
Е. С. КИСЕЛЕВ, В. Н. КОВАЛЬНОГОВ

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ
ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО-
ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СРЕДСТВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКЕ**

**УЛЬЯНОВСК
2008**

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Ульяновский государственный технический университет

Е. С. Киселев, В. Н. Ковальногов

Научные основы и технология применения смазочно-охлаждающих технологических средств при механической обработке

Сборник учебно-исследовательских лабораторных работ по дисциплине «Научные основы и технология применения смазочно-охлаждающих технологических средств» для студентов старших курсов машиностроительного факультета, обучающихся по направлению 150900-Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств (магистерская программа 150901 - Технология машиностроения) и по специальности 15100165 - Технология машиностроения

Ульяновск 2008

УДК 621.923.6(075)
ББК 34.5с.50я7 К44

Редактор - доктор технических наук, профессор Л. В. Худобин

Рецензенты:

Кафедра «Технология машиностроения» Самарского государственного технического университета (зав. кафедрой профессор, доктор технических наук Н. В. Носов); профессор кафедры «Техническая физика» Ивановского государственного университета, доктор технических наук В. А. Годлевский.

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия.

Киселев, Е. С.

К44 Научные основы и технология применения смазочно-охлаждающих технологических средств при механической обработке : сборник учебно-исследовательских лабораторных работ / Е. С. Киселев, В. Н. Ковальногов. - Ульяновск: УлГТУ, 2008. - 57 с.

ISBN 978-5-9795-0176-5

Сборник учебно-исследовательских лабораторных работ составлен в соответствии с программой курса «Научные основы и технология применения смазочно-охлаждающих технологических средств при механической обработке» и содержит 5 работ, посвященных рассмотрению различных аспектов механической обработки заготовок с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). В процессе выполнения работ изучается влияние техники подачи СОЖ на технологическую эффективность круглого наружного шлифования и глубокого сверления отверстий малого диаметра и влияние механических примесей, содержащихся в СОЖ, на шероховатость обработанных поверхностей при внутреннем шлифовании, численно исследуется тепловая напряженность плоского торцового шлифования с применением различных составов и техники подачи СОЖ, определяется минимальный расход СОЖ через зону обработки. Сборник включает также перечень контрольных вопросов по теме каждой учебно-исследовательской работы.

Предназначен для студентов старших курсов, обучающихся по специальности 15100165 и по магистерской программе 150901 - Технология машиностроения, и будет полезен для аспирантов, выполняющих диссертационные исследования процессов механической обработки с применением СОЖ по специальностям 05.02.08 и 05.03.01.

УДК 621.923.6 (075)
ББК 34.5 с.50 я7

ISBN 978-5-9795-0176-5

© Е. С. Киселев, В. Н. Ковальногов, 2008
© Оформление. УлГТУ, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ К ПОВЕДЕНИЮ СТУДЕНТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ-ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	6
2. Учебно-исследовательская лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ для ПОДАЧИ СОЖ ЧЕРЕЗ КЛИНОВЫЕ ПОЛУОТКРЫТЫЕ НАСАДКИ К ТОРЦУ КРУГА ПРИ КРУГЛОМ НАРУЖНОМ ШЛИФОВАНИИ	8
3. Учебно-исследовательская лабораторная работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНИКИ ПОДАЧИ СОЖ ПРИ ГЛУБОКОМ СВЕРЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА В СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВКАХ	25
4. Учебно-исследовательская лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В СОЖ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ШЛИФОВАНИИ, НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	31
5. Учебно-исследовательская лабораторная работа № 4. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПЛОСКОГО ТОРЦОВОГО ШЛИФОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЖ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ И ТЕХНИКИ ИХ ПОДАЧИ	40
6. Учебно-исследовательская лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА СОЖ ЧЕРЕЗ ЗОНУ ПЛОСКОГО ТОРЦОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	50
Приложение А	56
Приложение Б	57

ВВЕДЕНИЕ

В процессе механической обработки поверхностные слои заготовки и инструмента находятся в состоянии активного физико-химического взаимодействия с окружающей воздушной или искусственной средой, вводимой в зону обработки в виде так называемых смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). При правильно выбранном составе и способе использования СОТС можно резко уменьшить силы трения в контактных зонах «инструмент-заготовка-стружка», уменьшить тепловыделение и усилить отвод теплоты, а также обеспечить удаление стружки и отходов обработки из зоны резания и с рабочих поверхностей станка. В результате в существенной степени уменьшаются износ, затупление и засаливание инструмента, повышаются его работоспособность и период стойкости. Все это позволяет значительно повысить производительность обработки и улучшить качество деталей. Поэтому совершенствование составов и техники подачи СОТС является одним из основных направлений развития современной технологии машиностроения.

Важность проблемы рационального применения СОТС определяется не только экономическими соображениями, хотя по оценкам специалистов и опыту промышленности затраты на СОТС часто значительно (до 4 раз) превышают расходы на режущие инструменты и достигают 17 % себестоимости изготовления деталей машин. В то же время СОТС являются загрязнителями окружающей среды, а на их изготовление затрачивают значительное количество дефицитного сырья. Совершенствование техники и технологии применения СОТС будет способствовать переходу машиностроения на ресурсосберегающее экологически чистое производство.

Рациональный подбор и создание высокоэффективных СОТС возможны только при глубоком изучении механизма их действия. Сегодня стало очевидным, что для исследования сложных процессов, протекающих при обработке металлических заготовок в присутствии СОТС, следует использовать методы физической химии, теплофизики, металловедения, гидроаэродинамики и др. Необходимость учета этих факторов превращает разработку новых СОТС и технологии их применения в актуальную научно-техническую проблему, решаемую на стыке целого ряда отраслей современной науки уже не столько на чисто эмпирическом, сколько на теоретическом уровне.

Целью настоящего сборника учебно-исследовательских лабораторных работ является ознакомление будущих магистров техники и технологии с комплексом вопросов, связанных с теоретико-экспериментальным исследованием закономерностей, математическим моделированием и расчетом состояния системы объектов, контактирующих при механической обработке с применением СОТС, оценки некоторых характеристик качества поверхностных слоев полученных деталей и производительности их формообразования при обработке лезвийными и абразивными инструментами. В сборнике использованы как известные, так и новейшие методические и исследователь-

ские разработки в области совершенствования технологии применения СОТС, выполненные на кафедре «Технология машиностроения» Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ).

Учитывая, что среди применяемых в промышленности СОТС свыше 95 % составляют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), в сборник включены пять учебно-исследовательских лабораторных работ, посвященных различным аспектам применения именно жидких СОТС.

Особое внимание обращено на оформление магистрантом результатов экспериментальных исследований, умение правильно сделать выводы по выполненным экспериментам и подготовить отчет по работе в целом.

Учебное пособие будет полезно для студентов старших курсов машиностроительных специальностей, а также для аспирантов, выполняющих исследования, направленные на решение различных вопросов технологии применения СОТС при механической обработке заготовок.

1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ К ПОВЕДЕНИЮ СТУДЕНТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Все учебно-исследовательские лабораторные работы выполняются в научно-исследовательских лабораториях кафедры «Технология машиностроения» УлГТУ на действующих экспериментальных установках с применением технологической оснастки, инструмента, оптико-механических и электроизмерительных приборов, вычислительной техники. При выполнении лабораторных работ необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. Перед началом проведения лабораторного практикума со студентами проводится инструктаж по технике безопасности с последующей регистрацией и личной росписью каждого студента в специальном журнале.

В целях исключения травматизма, а также поломки экспериментальных установок, технологической оснастки и дорогостоящих измерительных приборов, каждый студент перед выполнением учебно-исследовательской лабораторной работы должен подробно ознакомиться с устройством станка, станда или установки [1] и с правилами техники безопасности при работе на них [2, 3].

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- приступать к проведению исследований без ознакомления с правилами техники безопасности;
- включать экспериментальную установку и измерительные приборы без разрешения преподавателя или учебного мастера;
- касаться находящихся в движении частей механизмов, инструмента и заготовки;
- подходить к работающим экспериментальным установкам в расстегнутом халате, с незаправленными волосами и т. п.;
- прилагать усилия при работе с приборами.

При работе на шлифовальном станке категорически ЗАПРЕЩАЕТСЯ стоять против шлифовального круга, так как именно в этом направлении летят осколки в случае разрыва круга. При быстром подводе шлифовального круга возникает опасность удара его о заготовку, поэтому круг к заготовке необходимо подводить плавно и без рывков.

Установку и снятие заготовки со станка следует осуществлять после полной остановки круга. При установке заготовки в центрах станка необходимо фиксировать пиноль задней бабки для предотвращения вырыва заготовки под действием силы резания. Запрещается мыть руки в СОЖ, залитой в станок.

Травление заготовок необходимо проводить в вытяжном шкафу при включенной вытяжной вентиляции. Травление выполняют в халате, застегнутом на все пуговицы, в резиновых перчатках и защитных очках. Перенос заготовок из ванны в ванну необходимо выполнять специальным захватом. При этом следует соблюдать осторожность, чтобы избежать расплескивания растворов. После извлечения заготовки из последней ванны ее можно взять в

руки только после тщательного промывания струей воды в течение 1,5...2 минут.

При работе с ультразвуковой (УЗ) техникой запрещается непосредственный контакт человека с рабочей поверхностью источника ультразвука и с жидкой средой во время возбуждения в ней ультразвуковых колебаний (УЗК). Для защиты рук от неблагоприятного воздействия контактного ультразвука в твердых, жидких и газообразных средах необходимо применять нарукавники, рукавицы или перчатки (наружные резиновые и внутренние хлопчатобумажные).

