

УДК 621.921

Л.М. Мурзин, доцент, канд. техн. наук,**Ю.Ю. Колосовский***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**root@sebastopol.ua***РОЛЬ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ПРОЦЕССЕ АЛМАЗНОГО СВЕРЛЕНИЯ**

Анализируется роль смазочно-охлаждающей жидкости и ее влияние на выходные параметры технологической системы процесса алмазного сверления.

Ключевые слова: алмазное сверление, смазочно-охлаждающая жидкость, отверстие, сверло, шлам, связка сверла.

Применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) эффективно, если оно приводит к улучшению качества поверхности отверстия после обработки, повышает производительность, снижает деформации деталей вследствие регулирования теплового режима, позволяет удалять отходы обработки из зоны резания, что способствует нормальному протеканию процесса сверления.

Алмазное сверление всех хрупких, твердых неметаллических материалов проводят с применением СОЖ. Поступая в зону резания, СОЖ уменьшает работу, затрачиваемую на трение между шламом, обрабатываемой поверхностью и алмазоносной поверхностью сверла; охлаждает инструмент и выводит шлам из зоны резания. Кроме проявления своих основных действий – смазочного, охлаждающего и смывочного, СОЖ должна защищать оборудование от коррозии, в течение длительного времени сохранять свои свойства, быть безопасной в эксплуатации.

При алмазном сверлении используют как масляные СОЖ, так и водорастворимые, включая эмульсии и водные растворы с синтетическими компонентами. Правильный выбор состава СОЖ, способа подвода СОЖ, давления и расхода должны обеспечить работу сверла до полного износа.

Целью работы является определение правильного выбора технологических параметров (способа подвода, давления и расхода СОЖ), которые оказывают основное влияние на объем удаляемого шлама из зоны резания.

СОЖ, проникая в трещины, возникающие при работе единичных зерен, оказывает на них расклинивающее действие, способствуя разрушению материала (увеличению производительности и снижению осевого усилия). Механизм проникающего действия СОЖ при резании металлов и скалывании хрупких материалов был и остается предметом многочисленных специальных исследований. Для случая абразивной обработки, основной теорией проникновения жидкости вглубь трещин является капиллярный механизм [1]. В общем случае высота проникновения СОЖ в капилляре определяется следующей зависимостью:

$$h = 2\sigma \cos \Theta / rg\eta,$$

где r – радиус капилляра; σ – поверхностное натяжение; Θ – угол смачивания (наклона капилляра к горизонту); g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$); η – вязкость СОЖ.

Для оценки совокупности физико-механических свойств жидкости можно ввести параметр, характеризующий скорость проникновения жидкости в микротрещины:

$$k = \sigma \cos \Theta / \eta \text{ (см/с)}.$$

СОЖ с низким значением k обеспечивает возможность получения поверхностного слоя с минимальными дефектами.

В связи с многообразием процессов взаимодействия СОЖ и обрабатываемого материала и сложностью их математического моделирования, в большинстве случаев выбор типа СОЖ производится на основании экспериментальных исследований.

На рисунке 1 представлены зависимости осевого усилия от подачи при алмазном сверлении различных материалов [2].

Как видно из рисунка 1, отношение S/P_y для различных материалов (и различных условий обработки) есть величина постоянная. Ее геометрический смысл заключается в определении тангенса угла наклона прямой графика.

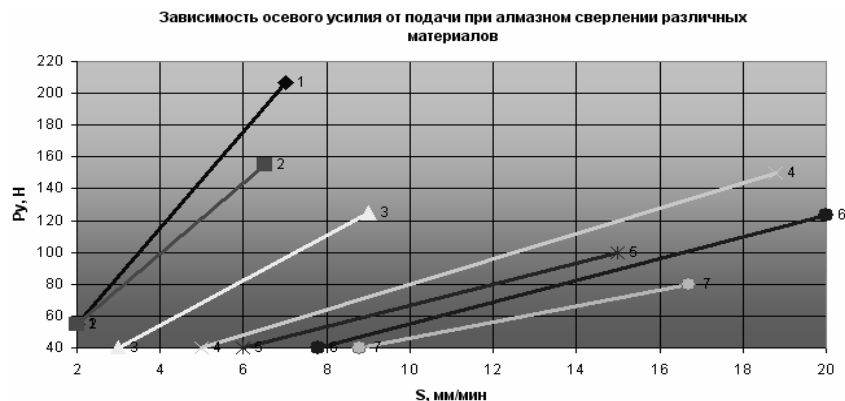


Рисунок 1 – Зависимость осевого усилия от подачи при алмазном сверлении различных материалов: 1 – керамика ЦМ-332; 2 – керамика 22ХС; 3 – кварц; 4 – техническое стекло; 5 – ситалл СТ-32; 6 – ситалл СТ-38; 7 – феррит 1000НН

Поэтому в качестве критерия работоспособности алмазных сверл, для исследования влияния СОЖ, и как дальше будет показано и других факторов алмазного сверления, можно использовать коэффициент режущей способности:

$$K = S / P_y ((\text{мм/мин})/\text{Н}).$$

Физический смысл коэффициента режущей способности интерпретируется как удельная интенсивность абразивного шлифования.

