

А. В. ФЕСЕНКО, канд. техн. наук, **Ю. А. СИЗЫЙ**, д-р. техн. наук,
Ю. Н. ЛЮБИМЫЙ, **В. В. СИКАРЁВ**, НТУ «ХПИ», г. Харьков

ПОДАЧА СОЖ ЧЕРЕЗ РАДИАЛЬНЫЕ КАНАЛЫ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Розглянуті закономірності, що описують рух рідини в радіальних каналах збірної шліфувально-го круга при різних швидкостях обертання, що дозволяють виконати аналіз параметрів потоку, вибрати конструктивні елементи каналів і прорахувати обсяги ЗОР, що подається в зону різання.

The laws describing movement of a liquid in radial channels of a modular abrasive wheel at various speeds of rotation are considered, allowing to make the analysis of parameters of a stream, to choose constructive elements of channels and to count volumes cutting fluid submitted to a zone of cutting.

Качество обрабатываемой поверхности при шлифовании во многом определяется применением эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей и способов их подачи в зону резания. Специфика работы шлифовальных кругов приводит к возникновению мощных окружных и торцевых воздушных потоков, препятствующих попаданию СОЖ в зону обработки обычными методами [1]. Особенно это сказывается при работе на скоростях более 35 м/с.

На практике в подавляющем большинстве случаев подача СОЖ выполняется поливом, что не обеспечивает нужного эффекта. Избыточное давление и увеличение объемов подаваемой жидкости, как правило, не могут обеспечить требуемое качество обработки, а лишь приводят к дополнительным затратам.

Одним из способов эффективного проникновения СОЖ в рабочую зону является подвод ее через радиальные каналы шлифовального круга. При этом возможны две схемы. В первом случае жидкость подается через каналы, выполненные в абразивном материале круга. Другая схема используется в сборных шлифовальных кругах. Здесь каналы выполнены в металлическом диске, на котором закреплены абразивные сегменты.

Для определения параметров каналов шлифовального круга, обеспечивающих оптимальное количество подводимой жидкости и выбора элементов системы СОЖ шлифовального станка необходимо разработать математическую модель гидродинамики потока жидкости.

Явления, происходящие при перекачивании жидкости через радиальные каналы, рассмотрим на примере роторной установки (рис.1). В закрытом корпусе размещен вращающийся диск с радиальными цилиндрическими каналами. Диск приводится во вращение с угловой скоростью ω . Подача жидкости выполняется из бака самотеком при открытом кране *K1*. Для регулировки потока на выходе предусмотрен кран *K2*.

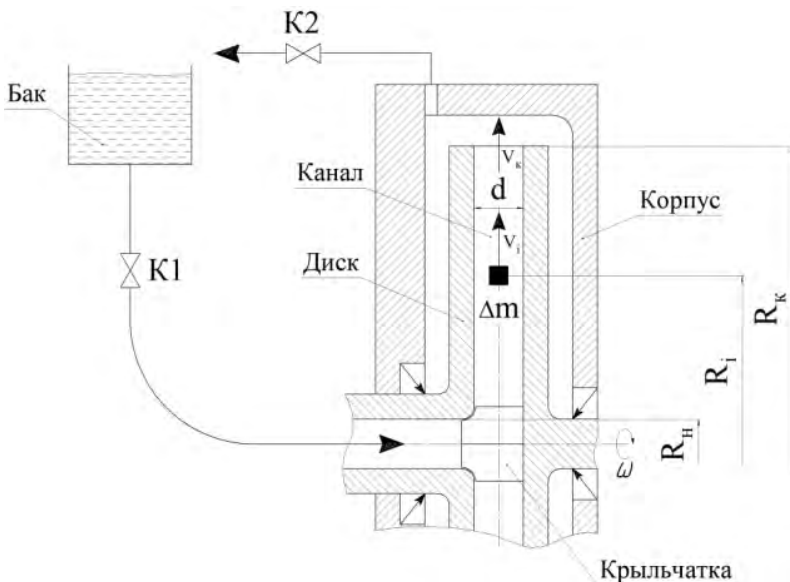


Рис. 1 – Схема установки для определения параметров потока в каналах

При вращении на жидкость действует сила инерции вращательного движения, являющаяся функцией угловой скорости ω и радиуса расположения точки R_j . При вращении ротора с постоянной угловой скоростью, сила инерции центростремительного ускорения, отнесенная к единице веса жидкости:

$$F_u = \frac{\omega^2}{g} \cdot R_i,$$

где g – ускорение силы тяжести.

Работа при перемещении частицы жидкости вдоль радиуса на расстоянии dR от оси равна:

$$A = \left(\frac{\omega^2}{g} \cdot R \right) dR.$$

Работу, совершаемую при перемещении единицы веса жидкости с радиуса R_n на радиус R_i , находим интегрированием в этих пределах. Получим выражение инерционного напора:

$$h_1 = -\frac{\omega^2}{g} \int_{R_n}^{R_i} r dr = \frac{\omega^2}{g} \cdot (R_i^2 - R_n^2).$$

При закрытом кране на выходе давление в канале ротора между двумя точками, расположенными на входе в канал R_n , и в любой точке канала R_i (без крыльчатки) определяется выражением:

$$p = \frac{\gamma \cdot \omega^2 \cdot (R_i^2 - R_n^2)}{2 \cdot g},$$

где γ – объемный вес жидкости.

Если вращение жидкости начинается от оси диска, например, если на входе установлена крыльчатка (см. рис. 1), то $R_n = 0$ и давление на входе:

$$p = \frac{\gamma \cdot \omega^2 \cdot R_i^2}{2 \cdot g}.$$

Закономерности затрат энергии в аналогичных установках для кавитационной обработки СОЖ приведены в работе [2].

Например, изменение давления воды в канале при входном отверстии на диске $D_n = 30$ мм, диаметре диска $D_n = 300$ мм, вращающегося с частотами $n = 1000, 2000, 3000, 4000$ мин⁻¹, представлено графически на рисунке 2. Так, при закрытом кране на выходе $K2$ и отсутствии давления на входе ($P_n = 0$), максимальное давление в рабочей полости установки при частоте вращения $n = 4000$ мин⁻¹ будет соответствовать давлению на выходе из канала $P_k = 19,926$ кг/см², при $n = 3000$ мин⁻¹ – $P_k = 11,209$ кг/см², при $n = 2000$ мин⁻¹ – $P_k = 4,982$ кг/см², при $n = 1000$ мин⁻¹ – $P_k = 1,245$ кг/см².

После открытия крана $K2$ начинается движение жидкости по каналу диска. При этом изменение кинетической энергии ΔE_k элемента массы жидкости Δm имеет вид:

$$\Delta E_k = \frac{\Delta m \cdot V_i^2(R_i)}{2} - \frac{\Delta m \cdot V_n^2}{2} = \frac{\Delta m}{2} \cdot (V_i^2(R_i) - V_n^2),$$