Приступая к выполнению учебно-исследовательской лабораторной работы, студент обязан:

- подготовить рабочее место, проверить наличие средств технологического оснащения;
- проверить исправность установок, приспособлений и приборов. О любых неисправностях необходимо поставить в известность преподавателя, проводящего занятие, или учебного мастера;
- выполнять только ту работу, которая поручена ему преподавателем;
- знать места расположения средств пожаротушения и правила пользования ими;
- быть внимательным и аккуратным во время выполнения учебно-исследовательской лабораторной работы, не отвлекаться самому и не отвлекать других посторонними разговорами;
- не вмешиваться в работу студентов, выполняющих другую лабораторную работу.

По окончании работы все установки, приспособления и приборы должны быть отключены от источников питания, а рабочее место приведено в надлежащий порядок и сдано учебному мастеру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов С. А. Шлифовальные работы: учеб. для проф. учеб. заведений / С. А. Попов - М.: Высшая школа, 1999. - 384 с.
2. ГОСТ 12.2.009-99. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности. Введен 01.01.2001. - М., 2001. - 36 с.
3. СанПиН 2.2.4V2.1.8.582-96. Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения. Санитарные правила и нормы. Введены 31.10.1996. - М.: ИИЦ Минздрава России, 1997. - 46 с.

2. УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОДАЧИ СОЖ ЧЕРЕЗ КЛИНОВЫЕ ПОЛУОТКРЫТЫЕ НАСАДКИ К ТОРЦУ КРУГА ПРИ КРУГЛОМ НАРУЖНОМ ШЛИФОВАНИИ

2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальная оценка возможностей повышения производительности шлифования и качества обработанных деталей путем рационального применения СОЖ.

2.2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основными функциональными действиями СОЖ при шлифовании являются смазочное, охлаждающее, моющее, диспергирующее и демпфирующее [1]. Смазочное действие СОЖ заключается в уменьшении работы трения абразивных зерен, связки и отходов шлифования. Охлаждающее действие состоит в отводе теплоты от нагретых участков зоны шлифования и свободных поверхностей заготовки и круга за счет нагрева и парообразования СОЖ. Моющее действие СОЖ состоит в удалении частиц металла и продуктов износа абразивного инструмента с поверхностей круга, деталей станка и заготовки. Под диспергирующим действием СОЖ понимается пластифицирование и адгезионное понижение прочности материала заготовки. Демпфирующее действие СОЖ способствует снижению уровня колебаний элементов технологической системы. Во всех случаях реализация функциональных свойств СОЖ приводит к снижению теплосиловой напряженности и энергоемкости процесса шлифования и, как следствие, увеличению периода стойкости шлифовального круга и качества шлифованных деталей.

Позитивное влияние СОЖ на процесс шлифования состоит также в изменении теплофизических свойств шлифовального круга. Анализ целого ряда работ показывает, что даже при подаче СОЖ поливом шлифовальный круг за счет сил капиллярного напора пропитывается жидкостью, в результате чего изменяются его эффективные теплофизические свойства. Замещение воздуха в поровом пространстве шлифовального круга жидкостью существенно изменяет эффективные теплофизические характеристики шлифовального круга, что приводит к увеличению теплового потока, отводимого шлифовальным кругом, и соответственно к снижению теплового потока, поступающего в заготовку. Наибольшую объемную концентрацию жидкости в порах обеспечивает подача СОЖ сквозь поровое пространство круга.

Известно, что при шлифовании следует использовать жидкости, обладающие высокой теплоемкостью, теплопроводностью, скрытой теплотой парообразования, плотностью, низкой кинематической вязкостью, хорошими

смазочными свойствами, а также увеличивать расход СОЖ через зону контакта. Последнее реализуют путем совершенствования техники подачи СОЖ в зону обработки [1,2].

Графики на рис. 2.1 свидетельствуют, что с увеличением расхода СОЖ через заданные участки зоны контакта на этих участках уменьшается контактная температура. Это позволяет сделать вывод, что за счет перераспределения расхода СОЖ между участками зоны совмещенного и профильного шлифования можно обеспечить выравнивание тепловой напряженности процесса шлифования. Увеличение расхода СОЖ через зону контакта (как в целом, так и через заданные ее участки) и соответственно более полную реализацию функциональных свойств СОЖ обеспечивают путем рационализации способов и техники ее подачи (см. рис. 2.1).

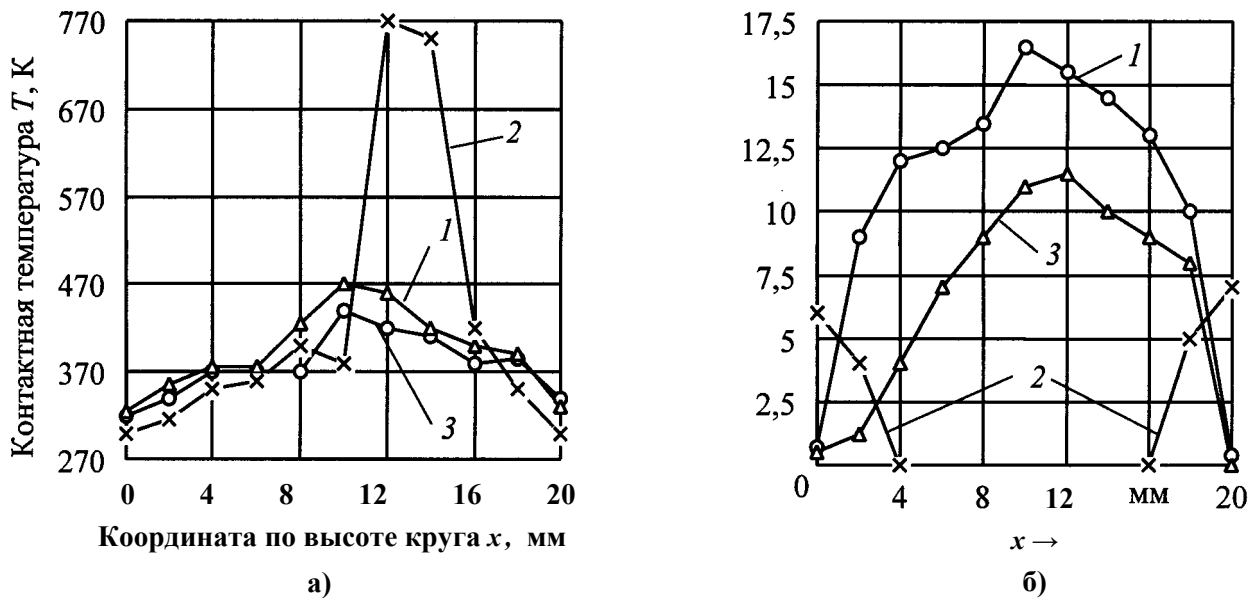


Рис. 2.1. Распределение контактной температуры (а) и давления СОЖ (б) по длине контакта при плоском шлифовании заготовки из стали 45 кругом 24A25CM1K7 с подачей 3 %-ного раствора кальцинированной соды с расходом $2,5 \text{ дм}^3/\text{мин}$ [3]: 1,2,3 - соответственно подача СОЖ поливом, на торцы круга, одновременно поливом и на торцы; $V_K = 28 \text{ м/с}$

При подаче СОЖ по внешним траекториям увеличению ее расхода через зону контакта шлифовального круга с заготовкой препятствуют воздушные потоки, генерируемые вращающимся кругом и создающие в зоне контакта «воздушный клин», давление воздуха в котором может достигать 84 кПа. Характер распределения скоростей воздушных потоков, генерируемых одиночным шлифовальным кругом при его вращении, существенно зависит от рабочей скорости круга, его диаметра, высоты и профиля [3].

При шлифовании кругом прямого профиля торцовые воздушные потоки создают наиболее неблагоприятные условия для доступа СОЖ в зоны, расположенные у торцев шлифовального круга. Из сопоставления скоростей воздушных потоков около вращающегося шлифовального круга (рис. 2.2) с эффективностью подачи СОЖ поливом (с кривой 1 на рис. 2.1) следует, что наиболее теплонапряженные участки зоны контакта расположены в зонах максимальных радиальных скоростей воздушных потоков.

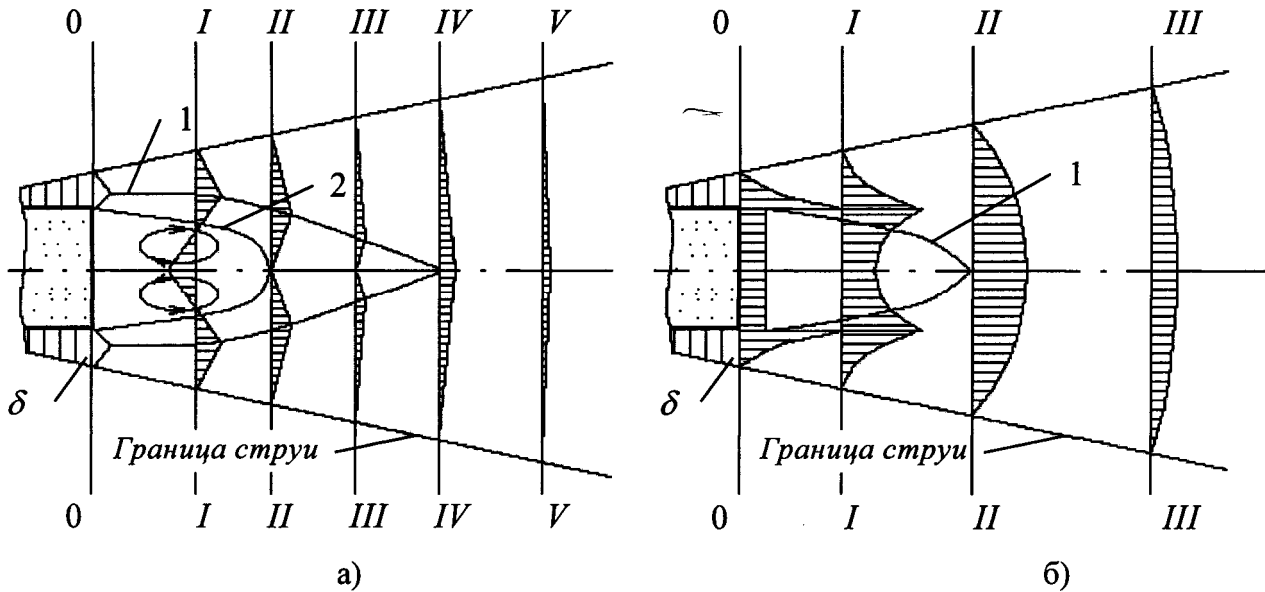


Рис. 2.2. Эпюры скоростей турбулентного воздушного потока около шлифовального круга в радиальном (а) и окружном (б) направлениях [3]: 1 - поверхность максимальных скоростей; 2 - замкнутая область циркуляционного потока

Особые трудности возникают на операциях скоростного и высокоскоростного шлифования, выполняемых на скоростях 50...80 м/с и более.

