



УДК 621.31

© *Ча Дон Мин, Х. Ри, Э. Х. Ри, 2013*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ АЛМАЗНЫМ КРУГОМ И АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ЗОНЕ ОБРАБОТКИ

Ча Дон Мин – д-р техн. наук, проф., директор алмазного центра, e-mail: rrtayang@star-co.net.kr (Институт Машиноведения ГАН КНДР, Пхеньян, КНДР); *Ри Хосен* – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Литейное производство и технология металлов»; *Ри Э. Х.* – д-р техн. наук, проф. кафедры «Литейное производство и технология металлов», e-mail: erikri999@mail.ru (ТОГУ)

Рассмотрены методики по анализу температурного поля в системе «алмазный круг – твердые сплавы». В результате анализа распределения температуры в зоне обработки определены рациональные условия шлифования.

The techniques for the analysis of the temperature area in the system "diamond wheel - hard alloy" are considered in the paper. The analysis of temperature distribution in the treatment zone helped to define rational grinding conditions.

Ключевые слова: алмазный круг, твердый сплав, анализ температур, температурное поле.

Чтобы повысить работоспособность алмазных кругов и качества обработки твердых сплавов надо знать тепловыделение, возникающее в процессе шлифования. Для этого необходимо знать температуры зоны обработки (зоны контакта абразивных частиц с твердыми сплавами) и температуры вблизи этой зоны.

В связи с трудностью экспериментального определения температуры в точке контакта алмазных частиц с твердым сплавом группы ВК и ВТК, проводятся исследования по оценке температуры зоны контакта аналитическим методом [1, 2].

Однако, в известных работах анализ температурного поля проводится в предположениях, что температуры поля, обусловленные отдельными источниками тепла (частицами алмазного порошка) не оказывают влияния друг на друга, а теплообмен и источники тепла имеют только в зоне контакта абразивных частиц с изделием, а вне зоны контакта процессом теплообмена пренебрегают.

В работе дается анализ распределения температуры в зоне обработки и определены рациональные условия шлифования на основе математической модели, учитывающей охлаждение конвекцией охлаждающей водой, суперпозицию теплового поля от отдельных источников тепла, а также цикличность источника тепла относительно неподвижного круга.

Моделирование системы

Для анализа температуры зоны контакта сделаем следующие предположения:

- коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, плотность постоянны и не зависят от температуры;
- интенсивность тепловых источников, возникающих в зоне контакта, равномерно распределена по поверхности контакта.

Как показана в работе [1], площадь контакта алмазных частиц с твердым сплавом равна 8% от суммарной площади в предположении, что каждая алмазная частица имеет форму шаров.

Для записи математической модели системы используется цилиндрическая система координат $(r, \varphi; z)$; круг рассматривается в состоянии покоя, а твердые сплавы вращаются вокруг оси Z .

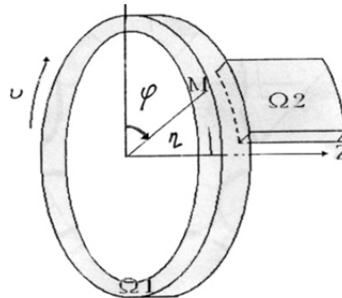


Рис. 1. Модель анализа температуры системы «круг - твердые сплавы»

Пусть T и \mathcal{G} - температуры круга и твердых сплавов, соответственно в момент времени τ . Тогда уравнения теплопроводности для круга и твердых сплавов имеют вид

$$C_1 \rho_1 \frac{\partial T}{\partial \tau} - \text{div}(\lambda_1 \cdot \Delta T) = 0, \quad (1)$$

$$(r, \varphi, z) \in \Omega_1, \tau > 0;$$

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \tau} - \text{div}(\lambda_2 \cdot \Delta \mathcal{G}) = 0, \quad (2)$$

$$(r, \varphi, z) \in \Omega_2, \tau > 0.$$



Начальные условия:

$$T(r, \varphi, z) = T_0, \quad (r, \varphi, z) \in \Omega_1. \quad (3)$$

$$\mathcal{G}(r, \varphi, z) = \nu_0, \quad (r, \varphi, z) \in \Omega_2 \quad (4)$$

