

Г. Х. Юсупов, профессор, доктор технических наук

С. А. Колегов, аспирант

Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ
ПРИ КАВИТАЦИОННОМ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ СОТС

Исследован процесс движения СОТС через отверстия, выполненные в виде сопла Лавала, соединяющие внутреннюю полость шлифовального круга с рабочей поверхностью. Установлено, что данная конструкция позволяет вести шлифование в низкотемпературном режиме.

Ключевые слова: абразив, алмаз, инструмент, кавитация, отверстия, резание, сопло Лавала, СОТС

В процессе подачи СОТС в зону резания через отверстия на рабочей поверхности круга, выполненные в виде сопла Лавала (рис. 1), возникают определенные явления, усиливающие эффект смазочно-охлаждающего действия. К таким явлениям относятся кавитация жидкости и образование гидродинамического «клина», в зоне резания, которая способствует увеличению коэффициента теплоотдачи.

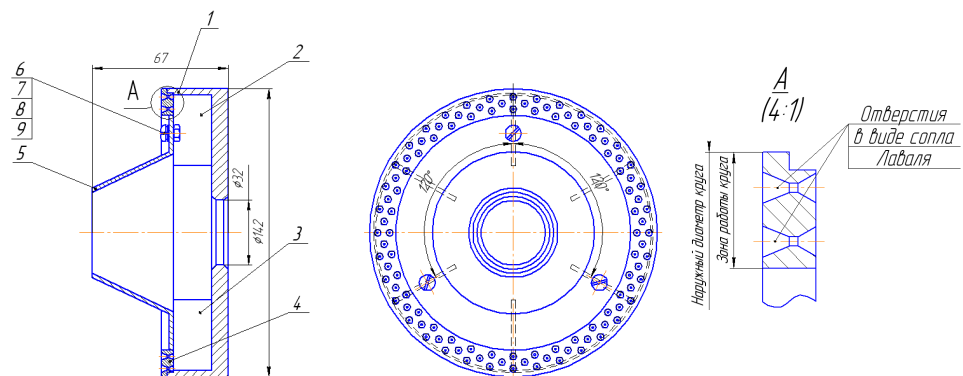


Рис. 1. Алмазный круг с отверстиями на рабочей поверхности, выполненными в виде сопла Лавала (СБОРКА: 1 – корпус; 2 – лопасть с гайкой; 3 – лопасть без гайки; 4 – кольцо; 5 – крышка; 6 – винт М4 6 ГОСТ 11644–75; 7 – стопорная шайба 4; 8 – шайба ГОСТ 9649–78; 9 – гайка М4 ГОСТ 5927–70)

Рассмотрим парогазовое состояние потока СОТС в зоне резания, а именно динамику отдельно взятого парогазового пузырька. Описание динамики газового пузырька дает уравнение Рэлея, связывающее изменение давления в жидкости и радиуса r пузырька:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial r} V &= \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial r} \\ \frac{\partial}{\partial t} (r^2 V) &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

В первом приближении будем считать СОТС несжимаемой, т. е. величина парогазового пузырька не может превышать $\Delta/2$ по среднестатистическим замерам и ввиду малости этой величины (а наличие газа меняет характеристику деформативности жидкости).

В этих предложениях существует аналитическое решение уравнений (1), которое имеет вид радиуса пузырька в зависимости от времени t_p его роста в процессе движения по каналу или в зоне резания:

$$r = 2\sqrt{3} \frac{\lambda_1 (T_2 - T_0)}{\rho_1 L \sqrt{a_1 \pi}} \sqrt{t_p}, \quad (2)$$

где T_2 – температура в парогазовом пузырьке (без нагрева стружкой); T_0 – теплота подаваемой СОТС; λ_1 – теплопроводность СОТС; ρ_1 – плотность парогаса в пузырьке для давления P [1].

$$\rho_1 = \frac{P \mu_{\Gamma}}{RT_{\text{газ.пуз}}}, \quad (3)$$

где R – газовая постоянная; L – скрытая теплота парообразования СОТС; μ_{Γ} – молярная масса пара СОТС; a_1 – температуропроводность СОТС.

$$T_{\text{газ.пуз}} = \max \{T_{1\text{рез}}, T_{2\text{рез}}, T_{\text{СТ}}\} \approx T_{\text{СТ}}. \quad (4)$$

Время роста пузырька можно определить из условия, что рост продолжающегося по всей длине контакта круга с обрабатываемой поверхностью L , а пузырек движется с окружной скоростью алмазного слоя круга, т. е.