При шлифовании СОЖ можно транспортировать к зоне контакта, используя поверхности абразивного круга - периферийную, торцовые, поровое пространство круга на керамической связке, полые каналы в круге, а также обрабатываемые и необрабатываемые поверхности заготовки. Наибольшие трудности возникают при транспортировании СОЖ в зону торцового шлифования.

Выбор способа подачи СОЖ при шлифовании и вида энергетического воздействия зависит от конкретных условий выполнения технологической операции. Преимущество имеет тот способ, у которого больше число трактов подвода СОЖ к контактной зоне и более эффективное (в рассматриваемых условиях) энергетическое воздействие на СОЖ.

Основные способы подачи СОЖ и некоторые из них возможные комбинации с оценкой эффективности (на качественном уровне) приведены в табл. 2.1 [1].

Способ подачи СОЖ поливом (рис. 2.3, а, способ № 1) в клиновую зону, образованную абразивным кругом и шлифуемой поверхностью заготовки, относится к числу наиболее распространённых, что объясняется простотой его реализации и универсальностью. Эффективность подачи СОЖ поливом во многом зависит от степени заполнения жидкостью клиновой зоны между шлифовальным кругом и заготовкой.

Мощность жидкостного потока может быть повышена за счет увеличения его скорости вследствие увеличения перепада давления в напорной магистрали до момента формирования гидравлического клина в зоне обработки.

2.1. Способы подачи СОЖ при шлифовании и их эффективность

Номер способа	Способ подачи СОЖ	Число одно-временно подаваемых СОЖ	Действие СОЖ			
			смазочное	охлаждающее	по отношению к станку	
					к кругу	заготовке
Основные способы						
1	Поливом	1	Н	У	Н	Х
2	Напорной струей	1	У	Х	У	В
3	В распыленном состоянии	1	Н	У/Н	Н	Н
4	Струйно-напорный врезонный	1	Х	В	В	Х/В
5	Гидроаэродинамический	1	Х	В	Х/В	Х
6	Через торцовые насадки	1	В/Х	Н	У	Н
7	Через поры круга	1	В/Х	Н	У	Н
8	Через каналы в круге	1	В/Х	У/Н	Н	У/Н
9	В среде СОЖ	1	В	Х	У	У
10	Контактный	1	В/Х	Н	Н	У
11	Позаглавный	1*	С/В**	С/Н	С/Н	С/Н
Комбинированные способы						
12	№ 1 (№ 2) + № 7 (№ 8)	2; 1	О	У	У	Х
13	№ 1 (№ 2) + № 4	1	Х	В	В	В
14	№ 1 + № 6	1	Х	У	Х	Х
15	№ 1 (№ 2) + № 10	2	О/Х	У	О	Х
16	№ 4 + № 10	2	О	В	В	Х/В
17	№ 1 (№ 2) + № 5 и др.	1	Х	В	В/Х	В

* Последовательно используются две СОЖ.

** В числителе – на начальных этапах цикла шлифования, в зависимости от способа подачи СОЖ С принимает значения Н, У, Х, В; в знаменателе – при выхаживании или на другом завершающем этапе.

Примечание. Обозначение эффективности СОЖ: Н – незначительная; У – удовлетворительная; Х – хорошая; В – высокая; О – особо высокая.

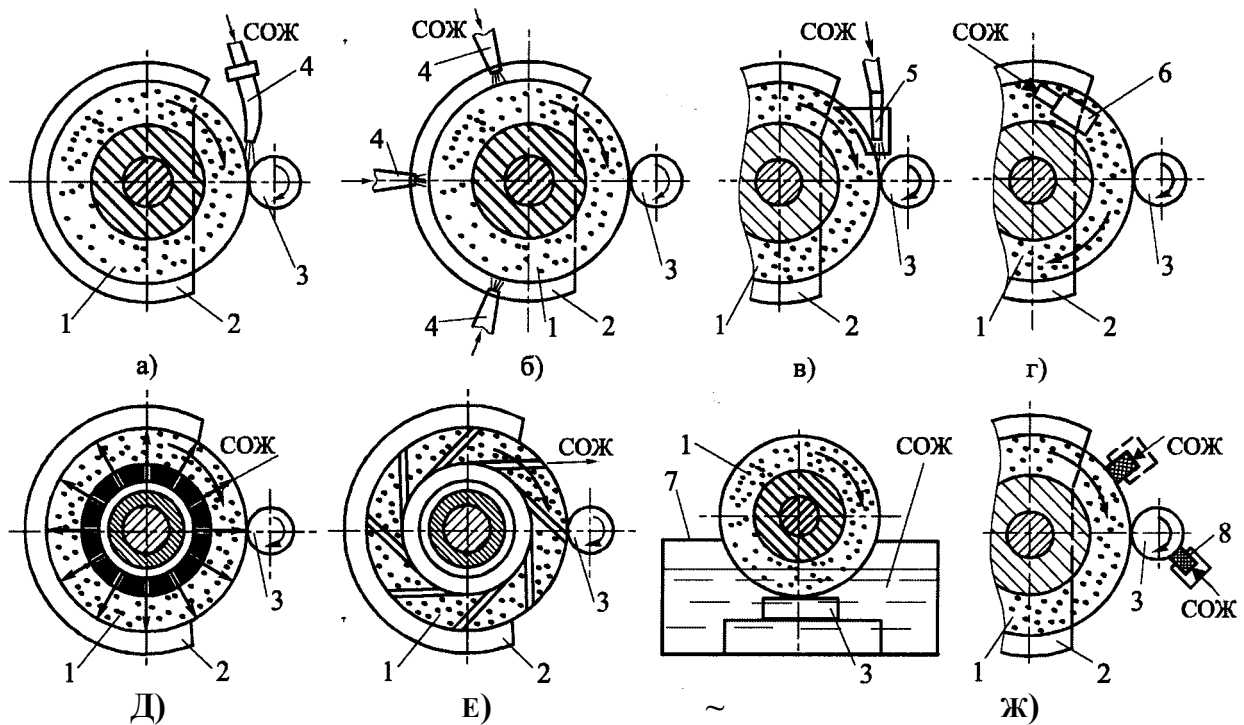


Рис. 2.3. Схемы основных способов подачи СОЖ при шлифовании: 1 - шлифовальный круг; 2 - кожух; 3 - шлифуемая заготовка; 4 - сопло; 5 - насадок; 6 - торцовый насадок; 7 - емкость с СОЖ; 8 - мягкий пористый материал, пропитанный смазкой

Дальнейшее повышение давления СОЖ в системе ее подачи усиливает моющее действие СОЖ по отношению к кругу, но в тоже время ухудшает санитарно-гигиенические условия на рабочем месте из-за разбрызгивания СОЖ. В настоящее время можно считать оправданным способ подачи СОЖ поливом только при обработке заготовок из легкошлифуемых материалов в единичном и мелкосерийном производстве. При круглом наружном, внутреннем и плоском шлифовании периферией круга расход СОЖ должен быть не менее $8...10 \text{ дм}^3/\text{мин}$ на каждые 10 мм длины контакта круга с заготовкой, при бесцентровом шлифовании - $3...6 \text{ дм}^3/\text{мин}$, при плоском шлифовании торцом круга - $10...15 \text{ дм}^3/\text{мин}$ на каждые 10 мм ширины сегмента или кольца. Здесь и далее нормы расхода СОЖ даны для шлифовании с окружной скоростью круга $V_k' = 35 \text{ м/с}$. С увеличением V_k' расход СОЖ следует увеличивать примерно прямо пропорционально отношению V_k'' и V_k' ($V_k'' > V_k'$).

Подача СОЖ напорной струей (рис. 2.3, а, способ № 2) в зону шлифования отличается от полива тем, что СОЖ подают под более высоким давлением - $1,0..2,5 \text{ МПа}$ и более. Увеличение давления приводит к увеличению скорости потока СОЖ и позволяет преодолевать сопротивление воздушных потоков, генерируемых шлифовальным кругом, благодаря чему обеспечивается транспортирование жидкости в зону шлифования и интенсифицируется отвод теплоты от шлифуемой заготовки. Однако, подача СОЖ под повышенным давлением приводит к усилению ее разбрызгивания, что требует надежной герметизации рабочей зоны станка.

Подачу СОЖ в распыленном состоянии (рис. 2.3, а, способ № 3) применяют при абразивной обработке, главным образом, на операциях заточки

режущего инструмента, шлифования крупногабаритных заготовок, правки шлифовальных кругов алмазными роликами, а также на операциях, выполнявшихся ранее всухую, так как энергия струи и расход жидкости недостаточны для оказания существенного влияния на процесс шлифования в других условиях.