Граничные условия:

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha_1(T - T_0); \quad \Gamma_{11}(T); \quad (5)$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha_1(T - T_0); \quad \Gamma_{12}; \quad (6)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_1(T - T_0); \quad \Gamma_{13}; \quad (7)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_1(T - T_0); \quad \Gamma_{14}; \quad (8)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial z} = q; \quad \Gamma(T); \quad (9)$$

$$-\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \varphi} = \alpha_2(T - \tilde{T}_0); \quad \Gamma_{21}; \quad (10)$$

$$\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \varphi} = \alpha_2(T - \tilde{T}_0); \quad \Gamma_{22}; \quad (11)$$

$$\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial z} = 0; \quad \Gamma_{23}; \quad (12)$$

$$-\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial r} = \alpha_2(T - \tilde{T}_0); \quad \Gamma_{24}; \quad (13)$$

$$-\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial r} = \alpha_2(T - \tilde{T}_0). \quad \Gamma_{25}. \quad (14)$$

Условие периодичности:

$$T|_{\varphi=0} = T|_{\varphi=2\pi}, \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi}|_{\varphi=0} = \frac{\partial T}{\partial \varphi}|_{\varphi=2\pi}. \quad (15)$$

Из условия того, что площадь контакта алмазных частиц равна 8% площади шара для интенсивности источника теплоты можно записать:

$$q = 0,08 \cdot 2\pi r_1^2 \cdot Q. \quad (16)$$

Из работы [1] величину Q можно выразить следующей зависимостью

$$Q = \frac{68952 \cdot 10^2 \cdot t^{0,58} \cdot S^{0,63} \cdot \nu^{-0,38} \cdot D \cdot K_1}{\pi(D^2 - D_1^2)m \cdot B \cdot r_1} \quad (17)$$



В формулах (1-2) – (3-17):

α_1, α_2 - коэффициенты теплопередачи в законах Ньютона между алмазным кругом и охлаждающей жидкостью и между твердым сплавом и охлаждающей жидкостью;

λ_1, λ_2 - теплопроводность соответствующих материалов;

T_o, \tilde{T}_o - данные температуры охлаждающей жидкости в ядре потока над алмазным кругом и твердыми сплавами;

Ω_1 – цилиндрическая обрабатываемая поверхность алмазного круга;

$\Omega_2(t)$ – внутренняя поверхность (шлифуемая) вращающихся твердых сплавов;

$\partial\Omega_1 = \Gamma \cup \Gamma_{11}(\tau) \cup \Gamma_{12} \cup \Gamma_{13} \cup \Gamma_{14}$ - пограничная поверхность круга;

$\Gamma(\tau)$ – поверхность контакта круга и твердых сплавов в момент времени τ ;

$\Gamma_{11}(\tau)$ – боковая поверхность круга вне поверхности контакта в момент времени τ ;

Γ_{12} – противоположная поверхность круга;

Γ_{13} – цилиндрическая внешняя поверхность круга;

Γ_{14} – цилиндрическая внутренняя поверхность круга.

$\partial\Omega_2(\tau) = \check{A}(\tau) \cup \check{A}_{21}(\tau) \cup \check{A}_{22}(\tau) \cup \check{A}_{23}(\tau) \cup \check{A}_{24}(\tau) \cup \check{A}_{25}(\tau)$.

Граничная поверхность твердых сплавов:

$\Gamma_{21}, \Gamma_{22}, \Gamma_{24}, \Gamma_{25}$ – боковая поверхность твердых сплавов;

Γ_{23} – верхняя поверхность твердых сплавов;

t – поперечная подача;

S – продольная подача;

D, D₁ – внешний и внутренний диаметры круга;

u – окружающая скорость круга;

B – ширина твердых сплавов;

m – число частиц на единицы площади рабочей поверхности круга;

n – число оборотов в минуту;

r₁ – средний размер шлифовальных частиц.

В табл. 1 приведены теплофизические характеристики алмазных кругов, твердых сплавов, воздуха и воды.