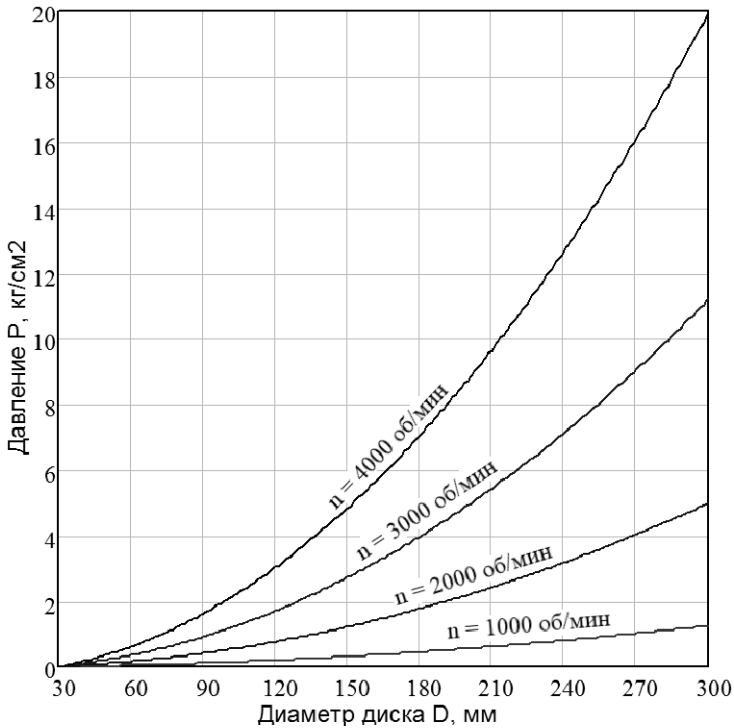


Рис. 2 – Давление в канале ротора

где V_n – начальная скорость движения жидкости, V_i – скорость жидкости вдоль оси канала на радиусе R_i от оси диска.

Работа при перемещении массы Δm от оси вращения до точки на радиусе R_i определяется как:

$$A = \int_0^{R_i} (\Delta m \cdot \omega^2 \cdot R) dR = \frac{\Delta m \cdot \omega^2}{2} \cdot R_i^2.$$

Тогда скорость элемента массы Δm на выходе из канала будет:

$$V_{\text{вых}} = \sqrt{V_n^2 + R_k^2 \cdot \omega^2}.$$

Эта зависимость справедлива в случае, если вращение жидкости начинается от оси диска, например, если на входе установлена крыльчатка (см. рис.1).

Если принять $V_n = 0$, то скорость элемента массы жидкости Δm в канале на радиусе R_i вычисляется как:

$$V_i(R) = \sqrt{R_i^2 \cdot \omega^2}.$$

Следовательно, при нулевой начальной скорости, жидкость в любой точке канала на радиусе R_i будет двигаться с окружной скоростью:

$$V_{\text{окр}} = R_i \cdot \omega.$$

Объем жидкости Q , проходящей через радиальный канал с сечением S определяется по формуле $Q = S \cdot V_i(R)$.

При постоянной угловой скорости ω с увеличением радиуса R_i будет расти и скорость $V_i(R)$. Тогда, для соблюдения закона неразрывности потока, сечение струи S должно уменьшаться.

Если в начале канала поток жидкости занимает все сечение S_n (d_n – диаметр канала), то в этом месте расход будет:

$$Q_n = S_n \cdot \omega \cdot R_n = \frac{\pi \cdot d_n^2 \cdot \omega \cdot R_n}{4}.$$

Для сечения на радиусе R_i от оси вращения, расход определяется как:

$$Q_i(R_i) = S_i(R_i) \cdot \omega \cdot R_i = \frac{\pi \cdot d_i^2(R_i) \cdot \omega \cdot R_i}{4}.$$

Поскольку $Q_n = Q_i$, получаем расчетные формулы для определения площади сечения струи $S_i(R_i) = S_n \cdot (R_n/R_i) = S_n \cdot K_S$, где K_S – коэффициент сжатия струи, $K_S = R_n/R_i$; или ее диаметра $d_i(R_i) = d_n \cdot \sqrt{R_n/R_i} = d_n \cdot K_d$, где K_d – коэффициент изменения диаметра струи, $K_d = \sqrt{R_n/R_i}$.

При движении жидкости (краны $K1$ и $K2$ открыты) в канале возникнет разрежение, по величине обратно-пропорциональное сечению струи:

$$P_{\text{вых}} = P_n \cdot \left(1 - \frac{R_n}{R_k}\right) = P_n \cdot K_{PS},$$

где P_n – давление жидкости на входе в радиальный канал, K_{PS} – коэффициент разрежения в канале при изменении сечения струи.

