

УДК 621.791

В.Г. Лебедев, Т.В. Чумаченко, С.В. Марчук
ОХЛАЖДЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ И ВОЗДУШНОКАПЕЛЬНОЙ СТРУЕЙ ПРИ
ШЛИФОВАНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

В работе проведен анализ способов охлаждения воздушными струями поверхностей деталей, напыленных минералокерамикой, при шлифовании. Выполнена оценка количества тепла отводимого воздухом от зоны шлифования при естественном охлаждении воздушными потоками, а так же с помощью струи распыленной СОЖ и вихревой трубки Ранка – Хилша.

Ключевые слова: воздушная струя, шлифование, охлаждение, воздушные потоки, вихревая трубка.

Рис. 2. Форм. 9. Лит. 4.

В.Г. Лебедев, Т.В. Чумаченко, С.В. Марчук
ОХОЛОЖДЕННЯ ПОВІТРЯНИМ ТА ПОВІТРЯНОКАПЕЛЬНИМ СТРУМЕНЕМ
ПРИ ШЛІФУВАННІ КЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ

У роботі проведено аналіз способів охолодження повітряними струменями поверхонь деталей напиленних мінералокерамікою при шліфуванні. Виконана оцінка кількості тепла що відводиться повітрям від зони шліфування при природному охолодженні повітряними потоками, а також за допомогою струменя розпорошеної МОР і вихревої трубки Ранка - Хіліша.

Ключові слова: повітряний струмінь, шліфування, охолодження, повітряні потоки, трубка Ранка - Хіліша.

T.V. Chumachenko, V.G. Lebedev, S.V. Marchuk
COOLING THE CERAMIC COATINGS WITH AN AIRSTREAM AND AIR-WATER
DROPS STREAM WHILE GRINDING

The paper analyzes the ways of cooling of parts of machines , sprayed with mineral ceramics while grinding . The estimation of the amount of heat removed by the air from grinding zone , with natural convection air currents , as well as using a jet spray coolant and the vortex tube of Rank - Hilsch.

Currently, ceramic coatings are popular and economically viable in the modern industry , so we have the problem in its further mechanical treatment . You will need to take into account the fact that the pottery is very difficult to machine materials . And the only synthetic superhard materials such as borazon and diamond are advisable to apply for further grinding.

However, very often the factor of thermal processing in the cutting area , can lead to the formation of cracks on the surface , with the depth of the deposited layer . the boundary of the deposited layer and the metal parts. Thus, the grinding sprayed ceramic layer is very urgent issue to reduce the temperature in the cutting zone to obtain a high quality treated layer.

Cooling the surface being grounded with airflows circulating around the circle does not lead to a substantial heat sink from the surface due to the low heat conductivity of air and the small temperature difference. Air cooling in grinding through the vortex Rank - Hilsch tube because of small areas of contact of the grinding wheel and with surface provides heat sink value of about 10 % due to the increase in speed of air flow and reduce its temperature. When large areas of contact (such as grinding cup wheel butt flat surface) the value of the heat sink increases and can reach 30 - 35%.

The use of air – water drops stream gives grounds to assert a significant heat sink from the ground surface to be studied in more detail.

Keywords: aerial spray, grinding , cooling, air flow , the vortex tube.

Введение. В настоящее время керамика является все более широко распространенным материалом. Керамические покрытия являются востребованными и экономически целесообразными в современной промышленности [1]. Широкое распространение получило напыление рабочих поверхностей деталей минералокерамическими и металлокерамическими материалами с последующей обработкой этих поверхностей шлифованием синтетическими сверхтвердыми материалами, в частности кубическим нитридом бора [2]. Однако весьма часто при обработке термический фактор в зоне резания, может приводить к образованию трещин на поверхности, по глубине напыленного слоя и на границе напыленного слоя и металла детали. В этом случае, если напряжения достаточно велики, также возможно отслаивание напыленного слоя.

Таким образом, при шлифовании напыленного керамического слоя весьма остро стоит вопрос снижения температуры в зоне резания для получения высокого качества обработанного слоя.

Цель работы – анализ способов охлаждения воздушными струями поверхностей деталей, напыленных минералокерамикой, при шлифовании.

Анализ естественного охлаждения воздушными потоками, циркулирующими во время вращения круга. При вращении шлифовального круга (пористого или

безпористого, например круга на металлической связке), вокруг последнего возникают воздушные потоки, обусловленные аэродинамическими закономерностями.