Таблица 1

Теплофизические характеристики различных материалов			
Характеристики Материалы	Теплопроводность (Вт/см · °С)	Температуропро- водность (см ² /S)	Удельная тепло- емкость (Дж/(см ³ · °С))
Твердые сплавы	0,754	0,302	2,5
Алмазный круг	0,357	0,12	2,96
Воздух	0,0398	0,058	1,005
Вода	59,9	13,1	4,2



Учитывая начальное и граничное условия периодичности, решая уравнения теплопроводности расчетным методом, можно определить распределение температуры алмазных кругов и твердых сплавов.

Сравнение значений температур, полученных расчетным и экспериментальными методами

Чтобы проверить надежность численных результатов проводилось сравнение результатов расчетов температур на ЭВМ с результатами изменения температур с помощью термопары. На рис. 2 показана схема эксперимента по измерению температур согласно работе [2].

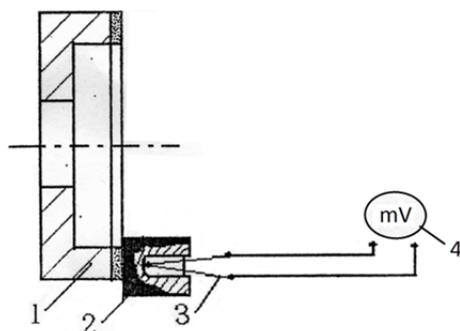


Рис. 2. Схема измерения температур при шлифовании:

1 – шлифовальный круг; 2 – твердый сплав; 3 – термопара; 4 – милливольтметр

Условия проведения экспериментов следующие.

Тип и размер шлифовального круга: 12A2, 150x32x10x3мм.

Зернистость и концентрация алмазных порошков: 125/100мм, 100%.

Окружная скорость круга: 25 м/с.

Продольная подача: 2 м/мин.

Поперечная подача: 0,01 – 0,07 мм/об.

Марка и размер твердосплавных пластин: ТК8, 30x15x10мм.

Меняя поперечную подачу, производился замер температур при следующих условиях:

- окружная скорость – 25 м/с;
- продольная подача – 2 м/мин;
- сухой способ (без охлаждающей жидкости).

В табл. 3 и на рис. 3 показаны результаты расчетов и экспериментальных измерений температур. Значения температур в таблице – это значения температур в точке расстояния на 0,1мм от поверхности контакта круга с твердым сплавом. При этом относительное отклонение температур между расчетом и экспериментом составляло меньше 8%. Следовательно, можно использовать

программу расчета температур на ЭВМ для анализа распределения температур в системе «круг – твердый сплав».

Таблица 2

Результаты расчетов и экспериментальных измерений температур

Поперечная подача t , мм	Расчетные значения температур, °С	Экспериментальные измерения температур, °С
0,01	326	300
0,02	415	390
0,03	481	460
0,04	529	510
0,05	590	570
0,06	640	600
0,07	670	620

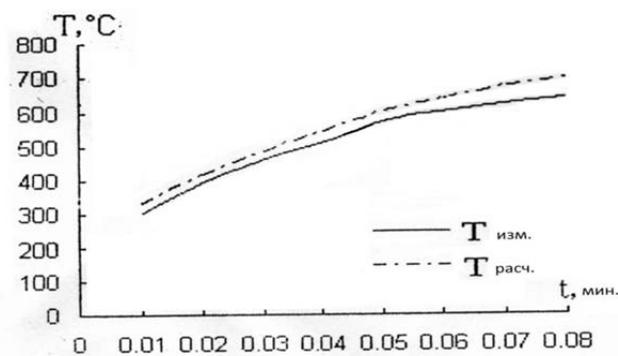


Рис. 3. Температуры твердых сплавов в зависимости от поперечной подачи

Температуры рабочей поверхности шлифовального круга и обрабатываемой поверхности твердых сплавов в зависимости от условия шлифования

Исходные данные для анализа следующие:

- число частиц алмазных порошков на 1 см^2 площади рабочей поверхности круга – 3840 шт;
- продольная подача – 1-4 м/мин.;
- поперечная подача – 0,01-0,07 мм/об;
- условия охлаждения – сухой и мокрый способ (охлаждение водой).