Струйно-напорный внезонный способ подачи СОЖ (рис. 2.3, б, способ № 4) наиболее эффективен из всех основных способов (см. табл. 2.1). Струя СОЖ, обладая большой кинетической энергией (давление 2... 10 МПа и более), пробивает воздушные пограничные слои, генерируемые быстровращающимся шлифовальным кругом, и с достаточно большой силой воздействует на его рабочую поверхность вдали от зоны резания, очищая поры и абразивные зерна от отходов шлифования. При этом на поверхности круга образуются смазочные пленки. СОЖ подают на рабочую поверхность шлифовального круга вне зоны резания через одно или несколько сопел. При высоте шлифовального круга до 50 мм СОЖ подают через неподвижные многоканальные сопла с диаметром отверстий 0,5...0,8 мм. Для кругов большей высоты применяют подвижные сопла с одним или несколькими выходными отверстиями. В этом случае охлаждение заготовки осуществляют дополнительно через обычное сопло поливом. На практике этот способ подачи используют сравнительно редко из-за отсутствия надежных насосов высокого давления для подачи СОЖ и необходимости тщательной очистки подаваемой жидкости от механических примесей.

При подаче СОЖ гидроаэродинамическим способом (рис. 2.3, в, способ № 5) энергия воздушных потоков, создаваемых быстровращающимся шлифовальным кругом, используется для повышения скорости движения жидкостного потока относительно рабочей поверхности круга и шлифуемой заготовки. С помощью специальных устройств активированный поток СОЖ направляется на рабочую поверхность круга, очищая ее от налипов и отходов шлифования, и в зону контакта круга с заготовкой. Расход СОЖ - 5...8 дм³/мин на 10 мм длины контакта. Особенно эффективен этот способ при скоростном шлифовании. В последнее время появилось много разновидностей гидроаэродинамического способа.

Подача СОЖ через торцовые насадки по способу № 6 (см. рис. 2.3, г) оказывается весьма эффективной во многих случаях. СОЖ подается в зазор между торцовыми поверхностями насадка для подачи СОЖ и шлифовального круга. Определенные трудности возникают в связи с необходимостью выдерживать в жестких пределах зазор между торцом насадка и торцовой поверхностью круга.

Сущность подачи СОЖ через поры круга (рис. 2.3, д, способ № 7) и *через каналы в круге* (рис. 2.3, е, способ № 8) одинакова: СОЖ подводится во внутреннюю полость абразивного круга и при его вращении под действием центробежной силы и небольшого давления, необходимого для предотвращения фильтрационного закупоривания пор (при подаче СОЖ сквозь поры круга на керамической связке), проходит через поры или каналы на рабочую поверхность круга. При этом поры круга непрерывно промываются, и отходы обработки хорошо удаляются с его рабочей поверхности. Исключается вредное воздействие воз-

душных потоков, создаются условия для образования прочных смазочных пленок. При шлифовании заготовок из закаленных углеродистых сталей через поры круга подают масляную СОЖ с расходом примерно 3...5 г/мин на каждые 10 мм длины рабочей поверхности шлифовального круга. Через каналы в круге подают водные СОЖ с расходом ~ 2...4 дм³/мин на 10 мм длины контакта.

Способ подачи СОЖ через поры круга (№ 7) имеет и ряд недостатков: необходима достаточно высокая степень очистки СОЖ; способ неприменим для шлифования кругами на вулканитовых и бакелитовых связках, не имеющих сообщающихся пор, для исключения вытекания СОЖ через торцовые поверхности круга до зоны шлифования приходится закрашивать, заклеивать или заливать торцы круга. Из-за опасности возникновения структурного дисбаланса области применения способов № 7 и № 8 ограничиваются шлифованием кругами диаметром до 200...250 мм (внутреннее и плоское шлифование, заточка режущего инструмента).

Шлифование в среде СОЖ (рис. 2.3, ж, способ № 9) применяется пока сравнительно редко, главным образом при глубинном шлифовании на операциях вышлифовки стружечных канавок сверл, зенкеров, метчиков диаметром до 25 мм, а также при ленточном и плоском шлифовании и разрезании (отрезании) заготовок абразивными отрезными кругами.

Подача СОЖ контактным способом (рис. 2.3, з, способ № 10) позволяет непрерывно наносить на шлифуемую поверхность заготовки тончайший слой активного смазочного материала (например, эмульсола или концентрата синтетической или полусинтетической водной СОЖ) путем поджима к ней мягкого пористого материала, пропитываемого смазкой. Предпочтительно наносить этим способом высокоэффективные (но относительно дорогие) масляные СОЖ, твердые и пластичные СОТС (так как нет разбрызгивания и других потерь при общем расходе СОТС порядка 10...30 г/ч). Однако, охлаждающее действие СОЖ при подводе ее контактным способом к зоне шлифования невелико, поэтому способ № 10 используют в комбинации с другими способами подачи водных жидкостей, совместимых по составу с активным смазочным материалом.

Поэтапный способ (способ № 11) в принципе отличается от всех других способов подачи СОЖ, обеспечивая возможность полностью реализовать на одной операции шлифования технологический потенциал двух различных по составу СОЖ: на первых этапах цикла шлифования, когда снимается основная часть припуска и велико теплообразование, в зону обработки поливом или любым другим способом подают водную СОЖ. На завершающем этапе шлифования (например, при выхаживании), когда съем металла невелик и формируются показатели качества шлифованной детали, подачу водной СОЖ прекращают, а на шлифуемую поверхность заготовки наносят распылением или контактным способом тончайший слой масляной СОЖ (с расходом - 10 ... 15 г/ч на 10 мм длины шлифуемой поверхности). Поэтапный способ обеспечивает такую же производительность шлифования и качество шлифованных поверхностей деталей, как подача масляной СОЖ поливом в течение всего цикла шлифования; при этом расход масляной СОЖ ничтожен, что снимает препятствия санитарно

гигиенического и экономического плана, возникающие в случаях шлифования с подачей масляных СОЖ поливом.

В случае высокой напряженности процесса шлифования и высоких требований к качеству обработанных деталей применяют *комбинированные способы* (см. табл. 2.1).

Существенно интенсифицировать пропитку порового пространства шлифовального круга и увеличить расход СОЖ через зону контакта позволяет разработанная в УлГТУ УЗ техника подачи СОЖ (рис. 2.4). Многочисленными исследованиями показана высокая эффективность комбинированных способов, при которых дополнительно к подаче поливом СОЖ подают непосредственно в зону обработки через поры шлифовального круга с использованием УЗ техники. В этом случае стекающие по торцам шлифовального круга жидкостные пограничные слои замещают воздушные потоки, нейтрализуя их негативное воздействие, а расход СОЖ через участки контакта выравнивается (см. рис. 2.1).

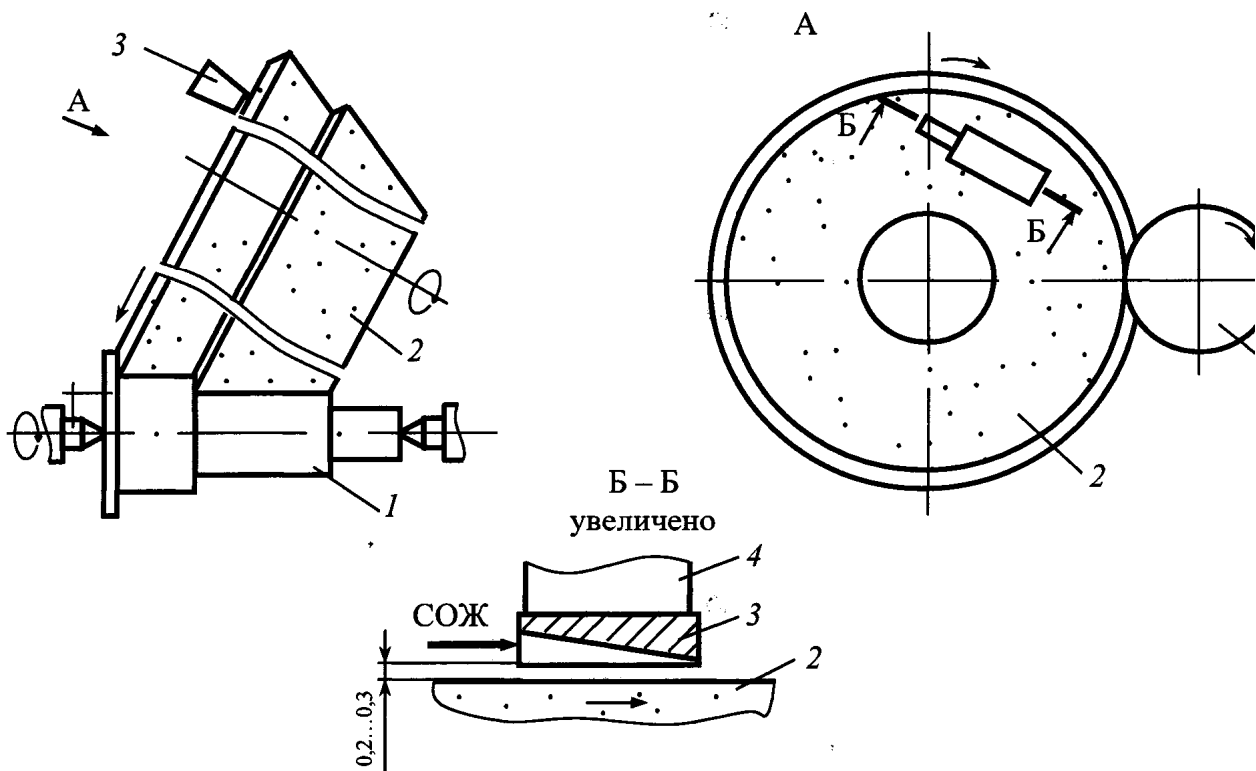


Рис. 2.4. Схема УЗ техники подачи СОЖ при совмещенном торцекруглом шлифовании: 1 - заготовка; 2 - шлифовальный круг; 3 - насадок для подачи СОЖ; 4 - преобразователь УЗК

В устройствах для подачи СОЖ с наложением УЗК СОЖ подают в полость клинового насадка 3 (см. рис. 2.4), сужающуюся в направлении подачи жидкости, совпадающем с направлением вращения шлифовального круга 2, что обеспечивает в зазоре между насадком и кругом режим гидродинамической смазки и способствует замене интенсивных торцевых воздушных пото-

ков, генерируемых вращающимся шлифовальным кругом, жидкостными. Последнее облегчает транспортирование СОЖ в контактные зоны при подаче ее поливом. Другая часть СОЖ проникает в поровое пространство шлифовального круга, затем под действием центробежных сил выбрасывается на его рабочую поверхность и поступает непосредственно в зону шлифования заготовки 7. УЗК, накладываемые на насадок с помощью преобразователя 4, способствуют интенсификации пропитки порового пространства шлифовального круга жидкостью.