При алмазном сверлении применяют различные схемы подвода СОЖ в зону резания. Допустимо сверление детали, закрепленной в ванночке, наполненной СОЖ (подвод погружением). Также подвод СОЖ может осуществляться через полость сверла или использоваться комбинированный метод. Выбор того или иного способа определяется имеющимся оборудованием и конструкцией инструмента.

Режим работы сверла с самозатачиванием возможен в том случае, если частицы диспергированного материала будут равномерно изнашивать связку и новые алмазные зерна будут обнажаться в нужное время. Поэтому, очевидно, что изменение параметров давления и расхода СОЖ носят экстремальный характер. В случае интенсивного вымывания шлама (давление и расход повышены) не будет происходить интенсивного самозатачивания. После выполнения нескольких циклов сверления потребуется правка инструмента. Но, с другой стороны, в случае недостаточного вымывания шлама (давление и расход понижены) будет происходить засаливание инструмента, повышаться температура в зоне резания и, как следствие, возможен аварийный износ инструмента [3].

Учитывая эти факторы, определим давление и расход СОЖ для схемы внутреннего подвода (как наиболее прогрессивной и широко используемой при сверлении).

На рисунке 2 показана схема работы кольцевого сверла и основные геометрические параметры, влияющие на давление СОЖ.

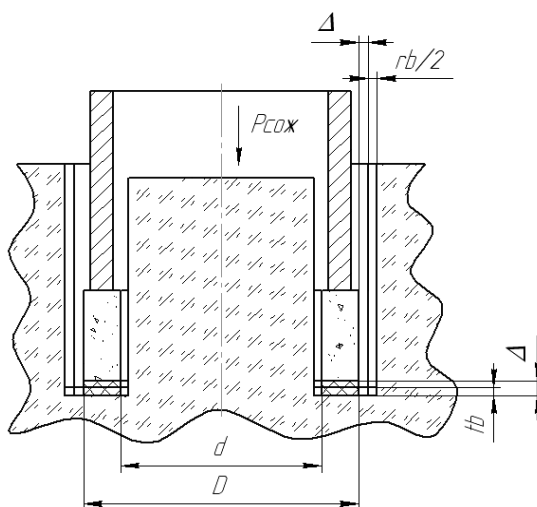


Рисунок 2 – Основные геометрические параметры, влияющие на давление СОЖ

Кроме свойств самой жидкости, подаваемой в зону сверления, существенное значение имеет ее количество, которое должно определяться в зависимости от количества тепла, выделяемого в процессе обработки. Оно связано с мощностью, затрачиваемой на процесс диспергирования материала и преодоления трения, возникающего в зоне обработки.

На основании опытов по изучению зависимости величины скорости и усилия резания от подаваемого объема жидкости при разных величинах площадей контакта инструмента с изделием была выведена зависимость для определения расхода СОЖ:

$$Q_{\text{сож}} = q_{\text{сож}} N_{\text{э}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{э}}$ – эффективная мощность алмазного сверления, Вт; $q_{\text{сож}}$ – средний удельный расход СОЖ, отнесенный к 1 Вт мощности.

Эффективная мощность алмазного сверления отличается от паспортной мощности привода станка и определяется основными силовыми факторами процесса обработки:

$$N_{\text{э}} = P_R V,$$

где $P_R = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}$ – результирующее усилие резания.

В процессе экспериментов, было установлено, что величина $q_{\text{сож}}$ является постоянной для различных материалов, но линейно зависит от величины диаметра обрабатываемого отверстия. С точностью, удовлетворяющей задачам моделирования, можно записать, что

$$q_{\text{сож}} = D / 100,$$

при измерении D в мм.

Для определения давления СОЖ обратимся к формулам (1) и (2):

$$h_{\text{из}}^{об} / \pi D_{\text{св}} = r_a P_a / H^{св}, \quad (2)$$

где $H^{св}$ – твердость материала связки на безалмазном образце, НВ; $D_{\text{св}}$ – наружный диаметр сверла.

$$P_a = k(v_{\text{ск}}^{об} - v_{\text{зд}}^{об} / v_{\text{св}}), \quad (3)$$

$v_{\text{зд}}^{об}$ – объем удаляемого диспергированного материала вместе с СОЖ за один оборот сверла; $v_{\text{св}}$ – объем свободного пространства между торцом сверла и деталью;

$$v_{\text{св}} = F_{\text{КС}} (\Delta + tb);$$

k – коэффициент пропорциональности.