Другие условия соответствуют выше описанным.

Из рис. 4 и 5 следует, с повышением поперечной и продольной подач увеличиваются температуры рабочей поверхности алмазного круга и обрабатываемой поверхности твердых сплавов.

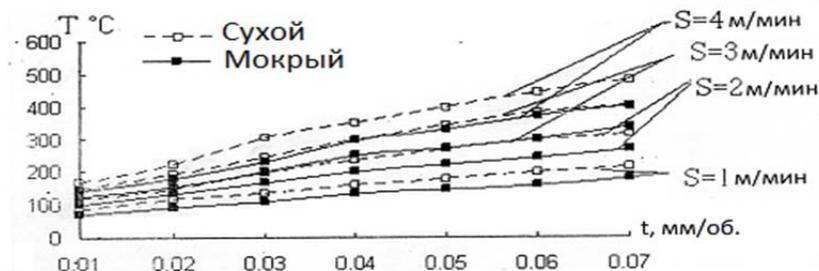


Рис. 4. Температуры рабочей поверхности алмазного круга в зависимости от условий обработки

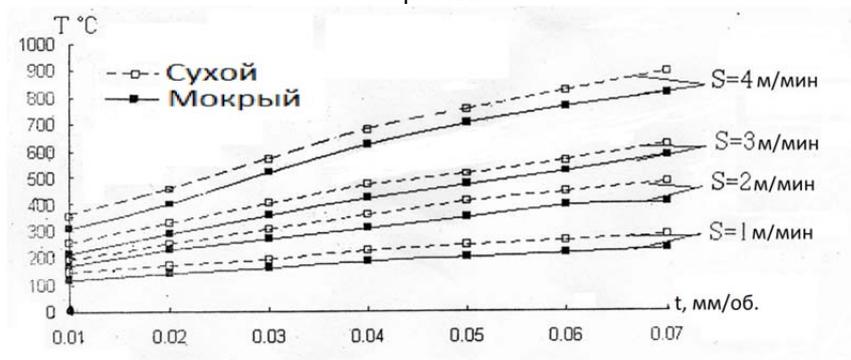


Рис. 5 Температуры обрабатываемой поверхности твердых сплавов в зависимости от условий обработки

При шлифовании без охлаждающей среды температура рабочей поверхности круга на 30-80 °С больше, а температура обрабатываемой поверхности твердых сплавов больше на 100-200 °С, соответствующих поверхностей при шлифовании мокрым способом.

Заключение

В том случае, когда допускаемые температуры поверхностей твердых сплавов и алмазного круга находятся на уровне 550 и 200 °С соответственно [3, 4], условия сухого шлифования можно определить как: 4м/мин продольной подачи и 0,01мм/об поперечной подачи; либо 2-3м/мин продольной подачи и 0,01-0,02мм/об поперечной подачи. При мокром шлифовании температура обрабатываемой поверхности твердых сплавов не достигает максимальной допускаемой температуры при продольной подаче 4м/мин и поперечной подаче 0,02мм, 3м/мин и 0,03мм, 2м/мин и 0,04мм. Следовательно, можно сделать вывод, что сухое шлифование следует вести при продольной подаче 2м/мин и поперечной подаче 0,01-0,02мм/об, а при мокром шлифовании ра-



циональными являются продольная подача 2-3м/мин и поперечная подача 0,03-0,04мм/об.

Библиографические ссылки

1. *Шевель А.И.* Теоретические определения температуры в зоне контакта алмазного зерна с изделием // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – Вып. 1., - 1973. с. 152-157.
2. *Рыбицкий В.А.* Алмазное шлифование твердых сплавов. – Киев: Наукова думка. – 1980. с. 51-160.
3. *Галицкий В.Н.* Физико-механические свойства металлических связок алмазного инструмента // Синтетические алмазы. – Вып. 4. – 1976. с 31-33
4. *Каленов В.Н.* Температурные явления при шлифовании вольфрамового сплава 13ПМ // Синтетические алмазы. – Вып. 2. – 1976. с.51-53