Взаимодействие вращающегося круга (диска) с окружающей воздушной средой можно рассматривать как особый случай обтекания этого диска. Образование пограничного слоя воздуха около диска можно объяснить проявлением законов трения в газах с учетом сопротивления воздушной среды.

Известно, что если тело находится в потоке жидкости или газа, то на его поверхности скорость этого потока равна 0. Таким образом, тонкий слой жидкости или газа, прилегающий к поверхности тела является областью больших градиентов изменения скоростей. Эта область получила название пограничный слой.

Пространство, занимаемое жидкостью или газом обтекающим тело можно разделить на 3 области. *Первая область* - это пограничный слой. С одной стороны он ограничен поверхностью тела, а с другой стороны условной поверхностью на которой можно пренебречь касательными напряжениями. Внутри пограничного слоя движение потока характеризуется быстрым изменением скорости по нормали к поверхности тела. Частицы пограничного слоя, пройдя вдоль поверхности тела, уносятся потоком в область находящуюся за телом, сохраняя на себе следы пребывания в пограничном слое. Это выражено тем, что скорость этих частиц меньше чем скорость основного потока. "Заторможенные частицы" заполняют собой *вторую область*, которая называется "спутной струей". Все остальное пространство – *третья область*, занятая движущейся средой. Течение воздушного потока в этой области характеризуется отсутствием видимых изменений скорости в каком либо направлении.

Все эти закономерности можно отнести к случаю обтекания круглого диска вихревым потоком или к случаю обтекания вращающегося диска.

Выбрав цилиндрическую систему координат, можно получить составляющие скоростей V_r , V_φ , V_z – радиальную, тангенциальную и аксиальную, а так же принимая во внимание симметрию движения, уравнение Навье – Стокса можно записать следующее:

$$\begin{aligned} V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_\varphi^2}{r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} &= \nu \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \\ V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + V_r \frac{V_\varphi}{r} + V_z \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} &= \nu \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial z^2} \\ V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \\ \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

При граничных условиях:

$$\begin{aligned} V_r = 0; \quad V_\varphi = \omega r; \quad V_z = 0 & \quad \text{при } z = 0 \\ V_r = 0; \quad V_\varphi = 0 & \quad \text{при } z = \infty \end{aligned} \quad (2)$$

где - V_r , V_φ , V_z – радиальная, тангенциальная и аксиальная составляющие скорости потока;

r – радиус круга (диска) ;

ρ - плотность среды (воздуха);

ν – кинематический коэффициент вязкости;

P - избыточное давление в пограничном слое.

Графическое компьютерное решение имеет вид: (рис. 1.)

Толщина слоя, в котором скорости пренебрежимо малы, а давление постоянно определяется как:

$$\delta = k \cdot \sqrt{\frac{\nu}{\omega}} \quad (3)$$

В нашем случае в пограничном слое круга находится воздушная среда ($k=2,58$) следовательно, толщина пограничного слоя воздуха около круга:

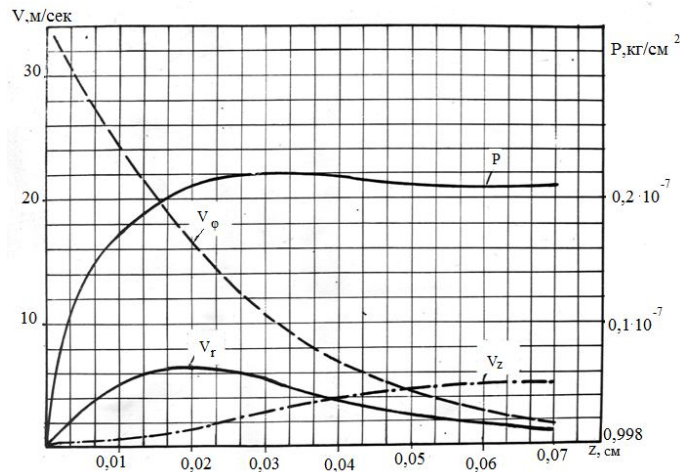


Рис. 1. Изменение скоростей V_r , V_ϕ , V_z и избыточного давления P в пограничном слое круга

$$\delta = 2.58 \cdot \sqrt{\frac{\nu}{\omega}} \quad (4)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости воздуха,
 ω – угловая скорость круга.

Таким образом, можно утверждать, что атмосфера, в которой работает шлифовальный круг состоит из пограничного слоя воздуха, который существует около круга независимо от его структуры и пористости. Поэтому воздух при шлифовании интенсивно обдувает шлифуемую поверхность, что, однако не приводит к существенному снижению температуры.