Рассмотрим изменение параметров потока на примере работы ротора с приведенными выше параметрами и каналом $d_1 = 9$ мм. При этом площадь сечения струи в начале канала будет $S_n = 63,62$ мм².

На рисунке 3 представлен график изменения сечения (диаметра) струи и коэффициента разрежения в радиальном канале ротора. Из графика видно, что при данных условиях работы установки на выходе из канала коэффициент сжатия составляет $K_S = 0,1$, тогда площадь сечения струи должна уменьшиться до $S_n = 6,3$ мм². Коэффициент разрежения составляет $K_{PS} = 0,9$.

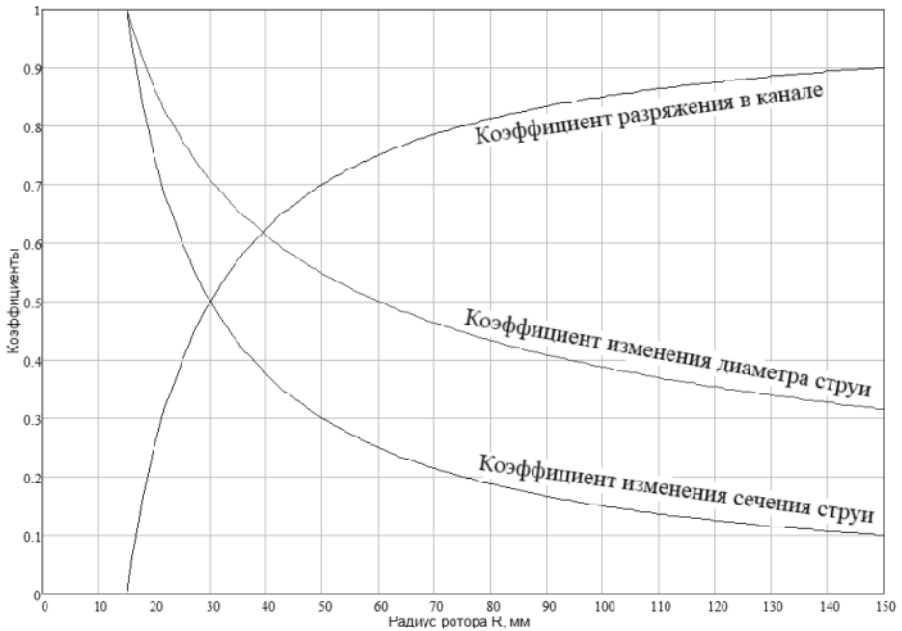


Рис. 3 – Изменение характеристик струи и коэффициента разрежения

Для расчета производительности одного канала при вращении диска воспользуемся формулой:

$$Q_k = \omega \cdot R_k \cdot S_n \cdot K_S = \omega \cdot R_k \cdot S_n \cdot \frac{R_n}{R_k} = \omega \cdot R_n \cdot S_n.$$

Производительность одного канала для данного примера при работе с крыльчаткой (рис.1) будет равна $Q_k = \omega \cdot R_n \cdot S_n = 1,06 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Применение приведенных выше математических зависимостей возможно при использовании сборных шлифовальных кругов на металлическом основании, которые имеют радиальные каналы, выходящие в промежуток между абразивными вставками. При использовании шлифовального круга с каналами в абразивном материале, создаваемое разрежение будет сопровождаться подсосом воздуха через поры круга. В результате в зону резания будет подаваться смесь “СОЖ – воздух”.