Применение УЗ техники подачи СОЖ позволяет существенно увеличить расход жидкости через зону шлифования, причем в большей степени увеличивается расход через наиболее теплонапряженные участки рабочей поверхности круга вблизи его торцов, что особенно важно при совмещенном торцевом и профильном шлифовании.

Основной причиной, препятствующей увеличению расхода СОЖ через поровое пространство шлифовального круга, является закупоривание его пор пузырьками воздуха. Наложение УЗК на фильтрующуюся жидкость позволяет существенно ослабить негативное воздействие этого процесса, что связывают с кавитацией, в результате которой пузырьки воздуха последовательно проходят фазы растяжения, сжатия и захлопывания с образованием сферической ударной волны, «проталкивающей» СОЖ сквозь поровое пространство шлифовального круга.

Применение УЗ техники подачи СОЖ обеспечивает многократное увеличение расхода фильтрующейся жидкости. Изменяя параметры УЗ сигнала и конструктивные параметры полуоткрытого клиновидного насадка, можно обеспечить полную пропитку примыкающего к периферии порового пространства для кругов, высотой до 120 мм. Найдены оптимальные конструктивные и режимные параметры УЗ насадков для подачи СОЖ и координаты их размещения относительно зоны контакта. Установлено, что наибольший эффект достигается при избыточном давлении подаваемой СОЖ 0,05...0,07 МПа, при частоте УЗК 18...20 кГц, амплитуде 1,5... 10 мкм и зазоре между насадком и поверхностью шлифовального круга 0,07... 0,2 мм.

Между тем, резервом совершенствования УЗ устройств для подачи СОЖ остается оптимизация формы используемого в них УЗ сигнала. Так, по данным Л. Н. Зарембо и В. А. Красильникова [4], минимальный размер R_{0min} пузырька, способного кавитировать при заданной амплитуде звукового давления, может быть определен из условия разрыва жидкости:

$$P - P_0 > \frac{2}{3} \sqrt{\frac{8\sigma_{ж}^3}{3R_{0min}(P_0 + 2\sigma_{ж}/R_{0min})}} \quad (1)$$

где P_0 - гидростатическое давление жидкости, Па; P - амплитуда звукового давления, Па; $\sigma_{ж}$ - поверхностное натяжение жидкости, Н/м. R_{0max} определяется из условия резонанса:

$$\rho_{ж} (\omega R_{0max})^2 = 3\gamma(P_0 + 2\sigma_{ж}/R_{0max}), \quad (2)$$

где γ - постоянная, характеризующая свойства среды (для газов $\gamma = C_p/C_v$ -

отношение теплоемкостей при постоянном давлении и объеме); ω - резонансная частота пузырька, Гц:

$$\omega = R_0^{-1} \sqrt{3\gamma \left(P_0 + \frac{2\sigma_{жс}}{R_0} \right) \rho_{жс}^{-1}}, \quad (3)$$

где R_0 - начальный радиус пузырька, м.

Таким образом, в кавитацию вовлекаются пузырьки, размеры которых удовлетворяют условию

$$R_{0min} < R < R_{0max} \quad (4)$$

где R_{0min} определяется амплитудой звукового давления, а R_{0max} - частотой колебаний.

Чтобы обеспечить кавитацию пузырьков, имеющих различные начальные размеры R_0 , следует расширить как спектр частот колебаний насадка, так и диапазон амплитуд звукового давления. На практике это можно осуществить, накладывая на насадок модулированные по частоте, амплитуде или фазе колебания.

Модулированные колебания - это колебания с относительно медленным изменением амплитуды, частоты или фазы, таким, чтобы за период колебаний модулируемый параметр изменялся незначительно. При модуляции амплитуды синусоидальным сигналом уравнение, описывающее модулированное колебание, имеет вид

$$X = A_0(1 + m \sin \Omega \tau) \cdot \sin(\omega \tau + \varphi), \quad (5)$$

где A_0 - амплитуда исходного колебания параметра, м; $\omega = 2\pi f$, где f - циклическая частота, Гц; φ - начальная фаза исходного колебания, рад; Ω - частота модулирующих колебаний, рад/с; m - глубина модуляции, характеризующая степень изменения амплитуды:

$$m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} \quad (6)$$

где A_{max} и A_{min} - максимальное и минимальное значения амплитуды, м.

Амплитудно-модулированное колебание с синусоидальной модуляцией представляет собой сумму трех гармонических колебаний с частотами ω , $(\omega + \Omega)$ и $(\omega - \Omega)$. Колебание частотой ω называется несущим; его амплитуда равна амплитуде A_0 исходного колебания. Две другие частоты называются боковыми, амплитуда каждого из этих колебаний равна $mA_0/2$.

Присутствие в спектре амплитудно-модулированного сигнала гармонических колебаний с частотой $(\omega - \Omega)$ способствует вовлечению в процесс кавитации более крупных пузырьков, чем в случае использования смодулированного сигнала частотой ω .

При частотной модуляции модулирующий сигнал вызывает изменения мгновенных значений частоты, не влияя на амплитуду колебаний. При модуляции синусоидальным сигналом частота колебаний изменяется по закону

$$\omega = \omega_n + \Delta\omega \cos(\Omega\tau), \quad (7)$$

где ω_n - несущая частота, рад/с; $\cos(\Omega\tau)$, - определяет форму модулирующего сигнала; $\Delta\omega$ - девиация частоты, представляющая собой амплитуду отклонения частоты от несущей частоты.

Полоса частот частотно-модулированного колебания зависит от величины $\beta = \Delta\omega/\Omega$, которая называется индексом частотной модуляции. При $\beta \ll 1$ справедливо приближенное соотношение

$$X = A_0 [\sin(\omega\tau) + \beta \sin(\Omega\tau) \cdot \cos(\omega\tau)]. \quad (8)$$

Полную ширину полосы частот, занимаемую частотно-модулированным колебанием с девиацией $\Delta\omega$ и частотной модуляцией Ω , можно считать равной $(2\Delta\omega + 2\Omega)$. Эта полоса шире, чем при амплитудной модуляции колебаний.

Широкий спектр частот, занимаемый частотно-модулированным колебанием, очевидно, может способствовать и значительному расширению диапазона размеров пузырьков, способных кавитировать. Так, присутствие в этом спектре колебаний с минимальной частотой, как было показано выше, может вызвать кавитацию пузырьков, имеющих достаточно большие размеры. В то же время звуковое давление пропорционально колебательной скорости частиц, а та, в свою очередь, - частоте колебаний и амплитуде колебательного смещения частиц. Поэтому наличие в спектре колебаний с максимальной частотой должно способствовать вовлечению в процесс кавитации пузырьков, имеющих весьма малые размеры.

Таким образом, применение модулированных колебаний может привести к значительному увеличению диапазона размеров пузырьков, способных кавитировать, а следовательно, и к увеличению расхода СОЖ, проходящей сквозь поровое пространство абразивного круга в контактную зону при шлифовании. Увеличение расхода СОЖ, проходящей через зону контакта круга с заготовкой, приводит к уменьшению теплосиловой напряженности процесса шлифования, что, в свою очередь, способствует повышению качества поверхностного слоя шлифованных деталей: уменьшается вероятность возникновения прижогов, растягивающих остаточных напряжений, микротрещин. Одновременно появляется возможность увеличения производительности обработки либо за счет интенсификации элементов режима и сокращения основного времени t_0 в штучном $T_{шт}$ без опасения снижения заданного уровня качества шлифованных деталей, либо за счет увеличения периода стойкости инструмента и сокращения вспомогательного времени t_v , затрачиваемого на правку круга, при одновременном повышении качества поверхностного слоя шлифуемых заготовок.

2.3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ*

В процессе выполнения учебно-исследовательской лабораторной работы студенты экспериментальным путем в два этапа определяют технологическую эффективность круглого наружного шлифования заготовок с применением устройств для подачи СОЖ через клиновые полуоткрытые насадки к торцу круга.

Первый этап имеет целью установить технологическую эффективность шлифования заготовок из сталей 40Х, Р18, 12Х18Н10Т или других материалов с продольной подачей и использованием различных устройств для подачи СОЖ по критерию качества поверхностного слоя, оцениваемого по величине, глубине и знаку технологических остаточных напряжений и параметрам шероховатости (R_a или R_z).

Второй этап выполняется с оценкой производительности съема постоянного припуска с заготовки из стали ШХ15 при круглом наружном врезном шлифовании с использованием различных устройств для подачи СОЖ с определением (путем травления шлифованных образцов в растворах кислот) величины критической бесприжоговой врезной подачи шлифовального круга.

На первом этапе при строго постоянных режимах обработки шлифуют заготовки (образцы) из одного материала, осуществляя подачу СОЖ разными способами: поливом; одновременно поливом и с торцев круга через клиновые насадки; одновременно поливом и с торцев круга через клиновые насадки, на которые накладывают УЗК постоянной амплитуды и частоты; одновременно поливом и с торцев круга через клиновые насадки с наложением модулированных (по частоте или амплитуде) УЗК.

После шлифования образцы исследуют на измерительно-вычислительном комплексе СИТОН-АРМ для неразрушающего измерения технологических остаточных напряжений** и на приборе Калибр-283 для измерения параметров шероховатости шлифованных поверхностей.