Оценка количества тепла отводимого воздухом от зоны шлифования.

Для оценки количества тепла необходимо найти коэффициент конвективного теплообмена между движущейся средой и шлифуемой поверхностью (стенкой).

Количество теплоты, переданное в процессе теплоотдачи, определяется по уравнению Ньютона-Рихмана:

$$Q = \alpha(t_{стн} - t_{ж}) \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

$t_{ж}$, $t_{ст}$ – средние температуры жидкости и стенки, °С;

Q (Q') – тепловой поток (количество теплоты), Вт (Дж);

Коэффициент теплоотдачи α – характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой. Коэффициент α показывает, какое количество тепла передается от единицы поверхности стенки к жидкости в единицу времени при разности температур между стенкой и жидкостью в 1 градус (К):

$$[\alpha] = \left[\frac{Q}{F(t_{стн} - t_{ж})} \right] = \left[\frac{Дж}{м^2 \cdot К} \right] = \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right] \quad (6)$$

где F – площадь поверхность стенки, м²;

Определение коэффициента теплоотдачи α является основной задачей расчета теплообменных аппаратов. Обычно коэффициент теплоотдачи определяют из критериальных уравнений, полученных преобразованием дифференциальных уравнений гидродинамики и конвективного теплообмена методами теории подобия. Проще всего коэффициент теплообмена определить через критерий Нуссельта по выражениям:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (7)$$

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} Pr^{0,43} \quad (8)$$

где $Re = \frac{wl}{\nu} = \frac{wlp}{\mu}$ – критерий Рейнольдса, характеризующий гидродинамический режим потока при вынужденном движении и является мерой соотношения сил инерции и вязкого трения;

$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c\mu}{\lambda}$ – критерий Прандтля, характеризующий физико-химические свойства теплоносителя и является мерой подобия температурных и скоростных полей в потоке;

где l – определяющий размер, м;

ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3 ;
 λ – коэффициент теплопроводности теплоносителя, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
 μ – динамический коэффициент вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$; c – теплоемкость теплоносителя, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$;
 τ – время процесса, с,
 ω – скорость движения теплоносителя м/с.

Расчет критерия Nu для скорости воздушного потока 30 – 50 м/с и для нормальной температуры воздуха в цехе $20^\circ\text{C}=293^\circ\text{K}$, по приведенным формулам, составляет 51,34. Соответственно коэффициент теплообмена α , согласно формуле 3 будет равный, $\alpha = 445 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{K}$.

Для того, чтобы определить количество теплоты уносимой с поверхности пятна контакта круга с деталью, необходимо перемножить длину дуги контакта круга с изделием и величину поперечной подачи. Для случая плоского шлифования периферией круга имеем:

$$F_{нк} = \sqrt{D_{кр} \cdot t_u} \cdot S \quad (9)$$

где $F_{нк}$ - площадь пятна контакта м^2 ;

$D_{кр}$ - диаметр шлифовального круга м;

t_u - глубина шлифования м;

S - величина поперечной подачи м/ход.

Для параметров плоского шлифования: $D_{кр} = 350 \text{ мм}$; $t_u = 0,03 \text{ мм}$; $S = 2 \text{ мм/ход}$, площадь пятна контакта (F) составит $15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. Величина контактной температуры шлифования для таких условий составляет примерно 1073°K , что дает температурный напор, при температуре окружающего воздуха 293°K 780°K .

Количество уносимого тепла, согласно формуле 1 составит 5,32 Вт. Для этих же условий шлифования сила резания P_z составляет 10 – 15 Н [2], что дает мощность теплового источника 300 – 450 Вт. Учитывая, что в изделие переходит примерно 80% тепловой энергии, можно утверждать, что на шлифуемую поверхность воздействует тепловой источник мощностью 240 – 360 Вт. Если считать по минимальному значению тепловой мощности, то, учитывая унос воздушной струей 5,32 Вт, мы имеем 234,8 Вт тепловой энергии т.е. тепловой источник ослабляется на 2,2 %. Следовательно, серьезного снижения температуры за счет охлаждения воздушной струи ожидать нельзя.

Охлаждение воздухом зоны шлифования с помощью вихревой трубки Ранка – Хилша.

Вихревой эффект (эффект Ранка – Хилша) – эффект разделения газа или жидкости на две фракции при закручивании в цилиндрической или конической камере. На периферии образуется закрученный поток с большой температурой, а в центре – охлажденный поток, закрученный в противоположную сторону.

