

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское

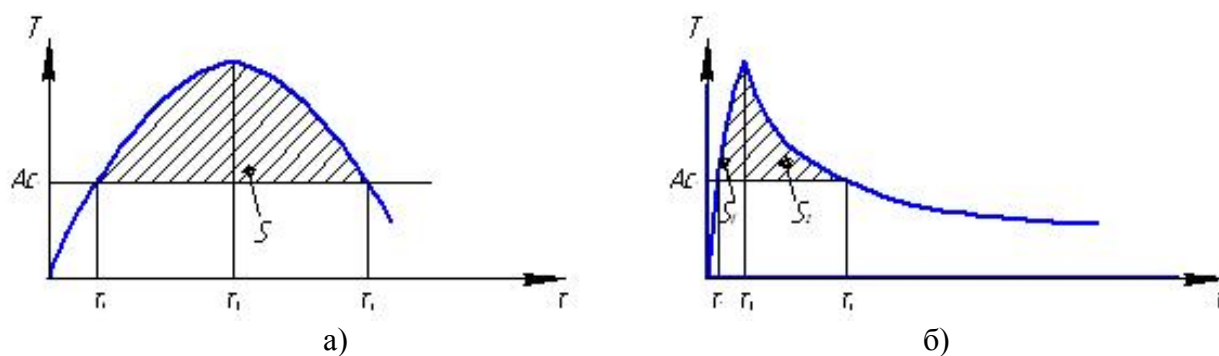
## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ И ПЕРСПЕКТИВ ИХ РАЗВИТИЯ

**Введение.** Известно, что процессы резания металлов, а особенно абразивной обработки, сопровождаются высокоинтенсивными тепловыми процессами, протекающими с высокими скоростями нагрева и охлаждения, которые во многом формируют свойства готовых деталей.

Характер протекания фазовых превращений, формирования напряженного состояния поверхности детали определяется температурно-временным воздействием процесса нагрева-охлаждения на поверхностный слой материала и поэтому зависит от формы термической кривой. Изменяя ее форму, можно влиять на эксплуатационные свойства деталей. Форма термической кривой, в свою очередь, определяется параметрами термических циклов: скоростью нагрева, максимальной температурой нагрева, скоростью охлаждения и временем выдержки при температурах фазовых переходов [1].

Особенностью формирования поверхностного слоя при шлифовании закаленных сталей является то, что их структура может выходить из равновесного состояния под действием даже кратковременных тепловых импульсов, возникающих не только при торцовом, но и при периферийном шлифовании, когда дуга контакта круга с деталью весьма мала. При этом основные свойства и тип структур поверхностного слоя формируются в процессе нахождения материала при температуре фазовых переходов.

В работе [1] предложено использовать для оценки связи параметров термических циклов с характеристиками качества поверхностного слоя интегральную температурно-временную характеристику ( $S$ ), представляющую собой площадь, ограниченную сверху кривой нагрева-охлаждения, а снизу прямой, соответствующей температуре аустенитного превращения (рис.1, а).



а) – процесс закалки, б) – шлифование

Рисунок 1 – Кинематические кривые нагрева и охлаждения

Основываясь на этих результатах, можно предположить, что при обработке шлифованием площадь  $S$  под кривой нагрева-охлаждения (рис.1, б), можно регулировать как в период нагрева, так и в период охлаждения поверхности детали. В период нагрева, это возможно за счет уменьшения температуры резания и времени контакта

детали и шлифовального круга, в период охлаждения – при интенсификации процесса теплоотдачи.

Основным способом охлаждения при резании и, в частности, при шлифовании является применение смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Воздействие СОЖ на процесс резания и его результаты осуществляется различными способами, каждый из которых обладает как достоинствами, так и недостатками, имеют различные области применения и степень распространенности [2].

**Постановка задачи.** В данной статье рассматривается задача определения направления развития способов охлаждения при шлифовании с целью нахождения наиболее эффективных и одновременно доступных и относительно простых способов подвода СОЖ к охлаждаемым поверхностям.