На втором этапе при строго постоянных режимах обработки (кроме скорости врезной поперечной подачи) шлифуют образцы из стали ШХ15 (HRC 61...64), в той же последовательности изменяя условия (технику) подачи СОЖ. При этом в каждой серии экспериментов путем травления образцов в растворах кислот*** определяют величину максимально допустимой бесприжоговой врезной подачи абразивного круга. После шлифования на приборе Калибр-283 оценивают шероховатость шлифованных поверхностей.

* Ввиду большой трудоемкости работы, отдельные серии опытов могут быть исключены преподавателем.

** Описание и инструкция по эксплуатации ИВК СИТОН-АРМ приведены в работе [5] (учебно-исследовательская работа № 5).

*** Технология выявления прижогов в поверхностных слоях шлифованных заготовок при-ведена в работе [5] (учебно-исследовательская работа № 2).

2.3. Условия проведения экспериментальных исследований при шлифовании с врезной подачей

Характеристика круга	Заготовка			СОЖ			Элементы режима шлифования	
	Материал, твердость (HRC)	Длина шлифовой поверхности, мм	Операционный припуск, мм	Наименование и концентрация	Устройство для подачи	Расход, дм ³ /мин	Рабочая скорость круга V_K , м/с	Окружная скорость заготовки V_3 , м/мин

4) Проправить абразивный круг по режиму, приведенному в табл. 2.4.

2.4. Условия правки абразивного круга

Рабочая скорость круга, м/с	Скорость продольной подачи V_{spr} , м/мин	Поперечная подача $S_{пр}$, мм/ход	Число ходов	Периодичность	СОЖ	
					способ подачи	расход, дм ³ /мин
35	0,25	0,03	3	после обработки каждой заготовки	полив	20

5) Измерить исходные диаметры заготовки и круга и определить требуемые числа оборотов по заданной окружной скорости. Результаты измерений занести в табл. 2.5.

2.5. Результаты измерений и расчетов

№ серии	Круг		Заготовка		Шероховатость	
	диаметр, мм	число оборотов, об/мин	диаметр, мм	число оборотов, об/мин	R_a , мкм	R_z , мкм
0*						
1						
2						

* Точка 0 соответствует исходному состоянию заготовки и круга

6) Установить требуемые окружные скорости шлифовального круга и заготовки и выполнить исследования в последовательности, изложенной в табл. 2.6, соблюдая условия, приведенные в табл. 2.2 - 2.4.

2.6. Состав опытов при выполнении учебно-исследовательской лабораторной работы № 1 (в каждой серии 3 параллельных опыта)

№ эта-па	№ серии	Устройство для подачи СОЖ	Скорость врезной попереч- ной подачи V_i мм/мин	Ra , МКМ	Rz , МКМ	Техноло- гические остаточные напряжения на глубине 10 мкм, МПа
1	1	Поливом	–	Ra_1	Rz_1	σ_1
	2	Одновременно поливом и к торцу круга через клиновые полуоткрытые насадки	–	Ra_2	Rz_2	σ_2
	3	Одновременно поливом и к торцу круга через клиновые полуоткрытые насадки с наложением УЗК	–	Ra_3	Rz_3	σ_3
	4	Одновременно поливом и к торцу круга через клиновые полуоткрытые насадки с наложением модулированных УЗК	–	Ra_4	Rz_4	σ_4
2	1	Поливом	V_{11}	Ra_5	Rz_5	–
	2	Одновременно поливом и к торцу круга через клиновые полуоткрытые насадки	V_{12}	Ra_6	Rz_6	–
	3	Одновременно поливом и к торцу круга через клиновые полуоткрытые насадки с наложением УЗК	V_{14}	Ra_7	Rz_7	–
	4	Одновременно поливом и к торцу круга через клиновые полуоткрытые насадки с наложением модулированных УЗК	–	Ra_8	Rz_8	–

7) После обработки каждой заготовки измерить ее диаметр, шероховатость и остаточные напряжения (для шлифования с продольной подачей). Используя специальное приспособление (см. рис. 2.1 работы [5]), определить размерный износ круга и выполнить его правку. Результаты всех измерений занести в табл. 2.5.

8) После заполнения табл. 2.5 для всех серий опытов построить диаграммы зависимостей Ra , Rz , V_i от устройств для подачи СОЖ и графики зависимостей технологических остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя для каждого из устройств подачи СОЖ при шлифовании.

9) Проанализировать результаты и сделать выводы по работе.

10) Результаты исследований оформить в виде отчета.

2.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать титульный лист (приложение А), краткое изложение цели работы, таблицы состава опытов и результатов измерений, диаграммы, графики по результатам исследований и выводы. В выводах необходимо изложить причины полученных результатов и дать рекомендации по использованию устройств для подачи СОЖ при круглом наружном шлифовании стальных заготовок.

2.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

Назовите функциональные действия СОЖ при шлифовании. В чем суть проявления смазочного функционального действия СОЖ ? За счет чего можно усилить моющее функциональное действие СОЖ ? В чем проявляется охлаждающее функциональное действие СОЖ ? Насколько эффективно проявление диспергирующего действия СОЖ при шлифовании ?

На какие параметры качества оказывает влияние демпфирующее действие СОЖ?

Перечислите основные способы и устройства для подачи СОЖ при шлифовании.

Какие функциональные действия СОЖ усиливает использование той или иной техники подачи СОЖ ?

Каким образом техника подачи СОЖ влияет на производительность шлифования ?

Как техника подачи СОЖ может оказать влияние на качество (перечислите параметры) поверхностного слоя ?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник / Под общ. ред. Л. В. Худобина. - М.: Машиностроение, 2006. - 544 с.

2. Киселев Е. С. Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового поля: учебное пособие / Е. С. Киселев. - Ульяновск : УлГТУ, 2003. - 186 с.

3. Ефимов В. В. Научные основы техники подачи СОЖ при шлифовании. - Саратов: СГУ, 1985.-140 с.

4. Зарембо Л. Н. Введение в нелинейную акустику / Л. Н. Зарембо, В. А. Красильников. - М.: Наука, 1966. — 519 с.

6. Киселев Е. С. Научные основы и технология шлифования заготовок: сборник учебно-исследовательских лабораторных работ / Е. С. Киселев, В. Н. Ковальногов. - Ульяновск: УлГТУ, 2006. - 52 с.

7. Режимы резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах: справочник / Д. В. Ардашев, Д. Е. Анельчик, Г. И. Буторин и др. - Челябинск: Изд-во АТОСКО, 2007. - 384 с.

3. УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНИКИ ПОДАЧИ СОЖ ПРИ ГЛУБОКОМ СВЕРЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА В СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВКАХ

3.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Оценка возможности интенсификации функциональных действий СОЖ энергией УЗ поля.

3.2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Попытки использования энергии УЗ поля для интенсификации процессов механической обработки известны с конца тридцатых годов XX века.

Из основных эффектов использования энергии УЗ поля при механической обработке выделим:

- кавитацию - возникновение в жидкости массы пульсирующих пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью;
- звукокапиллярный эффект - аномально глубокое проникновение жидкости в капилляры и узкие щели под действием УЗК;
- распыление жидкости в колеблющемся с УЗ частотой слое жидкости или в УЗ фонтане на высоких частотах (десятки килогерц в слое, частоты мегагерцевого диапазона в фонтане);
- эффект снижения трения и увеличения пластичности как при параллельной, так и при нормальной ориентации колебательных смещений относительно граничной поверхности;
- дислокационное поглощение энергии УЗК материалом поверхностного слоя заготовки, способствующее снятию (релаксации) технологических остаточных напряжений.

Очевидно, что в чистом виде каждый из эффектов проявляться не может. В зависимости от условий взаимодействия контактирующих объектов одновременно проявляются минимум два, а при наличии жидкой среды и большее число эффектов. Однако при анализе условий контактирования объектов в УЗ поле всегда можно выделить основной (доминирующий) эффект (ы). Так, при транспортировании СОЖ сквозь поровое пространство абразивного круга на керамической связке увеличение расхода СОЖ через зону шлифования при наложении УЗК на торцовые клиновые насадки (см. учебно-исследовательскую лабораторную работу № 1) следует рассматривать как результат кавитационного (ликвидация паровоздушного закупоривания пор круга) и звукокапиллярного (аномально глубокое проникновение жидкости в капилляры) эффектов. Повышение твердости, уменьшение высотных параметров шероховатости и создание в поверхностном слое благоприятных технологических сжимающих остаточных напряжений при УЗ алмазном выгла-

живании (в существенно больших пределах по сравнению с обработкой без использования энергии УЗ поля) связано прежде всего с эффектом снижения трения и увеличением пластичности материала обрабатываемой заготовки.

Глубокое сверление отверстий малого диаметра (глубина отверстия L составляет более 10 его диаметров D при D до 8...10 мм) остается одним из «узких мест» в технологических процессах изготовления ответственных деталей машин (коленчатые валы, крепежные детали летательных аппаратов, детали аппаратуры впрыска топлива, систем охлаждения штампов, смазки трущихся пар и др.) вследствие интенсивного затупления и низкой стойкости спиральных сверл, а также большой вероятности их поломок, часто приводящих к необходимости электроэрозионного извлечения отломившейся части сверла из заготовки, либо к браку почти готового изделия.

Перспективным путем совершенствования технологии сверления отверстий малого диаметра является рациональное применение СОЖ, движение которой с увеличением глубины сверления все более затрудняется из-за забивания стружкоотводных канавок сверла стружкой. Последняя, из-за стесненных условий отвода тепла (малый диаметр инструмента, большие затраты на трение) интенсивно нагревается до высоких температур, вступает в адгезионное взаимодействие с поверхностями канавок сверла, уплотняется и практически прекращает движение жидкости в контактные зоны. Резание всухую (без СОЖ) еще более усугубляет процесс стружкообразования.