$$t_p = \frac{L}{V_{\text{кр}}} = \frac{r_1}{V_{\text{кр}}} \arccos \frac{r_1 - t}{r_1}, \quad (5)$$

где t – глубина резания. Подставив в зависимость (2) время из (5) и предложив, что радиус пузырька достигает максимального значения $\Delta/2$, получим максимальное значение температуры T_2 в парогазовом пузырьке при его движении вдоль зоны резания до выхода в атмосферу:

$$T_2 = \frac{\pi \rho_1 L \Delta \sqrt{a_1 \pi}}{12 \lambda_1 \sqrt{10 \arccos \frac{r_1 - t}{r_1}}} + T_0. \quad (6)$$

Давление в пузырьке с температурой T_2 определяется формулой (7) при условии, что нагрева от процесса шлифования нет. Но нагрев осуществляется за счет тепловыделения в процессе шлифования путем передачи тепла от раскаленной стружки к пузырьку. Повышение температуры стружки ограничено величиной $T_{1\text{рез}}$ – конечной температурой в зоне резания, которая не должна превышать температуру появления прижогов обрабатываемой поверхности. Тогда, считая объем парогазового пузырька неизменным и считая минимально необходимым давлением в пузырьке (для исключения «схлопывания») давление в канале подвода $P_{\text{от}}$, можно записать условие для давления на выходе в пузырьке $P_{\text{вых}}$ при исключении процесса «схлопывания»:

$$P_{\text{вых}} = \frac{\rho_1}{\mu_{\Gamma}} RT_{\text{газ.пуз}},$$

$$P_2 = \frac{\rho_1}{\mu_{\Gamma}} RT_2,$$
(7)

где P_2 – давление в газовом пузырьке при отсутствии нагрева от стружки. Когда возникает процесс выделения паров СОТС при шлифовании, зная физические и геометрические параметры пузырьков, можно определить количество теплоты, поглощенной пузырьками:

$$Q_{\text{пуз.тепл}} = C_v \frac{m}{\mu_{\Gamma}} N_{\text{пуз}} (T_{\text{СТ}} - T_2),$$
(8)

где $m = \frac{\pi \Delta^3}{6} \rho_1$ – масса газа в пузырьке; $T_{\text{СТ}}$ – температура стружки;

$$N_{\text{пуз}} = \frac{\Delta \cdot AB \cdot h}{\pi \frac{\Delta^3}{6}} = \frac{6r_1 h \cdot \arccos \frac{r_1 - t}{r_1}}{\pi \Delta^2},$$
(9)

где $N_{\text{пуз}}$ – число пузырьков в зоне резания; C_v – молярная теплоемкость пара СОТС при постоянном объеме.

Процесс шлифования сопровождается нагревом снятого слоя (стружки) обрабатываемого материала до температуры $T_{\text{СТ}}$. Массу снятого слоя определяем из выражения (10):

$$m_{\text{СТ}} = \rho_{\text{СТ}} V_{\text{пр}} \frac{AB}{V_{\text{кр}}} h = h r_1 \rho_{\text{СТ}} \frac{V_{\text{пр}}}{V_{\text{кр}}} t \cdot \arccos \frac{r_1 - t}{r_1},$$
(10)

где $\rho_{\text{СТ}}$ – плотность обрабатываемого материала; $V_{\text{пр}}$ – скорость подачи шлифовального круга (продольная подача); t – глубина резания; $V_{\text{кр}} = \frac{\pi r_1 n}{30}$ – окружная скорость круга.

Количество тепла $Q_{\text{СТ}}$, ушедшее на нагрев стружки до температуры $T_{\text{СТ}}$, определяется из зависимостей:

$$\begin{cases} Q_{\text{СТ}} = C_{\text{вСТ}} m_{\text{СТ}} \Delta T_{\text{СТ}}, \\ \Delta T_{\text{СТ}} = T_{\text{СТ}} - T_0, \\ Q_{\text{СТ}} = C_{\text{вСТ}} (T_{\text{СТ}} - T_0) \frac{30 V_{\text{пр}} + h \rho_{\text{СТ}}}{\pi n} \arccos \frac{D - rt}{2}, \end{cases}$$
(11)

где $C_{\text{вСТ}}$ – теплоемкость материала стружки; $m_{\text{СТ}}$ – масса материала стружки; T_0 – температура подаваемой СОТС.