**Результаты работы.** Из анализа, проведенного в работе [2], следует, что наиболее эффективными способами подачи СОЖ являются комбинированные. Это объясняется тем, что различные способы подачи СОЖ направлены на реализацию различных ее функций. Одни способы в наибольшей мере реализуют смазывающие, другие – моющие, а третьи – охлаждающие свойства СОЖ. Смазывающие и моющие свойства СОЖ влияют на силы и температуры резания, уменьшая тем самым площадь  $S_1$  (рис.1, б), а охлаждающие свойства увеличивают скорость охлаждения, уменьшая тем самым площадь  $S_2$  (рис.1, б). Причем, несмотря на вогнутость кривой охлаждения, площадь  $S_2$  больше площади  $S_1$ , так как скорость охлаждения при обработке резанием на порядок ниже скорости нагрева. Таким образом, в комбинации способов подачи СОЖ наибольшее значение имеет охлаждающая компонента.

Наиболее известный и применяемый способ подачи СОЖ – свободно падающей струей (поливом). Причем, в зависимости от решаемых задач СОЖ может подаваться как в зону резания, так и вне ее. Общими признаками являются: скорость подачи, которая составляет около 1 м/с, давление в системе подачи – 0,03-0,1 МПа и большой расход – 8...10 л/мин. на 10 мм ширины шлифования [2, 3] В основном при этом реализуются охлаждающие свойства СОЖ в условиях конвективного теплообмена и моющие свойства по отношению к заготовке и инструменту. Причем, большая часть расходуемой СОЖ в теплообмене не участвует. Некоторые исследователи считают, что СОЖ при этом не присутствует в зоне резания [4, 5], что, однако, опровергается экспериментальными данными работы [6]. Несомненным существенным достоинством этого способа является его простота.

В соответствие с расчетными зависимостями, приведенными в [7], максимальная мощность круглого наружного шлифования при рекомендуемых режимах резания составляет около 3кВт на каждые 10 мм ширины шлифования. Часть этой энергии переходит в СОЖ. Таким образом, если оценивать производительность охлаждения количеством тепловой энергии, отводимой единицей объема использованной СОЖ, то она не может превышать 20 кДж/л.

Практикуется при шлифовании подача СОЖ напорной струей под давлением 0,1-2,5 МПа. Скорость напорной струи достигает 40-60 м/с, а расход СОЖ – 10...20 л/мин. на 10 мм ширины шлифования [3]. Недостатками такого способа подачи СОЖ являются сильное разбрызгивание жидкости, необходимость тщательной очистки СОЖ, чтобы исключить засорение сопла малого диаметра, оснащения станка специальной насосной станцией высокого давления. Напорная подача СОЖ должна обеспечить преодоление воздушных потоков от быстровращающегося шлифовального круга и доставку ее в охлаждаемую зону. Однако эта задача может решаться с меньшими затратами за счет простых механических отсекающих [3]. Высокая скорость СОЖ при ее пода-

че напорной струей теоретически должна способствовать интенсификации конвективного теплообмена. Однако вблизи зоны резания эта скорость определяется не столько параметрами подачи СОЖ, сколько гидродинамическими явлениями, связанными со скоростью вращения шлифовального круга [8]. В результате этот способ хотя и является несколько более эффективным, чем свободный полив, но это нивелируется значительно более сложной его реализацией. При этом расход СОЖ несколько выше, чем при свободном поливе. Поэтому производительность охлаждения вероятно имеет тот же порядок.

При гидродинамическом способе подачи СОЖ воздушные потоки от вращающегося шлифовального круга не только не являются препятствием для СОЖ, но и используются для повышения скорости ее движения за счет конструктивных особенностей подающего сопла [2, 3]. Использование энергии вращающегося шлифовального круга для интенсификации процесса охлаждения является существенным достоинством этого способа.

Считается, что охлаждающее действие СОЖ при гидродинамическом способе подачи выше, чем при свободном поливе и подаче напорной струей, что теоретически не вполне обоснованно, так как охлаждение во всех этих способах реализуется в условиях конвективного теплообмена. Интенсивность такого теплообмена зависит в основном от скорости течения жидкости, которая вследствие гидродинамических явлений вблизи шлифовального круга определяется скоростью резания.

Расход СОЖ при гидродинамическом способе порядка 2...5 л/мин. на 10 мм длины контакта, что в среднем в несколько раз ниже, чем при свободном поливе или подаче напорной струей. Производительность охлаждения вероятно также в несколько раз выше, но не более нескольких десятков кДж/л.