Наложение УЗК на элементы технологической системы (инструмент, заготовку) и СОЖ существенным образом изменяет условия контактирования объектов при глубоком сверлении. Наиболее значимый эффект состоит в уменьшении трения, а следовательно, крутящего момента $M_{кр}$ и составляющей силы сверления P_x (а значит и мощности теплообразования в зоне обработки) за счет периодического изменения величины и направления вектора скорости резания, углов инструмента (переднего γ_k , заднего α_k , наклона главной режущей кромки λ_k), толщины срезаемого слоя. Последнее увеличивает плотность капилляров в стружке, движущейся по канавкам сверла, и в зоне резания, по которым под действием УЗК (звукокапиллярный эффект) поступает большее количество СОЖ. Все это позволяет даже при малом расходе СОЖ через зону контакта инструмента с заготовкой реализовать в полной мере ее функциональные действия (смазочное, охлаждающее, диспергирующее и моющее) и предотвратить адгезионное взаимодействие стружки с поверхностями канавок сверла [1]. Модуляция УЗК позволяет еще в большей степени уменьшить коэффициент трения режущих кромок сверла о заготовку и усилить звукокапиллярный эффект [2].

3.3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Учебно-исследовательская лабораторная работа № 2 выполняется на экспериментальной установке, в основе которой находятся настольно-сверлильный станок НС-12 или вертикально-сверлильный станок 2Г125, ос-

нащенные аппаратурой для измерения составляющих силы резания и крутящего момента с помощью универсального динамометра УДМ-100, а также оригинальным устройством для одновременного наложения УЗК на сверло в радиально-осевом направлении и на СОЖ перед зоной обработки (рис. 3.1).

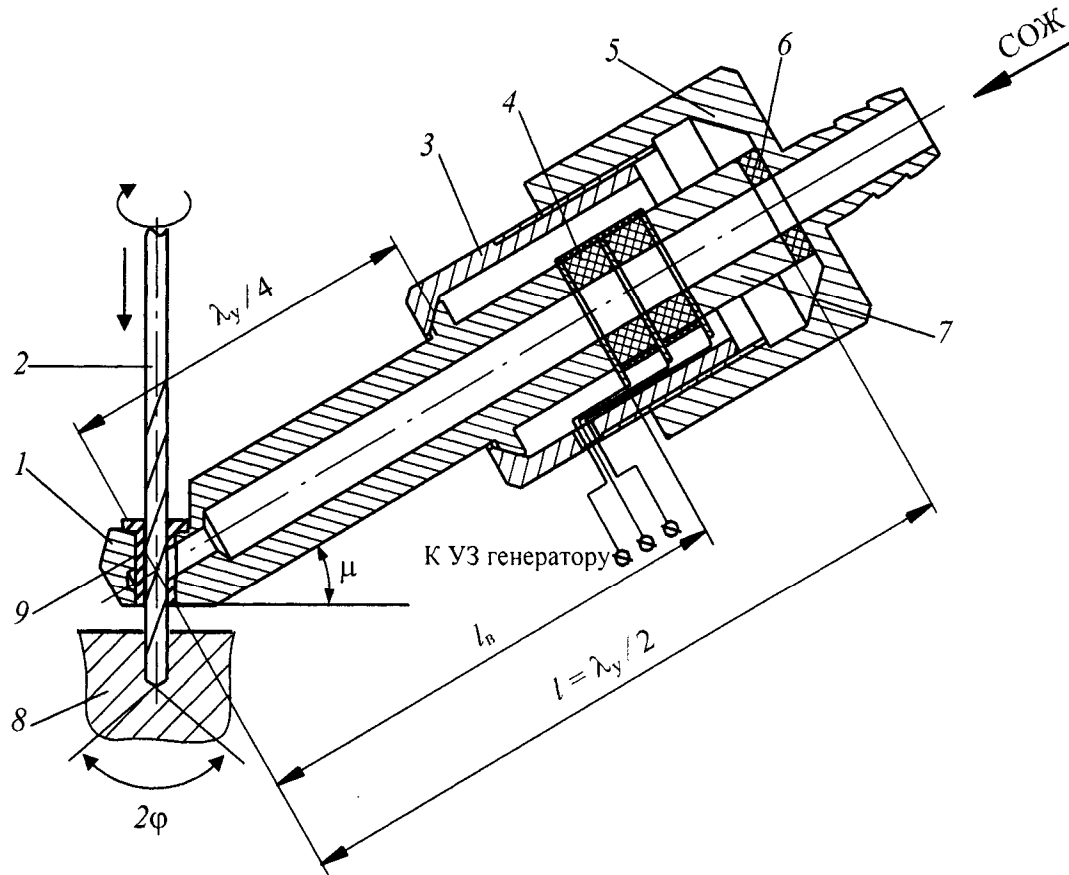


Рис. 3.1. Устройство для наложения УЗК на СОЖ и сверло: 1 - волновод; 2 - сверло; 3 - стакан; 4 - пьезопреобразователь; 5 - штуцер; 6 - прокладка; 7 - отражающая шайба; 8 - заготовка

Устройство состоит из концентратора-волновода 1 , в который запрессована кондукторная втулка 9 . Кроме бокового отверстия под кондукторную втулку 9 волновод 1 имеет центральное отверстие для подачи СОЖ к сверлу 2 . Штуцер 5 за конический буртик волновода 1 стаканом 3 стягивает пьезо-преобразователи 4 , прокладку 6 , отражающую шайбу 7 в одно целое. Таким образом, волновод 1 связан с двумя пьезопреобразователями-кольцами 4 , от которых упругие колебания, генерируемые УЗ генератором, передаются через кондукторную втулку 9 на сверло 2 и поток СОЖ, подаваемой через центральное отверстие волновода от электронасоса (помпы).

В процессе выполнения учебно-исследовательской лабораторной работы сверлят отверстия с подачей СОЖ поливом (через полый волновод) и наложением на сверло и СОЖ УЗК постоянной амплитуды и частоты или с наложением на сверло и СОЖ амплитудно- и амплитудно-частотно-модулированных УЗК.

УЗК различной формы (традиционно синусоидальной, амплитудно-модулированные и амплитудно-частотно-модулированные; рис. 3.2, табл. 3.1) накладываются от УЗ генератора ТЕХМА-3М.

3.1. Параметры УЗ сигнала, вырабатываемого УЗ генератором

Вид УЗ сигнала	Первый импульс*		Второй импульс		Частота следования импульсов, кГц
	Амплитуда $U_1, В$	Частота ω_1 , кГц	Глубина модуляции, %	Частота ω_2 , кГц	
Без модуляции	0...450	18,6	–		–
Амплитудная модуляция	0...450	18,6	80	18,6	1
Частотная модуляция**	0...450	20	25	12,5	1

* Форму сигнала см. на рис. 3.2.
 ** Так как насадки рассчитаны на резонансную частоту 18,6 кГц, то при импульсе с частотой, которая ближе всего к резонансной $\omega_1 = 20$ кГц (первый импульс), амплитуда

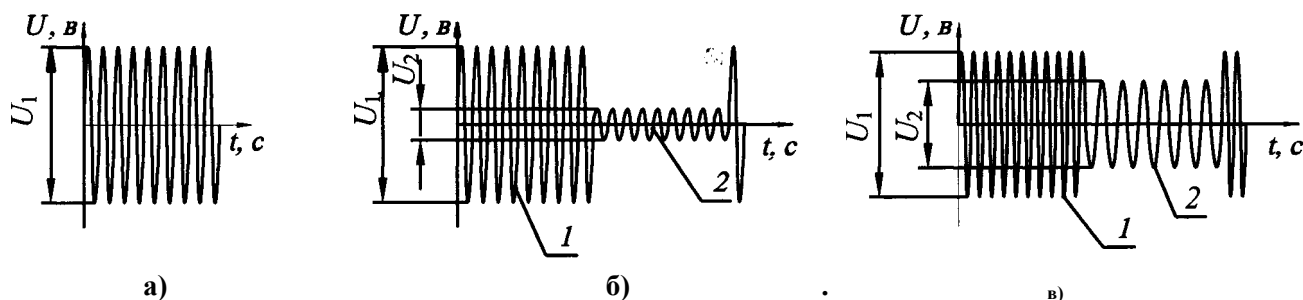


Рис. 3.2. УЗ сигнал, подаваемый на насадки: а - без модуляции, б — амплитудная модуляция, в - частотная модуляция; 1, 2 - первый и второй импульс

В процессе исследований осуществляется запись крутящего момента $M_{кр}$ и осевой составляющей силы резания P_x . Эффективность УЗ техники оценивается путем сравнения значений $M_{кр}$ и P_x по глубине сверления, зафиксированных в разных условиях подачи СОЖ к зоне обработки.

3.4. СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

-Станок вертикально-сверлильный 2Г125 или настольно-сверлильный НС-12, оснащенный электромеханическим бесступенчатым приводом осевой подачи сверла, с устройствами для подачи СОЖ с наложением УЗК на сверло и СОЖ.

- УЗ генератор ТЕХМА-3М.
- Универсальный динамометр УДМ-100.
- Персональный компьютер.
- Секундомер «Агат».
- Образцы из стали 40Х в виде параллелепипеда размерами 400 x 60 x 10 мм.
- Набор сверл $\varnothing 4,5$ мм.

3.5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с устройством экспериментальной установки.
- 2) Изучить устройство измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) на базе универсального динамометра УДМ-100 и персонального компьютера по описанию и паспорту.
- 3) Определить по нормативам [3] элементы режима глубокого сверления отверстий $\varnothing 4,5$ мм сверлом из стали Р18 в заготовках из стали 40Х ($L = 50$) и настроить станок на их выполнение. Условия обработки занести в табл. 3.2.