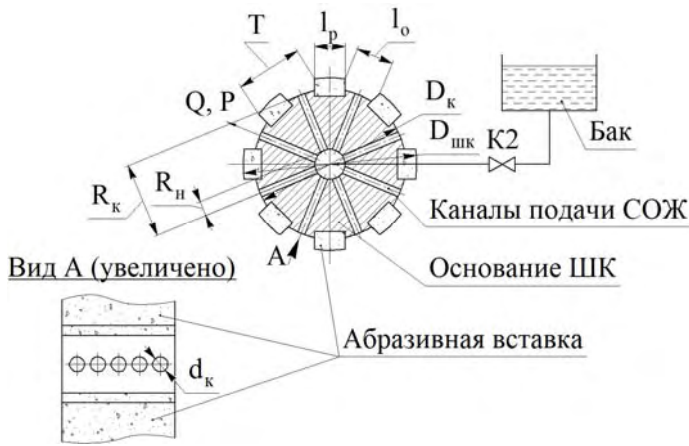


Рис. 4 – Схема подачи СОЖ и каналы в круге

Рассмотрим схему подачи СОЖ через каналы сборного шлифовального круга (рис.4). жидкость поступает из бака самотеком в приемную полость сборного шлифовального круга, и далее по радиальным каналам в диске передается в промежутки между абразивными вставками.

Алгоритм расчета конструктивных параметров каналов сборного шлифовального круга при известной норме подачи СОЖ в зону резания выглядит следующим образом (см. Рис.4):

1. Задаем входные величины, а именно скорость резания V_p , диаметр начала каналов D_n , диаметр выхода каналов D_k , диаметр шлифовального круга $D_{шк}$, рекомендуемый расход СОЖ, подаваемой в зону резания $Q_{рез}$ [1];
2. Определяем частоту вращения шлифовального круга $n_{шк} = (1000 \cdot V_p) / (\pi \cdot D_{шк})$ и его угловую скорость $\omega = (2 \cdot \pi \cdot n_{шк}) / 60$;
3. Выбираем стандартную длину режущей поверхности абразивного сегмента l_p ;

4. Из рекомендаций определяем длину впадин между абразивными сегментами $l_o = k \cdot l_p$, где k – коэффициент отношения длины впадины к длине выступа. По рекомендациям [3] принимаем $k = 0,6$;

5. Определяем шаг резания $T = l_p + l_o$ и количество абразивных сегментов $z = (\pi \cdot D_k) / \tau$;

6. Приняв z как ближайшее целое число, пересчитываем l_o ;

7. Рассчитываем расход для одного канала:

$$Q_{\text{канал}} = \omega \cdot R_n \cdot S_n = \omega \cdot R_n \cdot \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} = \omega \cdot R_n \cdot 0,785 \cdot d_k^2$$

8. Этот канал проходит через зону резания с частотой $n_1 = n_{\text{шк}} / 60 \text{ c}^{-1}$;

9. При количестве каналов по окружности i , зону резания проходит $n_i = n_1 \cdot i$ каналов;

10. Определим количество СОЖ, которое попадает в зону резания при k каналов в ряду:

$$Q_{\text{з.р.}} = \frac{0,785 \cdot \omega \cdot R_n \cdot d_k^2}{n_1 \cdot i} \cdot k;$$

11. Рассчитываем диаметр канала, который необходим для подачи требуемого объема жидкости $Q_{\text{рез}}$ в зону резания:

$$d_k = \sqrt{\frac{Q_{\text{з.р.}} \cdot n_1 \cdot i}{0,785 \cdot \omega \cdot R_n \cdot k}}.$$

Приведенные выше закономерности, описывающие движение жидкости в радиальных каналах сборного шлифовального круга позволяют выполнить анализ параметров потока, выбрать конструктивные элементы каналов и просчитать объемы СОЖ, подаваемые в зону резания.

Список литературы: 1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с., ил. 2. Фесенко А.В. Методика оценки параметров кавитационной обработки СОЖ. Вестник национального технического университета «ХПИ», сборник научных работ. Тематический выпуск: Технологии в машиностроении, вып. – Харьков: изд. НТУ «ХПИ», – 2008. – №1. стр. 14 – 18. 3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.:Машиностроение, 1975. – 175с.

Поступила в редколлегию: 13.04.2010.