Также широко известен способ подачи СОЖ в распыленном состоянии [2, 3]. Скорость подачи струи распыленной СОЖ составляет около 100 м/с, дисперсность капель жидкости – порядка 10-20 мкм, давление в системе подачи – 0,03-0,1 Мпа, а расход – всего 0,005...0,007 л/мин. Некоторые исследователи считают этот способ охлаждения наиболее эффективным, так как при попадании частиц жидкости на нагретые поверхности заготовки они мгновенно испаряются и отводят большое количество теплоты. Достоинством этого способа охлаждения является то, что при небольшом расходе жидкости эффективно используются ее смазочные и охлаждающие свойства. Производительность охлаждения составит порядка 2 МДж/л в случае полного испарения всего объема капель СОЖ на водной основе в распыленной струе, что, однако, достаточно сложно обеспечить. Этот метод нашел применение в основном при лезвийной обработке, где его преимущества подтверждены на практике. При шлифовании он имеет очень ограниченное применение, что связано с относительно невысокой энергией мелких капель жидкости, практически исключая возможность преодоления ими воздушных потоков, создаваемых шлифовальным кругом.

Некоторым аналогом последнего способа при шлифовании является подача СОЖ через поры шлифовального круга, когда СОЖ малыми порциями попадает непосредственно в зону шлифования. Расход СОЖ при этом составляет несколько десятков грамм в минуту, что больше, но сопоставимо с расходом СОЖ при подаче ее в распыленном состоянии. Однако данный способ имеет ряд существенных недостатков: структурный дисбаланс и вероятность появления вибраций вследствие неравномерной прокачки технологической жидкости сквозь круг; необходимость тщательной очистки СОЖ; непригодность для кругов на металлической, вулканической и бакелитовой связках, а также алмазных кругов, имеющих металлический корпус.

Недостатки последнего способа устраняются при подаче СОЖ через каналы в шлифовальном круге. Однако этот способ применяется редко, так как серийно не выпускаются круги с каналами для подачи СОЖ. Серьезным недостатком данного способа является сложность изготовления и высокая стоимость такого инструмента. Расход СОЖ при этом – 2...4 л/мин. на 10 мм длины контакта [2], что значительно выше, чем при подаче ее в распыленном состоянии или через поры шлифовального круга, и соответствует расходу при гидродинамическом способе и нижнему пределу расхода при свободном поливе. Но охлаждающее действие выше, чем у последнего, за счет доставки СОЖ непосредственно в зону резания. Максимально достижимая производительности охлаждения – несколько десятков кДж/л.

**Выводы.** Наибольшую теоретически возможную производительность охлаждения, оцененную количеством тепловой энергии, отводимой единицей объема использованной СОЖ, обеспечивают способы ее подачи в распыленном состоянии или через поры шлифовального круга. Наиболее простым способом подачи СОЖ является свободный полив, обладающий наименьшей возможной производительностью охлаждения. Эффективность использования СОЖ можно значительно повысить, используя энергию вращения шлифовального круга.

Таким образом, перспективным направлением развития способов подачи СОЖ является охлаждение жидкостью, распыленной за счет энергии вращения стандартных шлифовальных кругов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иваницкий В.В. Повышение качества поверхностного слоя деталей машин путем управления параметрами термических циклов в технологических процессах комбинированной обработки: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Иваницкий В.В. – Москва, 1997. – 201с.
2. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / под ред. С.Г.Энталиса, Э.М.Берлинера. – М.: Машиностроение, 1986. – 352с.
3. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н.Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391с.
4. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / Резников А.Н. – М.: Машиностроение, 1981. – 279с.
5. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / Сипайлов В.А. – М.: Машиностроение, 1978. – 167с.
6. Ящерицын П.И. Кавитационные явления при шлифовании / П.И.Ящерицын, Э.С.Бранкевич, В.И.Туромша // Известия АН БССР: Серия физико-технических наук. – 1981. – №4. – С.67-72.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / под ред. А.Г.Касиловой и Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 496с.
8. Чухно С.И. К вопросу о расчете коэффициента теплоотдачи смазывающе-охлаждающих жидкостей при шлифовании / С.И.Чухно // Математичні проблеми технічної механіки: 2-а Всеукр. наук. конф., 22-24 квітня 2002р.: тези доповідей. – м. Дніпродзержинськ, 2002. – С.76.

Поступила в редколлегию 19.09.2017.