - коэффициент, учитывающий влияние смазывающей охлаждающей жидкости (СОЖ), характеристики ШК, зернистости АР и ШК на q_1 .

Количество n_F контактирующих выступов определяется на основании [2]. После удара алмазным зерном и разрушения абразивного зерна процесс первого контакта данного алмазного зерна завершается, и он некоторое время движется без контактирования. При этом прекращается и действие теплового источника, а алмаз охлаждается до следующей встречи абразивным зерном. Снижение температуры контактной точки при отдыхе алмаза зависит от промежутка времени между первым и вторым контактами и ряда других факторов. Для определения температуры алмаза можно использовать данные [1], представляя ее как сумму температур от отдельных встреч с учетом ее выравнивания в неконтактный период. Если интервал времени с момента окончания первого удара до начала второго удара составляет t_n , то можно считать, что температура алмаза в момент начала второго удара является действием некоторого фиктивного теплового источника, которое длится $t_y + t_n$, и фиктивного стока, длящегося в течение t_n с момента окончания первого удара. Тогда температуру алмаза после завершения n_b ударов на длине дуги контакта можно определить по формуле (1), где

$$\Psi = \sum_1^{n_b} \{ [1 - \Phi(R/\sqrt{4an_b(t_y + t_H)})] - [1 - \Phi(R/\sqrt{4a[n_b(t_y + t_H) - t_H]})] \}. \quad (2)$$

Количество n_b вероятных встреч алмазного зерна с абразивными зернами на протяженности длины дуги контакта за один оборот АР определяется следующим образом. Каждое алмазное зерно, внедряясь в ШК, работает в течение времени τ , царапая на поверхности ШК дугу длиной ℓ величиной $\ell = \tau V$ (V - скорость правки), и выходит из ШК. Если количество выступов, приходящихся на единицу длины рабочей поверхности ШК на данном уровне его профиля, составляет n_1 , то на длине ℓ будет $n_b = n_1 \ell$ выступов. Число n можно определить на основании [3]

$$n = n_c \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(\beta - 1)!}{(\beta - 1 - m)!m!(\alpha + m)} \left(\frac{y}{H} \right)^{\alpha + m},$$

где n_c - число всех выступов на длине ℓ профиля поверхности ШК; Γ - гамма - функция; α, β - параметры бета-распределения; y - уровень профиля ШК; H - высота профиля ШК. Продолжительность t_y удара можно определить с использованием данных [4]. Как установлено [5], при поперечном и косом соударении зерен

$$t_y = 3,13(M^2 / V_y K)^{1/5}.$$

Здесь M - приведенная масса ударяющихся зерен, кг; V_y - скорость удара; K - коэффициент, зависящий от свойств материалов зерен и кривизны их поверхностей.

При продольном центральном ударе зерен АР и ШК, имеющем место при вибрационной правке, время t_y удара определяется как продолжительность двойного пробега упругой волны в материале длинного зерна $t_y = 2\ell_3 / a_3$ (ℓ_3 - длина зерна, м; a_3 - скорость звука в материале зерна, м/с).

Время t_H между двумя последующими контактами алмазного зерна зависит от скорости V правки и шага t выступов абразивных зерен ШК $t_H = t / V$. Учитывая, что на длине ℓ существует n_b штук выступов абразивных зерен, то их шаг будет равен $t = \ell / n_b$. Следовательно, время t_H можно определить следующим образом: $t_H = \ell / n_b V$.

Произведены расчеты температур по формуле (1) в условиях правки червячных кругов 24A12CM17K5 с модулем $3 \cdot 10^{-3}$ м алмазным роликом AC15 250/200 (скорость ШК - 0,44 м/с, скорость АР - 7 м/с). Экспериментальные данные: при $S_p = 0,02 \cdot 10^{-3}$ м/ход - $q = 70$ Дж/с, при $S_p = 0,06 \cdot 10^{-3}$ - $q = 210$. Расчетные данные: 1) $S_p = 0,02 \cdot 10^{-3}$ - $t_y = 0,53 \cdot 10^{-7}$ с; $t_H = 343 \cdot 10^{-7}$ с; $\ell = 3,05 \cdot 10^{-3}$ м, $\tau = 0,41 \cdot 10^{-3}$ с; $n_b = 12$ шт; $q_1 = 7,6$ Дж/с;

2) $S_p = 0,06 \cdot 10^{-3} - t_y = 0,53 \cdot 10^{-7} \text{ с}$; $t_H = 360 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; $\ell = 4,46 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\tau = 0,41 \cdot 10^{-3} \text{ с}$;
 $n_b = 16,4 \text{ шт}$; $q_1 = 9,63 \text{ Дж/с}$.

Как видно, с увеличением количества n_b встреч алмаза с абразивными зернами наблюдается возрастание температуры алмаза (рис.1). При одинаковой мощности всех источников температура алмазного зерна обуславливается температурой первого удара.