Если считать, что энергия привода станка, затрачиваемая на тепловыделение, сначала разогревает стружку, а от стружки передается тепло к СОТС и к поверхности обрабатываемого материала, то эффект поглощения СОТС тепла и есть процесс

охлаждения в зоне резания. Тогда на долю разогрева кавитационных пузырьков идет

$$j = \frac{Q_{\text{пуз}}}{Q_{\text{ст}}} 100\% \quad (12)$$

процентов от выделенной тепловой энергии стружки [2]. Остальная энергия идет на разогрев самой СОТС, инструмента и обрабатываемой поверхности. Таким образом, поглощение тепловой энергии кавитационными пузырьками в зоне резания обеспечивает охлаждение поверхности обрабатываемой детали.

На графиках (рис. 2, 3) показано эффективное поглощение выделяемого тепла кавитационными пузырьками в зависимости от режимов шлифования и величин алмазного зерна.

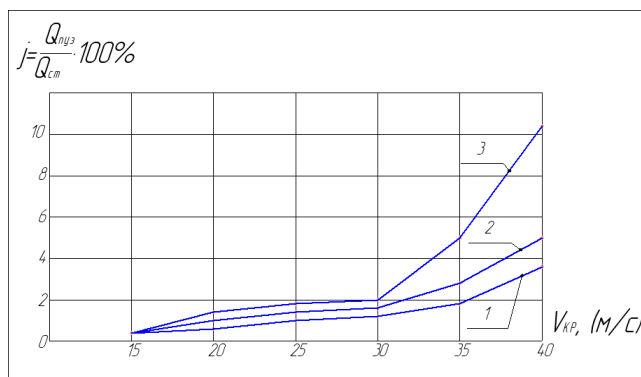


Рис. 2. Эффективность поглощения тепла кавитационными пузырьками в зависимости от скорости вращения круга, продольной подачи и глубины резания (в %) при шлифовании кругом AC6 100/80 M1 100% стали 12X18H16Г7AP: 1 – продольная подача $S_{\text{пр}} = 0,04 \text{ м/с}$, глубина резания $t = 0,02 \text{ мм}$; 2 – продольная подача $S_{\text{пр}} = 0,06 \text{ м/с}$, глубина резания $t = 0,02 \text{ мм}$; 3 – продольная подача $S_{\text{пр}} = 0,04 \text{ м/с}$, глубина резания $t = 0,03 \text{ мм}$

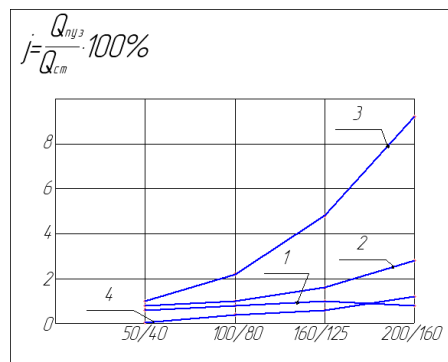


Рис. 3. Эффективность поглощения тепла кавитационными пузырьками в зависимости от величины алмазного зерна, скорости вращения круга и глубины резания (в %) при постоянной продольной подаче $S_{\text{пр}} = 0,02 \text{ м/с}$, при шлифовании кругом AC6 M1 100 % стали 12X18H16Г7AP: 1 – скорость круга $V = 40 \text{ м/с}$, $t = 0,02 \text{ мм}$; 2 – продольная подача $V = 30 \text{ м/с}$, глубина резания $t = 0,04 \text{ мм}$; 3 – продольная подача $V = 40 \text{ м/с}$, глубина резания $t = 0,04 \text{ мм}$; 4 – продольная подача $V = 30 \text{ м/с}$, глубина резания $t = 0,02 \text{ мм}$

Таким образом, применение алмазных кругов с отверстиями на рабочей поверхности, выполненными в виде сопла Лавеля для шлифования, позволяет значительно снизить температуру обработки за счет поглощения тепла кавитационными пузырьками.

Список литературы

1. Баумт Т. М. Машиностроительная гидравлика. – М. : Машиностроение, 1971. – 672 с.
2. Юсупов Г. Х. Постановка задачи оптимального проектирования высокопроизводительного АПК // Методы вычислительного эксперимента в инженерной практике : сб. науч. тр. ИМИ. – Ижевск, 1992. – Вып. 3. – С. 37–39.

* * *

G. Kh. Yusupov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Votkinsk Branch of Izhevsk State Technical University

S. A. Kolegov, Postgraduate, Votkinsk Branch of Izhevsk State Technical University

The Heat Exchange Intensification in a Cutting Zone at Cavitation Process of Movement

The process of lubricating and cooling fluid movement through the apertures made in the form of Laval nozzle, connecting an internal cavity of a grinding circle with a working surface is investigated. It is established that the given design allows performing grinding in a low-temperature mode.

Keywords: abrasive, diamond, tool, cavitation, apertures, cutting, Laval nozzle

Получено 30.03.10