При подключении такой трубки к заводской сети сжатого воздуха (6 кг/см^2), на выходе холодного воздуха можно получить температуру – 40°C . Устройство такой трубки показано на рис.2. Такие трубки в настоящее время выпускаются промышленностью и находят применение при различных технологических процессах металлообработки. Однако сообщения о результатах применения значительно разнятся. Так например в работе [3] утверждается, что получен теплоотвод порядка 30 – 35 % тепловой энергии. Другие [4] сообщают, что теплоотвод от нагретой поверхности увеличивается незначительно.



Рис. 2. Устройство вихревой трубки

Действительно, если рассматривать случай плоского шлифования периферией круга, то исходя из вышеизложенного материала можно рассчитать, что давление пневматической системы цеха обеспечивает скорость воздуха порядка 100 м/с. Если считать, что скорости воздушного

потока циркулирующего около круга и скорость воздуха выходящего из вихревой трубки складываются, то мы получим результирующую скорость порядка 135 м/с, т.е. примерно в 4 раза больше, чем в предыдущем случае, увеличение числа Nu и температурного напора. Все это дает увеличение отводимого тепла от площади пятна контакта до 22 Вт. Следовательно для нашего случая может отводиться до 10 % тепла. Данное несовпадение результатов с величинами теплоотвода, которые приведены в работе [3] легко объяснимо. В этой работе речь идет о шлифовании поверхности торцом чашечного круга. В этом случае площадь пятна контакта значительно больше, а так как величина теплоотвода прямо пропорциональна площади пятна контакта, то величины, показанные в данной работе вполне достижимы. Таким образом, значительно снизить температуру шлифования за счет применения воздушной вихревой трубки возможно в тех случаях, когда при шлифовании имеют место большие величины пятна контакта.

Охлаждение зоны шлифования с помощью струи распыленной СОЖ. Как видно из формулы 5, величина α прямо пропорциональна величине λ , т.е. коэффициенту теплопроводности среды, которая омывает стенку. Если воздушную струю несколько увлажнить, то вероятно можно получить довольно большие коэффициенты теплопроводности среды. Действительно λ воздуха составляет 0,0257 Вт/м К, а λ воды составляет 0,598 Вт/м К, т.е. разница составляет - 23 раза.

Пересчет значений Re , Pr и Nu для соотношения вода 30 %, воздух 70 % (можно получить за счет инжекторного сопла, подключенного к пневмосистеме цеха), а также расчеты выполненные по формулам 5 – 9 свидетельствуют о величине теплоотвода от шлифуемой поверхности порядка 30 – 35 %.

Для уточнения данных результатов, необходимы дальнейшие исследования процесса теплообмена между струей распыленной СОЖ и шлифуемой поверхностью.

Выводы:

1. Охлаждение шлифуемой поверхности воздушными потоками, циркулирующими вокруг круга, не приводит к существенному теплоотводу от поверхности из-за низкой теплопроводности воздуха и малого температурного напора.

2. Охлаждение воздухом при шлифовании с помощью вихревой трубки Ранка – Хилша даже при малых площадях контакта круга со шлифуемой поверхностью обеспечивает величину теплоотвода порядка 10 % за счет увеличения скорости воздушной струи и снижения ее температуры. При больших площадях контакта (шлифование торцом чашечного круга плоской поверхности) величина теплоотвода увеличивается и может достигнуть 30 – 35 %.

3. Оценочные расчеты охлаждения струей распыленной СОЖ дают основания утверждать о значительном теплоотводе от шлифуемой поверхности, но данный способ теплообмена нуждается в дальнейшем изучении.

1. Рыщенко М.И. Повышение эксплуатационных свойств керамики / М.И. Рыщенко, Г.В. Лисачук.– Х., 1987. – 104 с.
2. Чумаченко Т.В. Технологическое обеспечение качества и производительности обработки поверхностей шеек валов роторов газовых турбин, напыленных минералокерамикой: дис...канд. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения»/ Т.В. Чумаченко. – Одесса, 2011. –163 с.
3. Долганов А.М. Совершенствование технологии шлифования плоских поверхностей с воздушным вихревым охлаждением: автореф. дисс. на получ. научн. степня канд. техн. наук/ А.М. Долганов. – Ижевск 2007. –26 с.
4. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов/И.И.Новиков. – М. : Металлургия, 1986. – 479 с.

Стаття надійшла до редакції 04.09.2013.