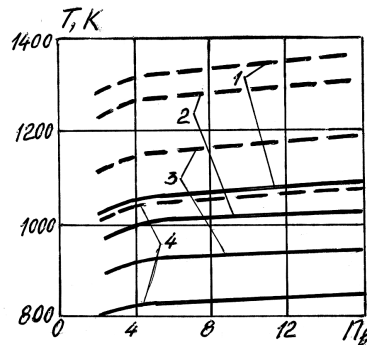


Рис.1. Зависимость температуры T алмаза от количества n_b его ударов в течение работы в зоне контакта при правке червячного круга 24A12CM17K5 $m=3(10^{-3} \text{ м алмазным роликом AC15 250/200}$: 1 – $R=1 \text{ мкм}$; 2 – $R=2$; 3 – $R=3$;
 4 – $R=4$ (сплошные линии – $S_p=0,02(10^{-3} \text{ м/ход}$, пунктирные линии – $0,06(10^{-3})$)

Подтверждением полученных аналитических расчетов служат данные экспериментальных исследований температуры правки. Использование бесконтактного метода определения температур, основанного на измерении теплового излучения из зоны правки через канал, предварительно сделанном в теле ролика (рис.2), показало, что температура контактной зоны достигает 1500 К (рис.3), что согласуется с теоретическими данными.

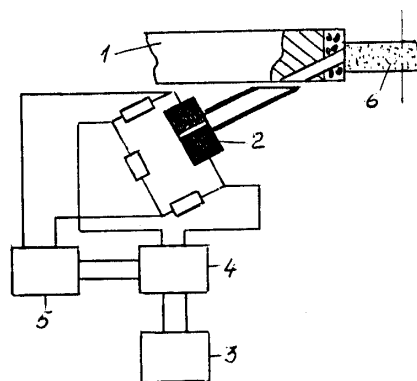


Рис.2. Схема измерения температуры при правке: 1 – ролик; 2 – датчик фотосопротивления; 3 – осциллограф; 4 – усилитель; 5 – блок питания; 6 – круг

Таким образом, ранее полученные экспериментальные данные об увеличении удельного расхода инструмента и радиальной подачи [6] можно объяснить тем, что при этом увеличивается температура в контактной зоне инструмента, что и является основной причиной увеличения износа и уменьшения срока службы инструмента.

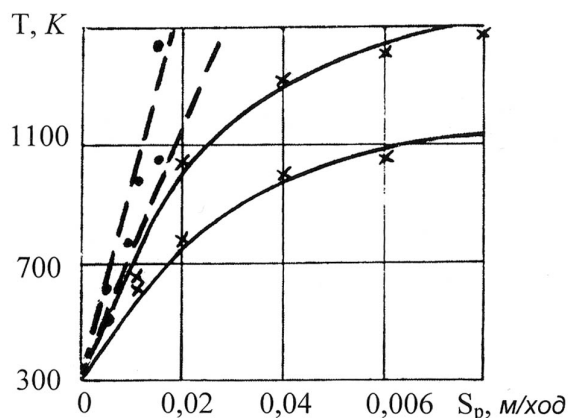


Рис.3. Зависимость поверхностной температуры T от радиальной подачи S_r ролика при правке кругов: X – 24A25CM27K5; (- LO12CM1K5 (ролик алмазный зернистостью 400/315, сплошные линии – с СОЖ; пунктирные линии – без СОЖ)

На основании вышеизложенного можем сделать следующие выводы:

- стойкость абразивного инструмента в большей степени обусловлена тепловыми явлениями процесса резания;
- высокая долговечность абразивного инструмента достигается способами, обеспечивающими низкую теплонапряженность процесса.

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. Григорян М.А. Исследование рельефов поверхностей алмазного ролика и шлифовального круга // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2000. – Т.53, №3. – С. 304-309.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. – М.: Физматгиз, 1977. – 223 с.
5. Григорян М.А. Исследование динамической работы алмазного зерна при правке // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2000. – Т.53, №2. – С. 147-151.

6. Григорян М.А. Технологические возможности повышения производительности процесса правки шлифовальных кругов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2003. – Т.56, 13. – С. 372-378.

Общественная организация “Хрупкие материалы” Материал поступил в редакцию 12.03. 2005.

Մ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Տ.Մ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՀԱՎԱՅՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԻՔՆԵՐԻ ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՒՄԻ ՄԱՍԻՆ

Հիմնավորվել է, որ հղկանյութային գործիքների կայունության վրա մեծ ազդեցություն է գործում կտրման գործընթացի ջերմալարվածությունը: Մոդելավորման հիման վրա ստացվել է տեսական արտահայտություն կտրման տիրույթում ջերմաստիճանի որոշման համար: Ստացված տեսական հաշվարկների հավաստիությունը հիմնավորվել է փորձական տվյալների հետ համեմատմամբ:

Առանցքային բաներ. հղկանյութային գործիք, երկարակեցություն, ուղղման գործընթաց, ջերմային երևույթներ:

M.A. GRIGORYAN, T.M. GRIGORYAN

ON FACTORS INFLUENCING DURABILITY OF ABRASIVE TOOLS

It is established that the cutting process of thermal stress level is greatly influenced by the durability of the abrasive tool. The analytical expressions for specifying the temperature in the tool contact zone are obtained. The reliability of obtained theoretical calculations are verified by their comparison with experimental data.

Keywords: abrasive tool, durability, dressing process, thermal effects.