В процессе сверления, образуется определенный объем диспергированного материала, который должен быть удален из зоны резания. Именно от этого объема $v_{\text{ск}}^{об}$ и зависит, в основном, давление СОЖ.

Но очевидно, что весь шлам не должен сразу удаляться из зоны резания. Этот парадоксальный, на первый взгляд, факт объясняется следующим образом. Если весь шлам будет удаляться из зоны резания сразу после своего образования, то не будет происходить абразивного износа связки, то есть самозатачивания инструмента. При нормальных условиях алмазного сверления поверхность связки не касается поверхности обрабатываемой детали. СОЖ проходит в образовавшемся зазоре, охлаждая и смазывая режущие зерна и поверхность детали. Если не будет происходить абразивного износа связки, то зерна будут работать до полного износа выступающих поверхностей. Затем поверхность связки начнет касаться поверхности детали, вызывая интенсивный нагрев зоны резания, увеличение нагрузок, что в итоге приведет к оплавлению связки и аварийному прекращению сверления. Потребуется дополнительная правка инструмента. Именно поэтому, определение оптимального давления СОЖ является важным фактором саморегулирования процесса сверления.

Оптимальным будет такое давление, при котором из зоны резания за один оборот будет удаляться не весь объем диспергированного материала $v_{\text{ск}}^{об}$, а только его часть – $v_{\text{зд}}^{об}$, входящая в (2).

При внутренней подаче СОЖ будет вымывать шлам, проходя через кольцевое сечение, площадь которого определяется формулой (1) (площадь поверхности цилиндра (рисунок 2)):

$$F_{\text{вн.св.}} = \pi D_{\text{св}} (\Delta + tb), \quad (4)$$

где tb – торцевое биение сверла.

Затем, вместе со шламом СОЖ проходит через кольцевой зазор между наружной поверхностью сверла и материалом детали. Площадь этого сечения будет определяться:

$$F_{нар.св.} = \pi / 4 ((D_{св} + 2\Delta + rb)^2 - D_{св}^2), \quad (5)$$

где rb – радиальное биение сверла.

Из геометрических соображений видно, что

$$P_{СОЖ} F_{вн.св.} = P_a F_{нар.св.} \quad (6)$$

Подставляя (3), (4) и (5) в (6), получаем:

$$P_{СОЖ} = k(v_{ск}^{об} - v_{уд}^{об})((D_{св} + 2\Delta + rb)^2 - D_{св}^2) / 4F_{КС} d_{св} (\Delta + tb)^2,$$

где k – коэффициент, зависящий от вида СОЖ; $F_{КС}$ – общая площадь контакта связки и диспергируемого материала.

В качестве выводов можно отметить следующее:

1. Изнашивание связки сверла производится шламом, вымываемым жидкостью под давлением.
2. На основании изученных зависимостей величины скорости и усилия резания от подаваемого объема жидкости при разных величинах площадей контакта инструмента с изделием была выведена зависимость определения расхода СОЖ.

3. Разработана математическая зависимость расчета оптимального давления СОЖ при обработке материала в зависимости от его геометрических параметров.

Практическое значение полученных результатов заключается в установлении зависимости эффективного использования СОЖ, которое способствует улучшению качества поверхности отверстия после обработки, повышает производительность, снижает деформации деталей вследствие регулирования теплового режима, позволяет удалять отходы обработки из зоны резания, что способствует нормальному протеканию процесса сверления.

Дальнейшее развитие работы предполагает исследование влияния способа подвода и состава СОЖ на процесс алмазного сверления и разработку рекомендаций по выбору давления СОЖ в зависимости от диаметра инструмента, режимов резания – от состава СОЖ, коэффициентов резания – от обрабатываемого материала, состава СОЖ – от обрабатываемого материала в процессе алмазного сверления.

Библиографический список

1. Балыков А.В. Повышение эффективности обработки отверстий в деталях из хрупких неметаллических материалов на основе алмазного сверления: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08: защищена 05.03.01: утв. 15.09.01 / Балыков Александр Викторович. — М., 2001. — 503 с.
2. Листунов Л.С. Система стабилизации составляющих силы резания в процессе алмазного сверления в неметаллических материалах / Л.С. Листунов // XI Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: Машиностроение и транспорт, Волгоград, 8–10 ноября 2006 г. — Волгоград, 2006. — Вып. 11. — С. 73 – 74.
3. Сердобинцев Ю.П. Моделирование системы управления алмазным сверлением в неметаллических материалах / Ю.П. Сердобинцев, А.В. Балыков, Л.С. Листунов // Автоматизация технологических процессов: сб. науч. трудов Калининградского государственного технического университета. — Калининград, 2006. — Вып. 3. — С. 57–63.

Поступила в редакцию 26.02.2010 г.