3.2. Условия проведения экспериментальных исследований

Длина обработки, мм	Диаметр отверстия, мм	Элементы режима			СОЖ	
		Скорость, резания, м/мин	Число - оборотов шпинделя, об/мин	Скорость осевой подачи, мм/мин	Наименование и концентрация	Расход, $\text{дм}^3/\text{мин}$

- 4) Выполнить исследования в последовательности, изложенной в табл. 3.3, соблюдая элементы режима и условия обработки.

3.3. Состав опытов при выполнении учебно-исследовательской лабораторной работы № 2 (в каждой серии 3 параллельных опыта)

№ серии	Устройство для подачи СОЖ	$M_{кр}$, Нм, на глубине отверстия, мм						P_x , Н, на глубине отверстия, мм					
		5	10	20	30	40	50	5	10	20	30	40	50
1	Поливом												
2	Поливом с наложением УЗК постоянной амплитуды и частоты на сверло и СОЖ												
3	Поливом с наложением амплитудно-модулированных УЗК на сверло и СОЖ												
4	Поливом с наложением амплитудно-частотно-модулированных УЗК на сверло и СОЖ												

- 5) После заполнения табл. 3.3 для всех серий опытов построить графики зависимостей $M_{кр}$ и P_x от глубины сверления
- 6) Проанализировать результаты и сделать выводы по работе.
- 7) Результаты исследований оформить в виде отчета.

3.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать титульный лист (приложение А), краткое изложение цели работы, таблицы состава опытов и результатов измерений, диаграммы, графики по результатам исследований и выводы. В выводах необходимо изложить причины полученных результатов и дать рекомендации по рациональным условиям выполнения операций глубокого сверления.

3.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

Назовите основные эффекты от использования энергии УЗ поля при механической обработке. Что такое кавитация ?

В чем сущность звукокапиллярного эффекта ?

При каких условиях происходит распыление жидкостей (образование аэрозолей) при наложении УЗК ?

Какие операции термической обработки можно заменить УЗ обработкой ?

Какие эффекты от использования УЗ поля могут быть востребованы при глубоком сверлении ? Какие при шлифовании ?

Чем отличается сигнал с постоянной амплитудой и частотой от модулированного ?

Какое сверление называется глубоким ?

В чем отличие теплонапряженности сверления сверлами малого диаметра?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев Е. С. Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового, поля: учебное пособие / Е. С. Киселев. - Ульяновск : УлГТУ, 2003. - 186 с.

2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Под ред. И. П. Голяминой. -М.: Советская энциклопедия, 1979. - 400 с.

3. Режимы резания металлов: справочник / Ю. В. Барановский, А. А. Брахман, А. И. Гдалевич и др. / Под ред. А. Д. Корчемкина. - М.: НИИТАвтопром, 1995. - 456 с.

4. УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В СОЖ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ШЛИФОВАНИИ, НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

4.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установление характера и степени влияния механических примесей, содержащихся в СОЖ, на высотные параметры шероховатости шлифованных поверхностей.

4.2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Чистота СОЖ и, прежде всего содержание (концентрация) в ней механических примесей, влияет на эффективность технологических операций как один из доминирующих факторов [1]. Загрязнение СОЖ отходами обработки, особенно абразивной, существенно снижает качество обработанных деталей, что в свою очередь приводит к необходимости снижения производительности обработки.

При шлифовании частицы механических примесей, попавшие вместе с СОЖ в зону контакта абразивного круга с заготовкой, вступают во взаимодействие с объектами процесса обработки. При этом некоторые из них вступают в силовой контакт с абразивными зёрнами и увеличивают нагрузку на них, что может привести к разрушению зёрен, а другие попадают во впадины между ними. Большая часть частиц взаимодействует со связкой круга и зёрнами, не контактирующими со шлифуемой поверхностью заготовки, так как количество режущих зёрен при шлифовании составляет примерно 10...12 % от количества абразивных зёрен, находящихся на рабочей поверхности круга. Разрушение связки усиливает изнашивание круга. С повышением концентрации механических примесей в СОЖ увеличивается число таких контактов с рабочей поверхностью круга, вследствие чего возрастает интенсивность его разрушения и затупления абразивных зёрен, а следовательно, скорость изнашивания абразивного круга, что приводит к уменьшению периода его стойкости [1].

В процессе шлифования поверхность круга становится все более ровной и наступает период стабильной его работы. С увеличением концентрации механических примесей в СОЖ период стабильной работы круга сокращается или вообще отсутствует. Более крупные частицы механических примесей глубже внедряются в обрабатываемую заготовку и интенсивнее разрушают и затупляют абразивные зёрна. Очень мелкие частицы не влияют на изнашивание шлифовального круга, но при большой их концентрации уменьшается зазор между кругом и заготовкой и увеличивается динамическая вязкость

СОЖ, в результате чего снижается ее расход через зону резания, что отрицательно влияет на эффективность шлифования [1,2].

На работоспособность круга заметное влияние оказывает твердость частиц. Металлические частицы, на долю которых приходится 80...98 % всей массы шлифовального шлама [2], вступая в контакт с абразивными зернами и связкой, деформируются и меньше внедряются в шлифовальный круг и изнашивают его, чем гораздо более твердые абразивные частицы. Однако металлические частицы активно налипают на рабочую поверхность круга, что приводит к снижению его режущей способности; Степень влияния содержащихся в СОЖ механических примесей на процесс шлифования зависит от материала обрабатываемой заготовки: с ухудшением обрабатываемости материала скорость изнашивания круга резко возрастает [1].

С уменьшением зернистости шлифовальных кругов в силовой контакт с абразивными инструментами вступает все большее число частиц механических примесей, которые могут разместиться в межзерновом пространстве круга. Уменьшаются расход СОЖ через зону шлифования и количество частиц, попадающих в зону контакта. Эти два фактора противодействуют, причем более твердые круги изнашиваются менее интенсивно [1,2].

С интенсификацией режима шлифования процесс изнашивания круга изменяется в сторону самозатачивания. При этом темп роста скорости изнашивания круга в зависимости от скорости врезной подачи при шлифовании с применением СОЖ, содержащих различное количество примесей, примерно одинаков, однако доля изнашивания абразивного круга под действием механических примесей, содержащихся в СОЖ, уменьшается. Механические примеси не только разрушают рабочую поверхность круга, но и в некоторых случаях способствуют удалению налипшего на абразивные зерна металла, вследствие чего круг засаливается меньше. Одновременно металлические частицы забивают поры круга, увеличивая глубину засаливания.

Таким образом, загрязнение СОЖ механическими примесями оказывает отрицательное влияние на работоспособность кругов и качество обработанных деталей [2].

Глубина и количество царапин, наносимых на шлифуемую поверхность заготовки твердыми частицами, содержащимися в СОЖ, зависят от размеров, твердости и концентрации примесей в жидкости. Влияние примесей на качество шлифованных деталей связано также с продолжительностью обработки. На начальной стадии шлифования, когда влиянием изнашивания круга на шероховатость обработанной поверхности можно пренебречь, количество царапин возрастает линейно с увеличением концентрации механических примесей в СОЖ. Гораздо более твердые абразивные частицы оставляют более глубокий след на шлифованной поверхности, поэтому с повышением содержания в СОЖ абразивных частиц количество и глубина царапин возрастают при любых концентрациях примесей. Глубина царапин при постоянном составе примесей с возрастанием их концентрации в СОЖ увеличивается незначительно [1,2].

С ростом концентрации механических примесей в СОЖ высотные параметры шероховатости шлифованной поверхности увеличиваются, причем с повышением скорости врезной подачи круга относительное влияние концентрации примесей на эти параметры уменьшается. Существует пороговое значение концентрации примесей в СОЖ, ниже которого влияние примесей на шероховатость обработанной поверхности незначительно. Так, при шлифовании стальных заготовок кругами из электрокорунда 25 зернистости и более таким пороговым значением является 0,1 г/л [1].

При силовом контакте механических частиц с абразивными зёрнами круга повышается контактная температура и появляются прижоги на шлифуемой поверхности. Увеличение расхода СОЖ через зону шлифования при увеличении в ней концентрации механических примесей также способствует росту контактной температуры. В результате повышение концентрации примесей в СОЖ приводит к уменьшению периода стойкости круга по критерию прижогообразования, причем при шлифовании торцовых поверхностей влияние примесей на прижогообразование (при торцециркулярном шлифовании) сильнее, чем при шлифовании цилиндрических поверхностей, несмотря на меньшую (обычно в 2 раза) скорость съема припуска [1,2].

4.3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ*

Учебно-исследовательская лабораторная работа № 3 выполняется в три этапа**.

На первом этапе в процессе шлифования используется СОЖ, искусственно загрязненная абразивным порошком. Последовательно увеличивается концентрация абразивных частиц и оценивается их влияние на высотные параметры шероховатости шлифованных поверхностей.

На втором этапе используется СОЖ, искусственно загрязненная металлическими частицами. Последовательно увеличивается их концентрация и также осуществляется оценка их влияния на высотные параметры шероховатости шлифованных поверхностей.

Наконец, на третьем этапе для загрязнения СОЖ используется искусственно приготовленный (по известным соотношениям абразивной и металлической составляющих) или реальный шлам. Повторяются предыдущие серии и после анализа экспериментальных исследований делаются выводы.

Все опыты выполняются при подаче водной СОЖ (синтетической, полусинтетической или эмульсии) в зону шлифования с постоянным расходом 15...20 дм³/мин.

Экспериментальная установка создана на базе широкоуниверсального шлифовального станка ЗУ 110ВФ2, на котором возможна обработка как круг-

* При написании этого раздела использована методика экспериментальных исследований диссертационных исследований из кандидатской диссертации В.В. Богданова.

** Ввиду большой трудоемкости учебно-исследовательской лабораторной работы, отдельные серии опытов могут быть исключены преподавателем.

лым наружным (в центрах), так и внутренним шлифованием (в патроне). Станок оснащен экспериментальным устройством для загрязнения СОЖ механическими примесями в процессе обработки, общий вид которой представлен на рис. 4.1.

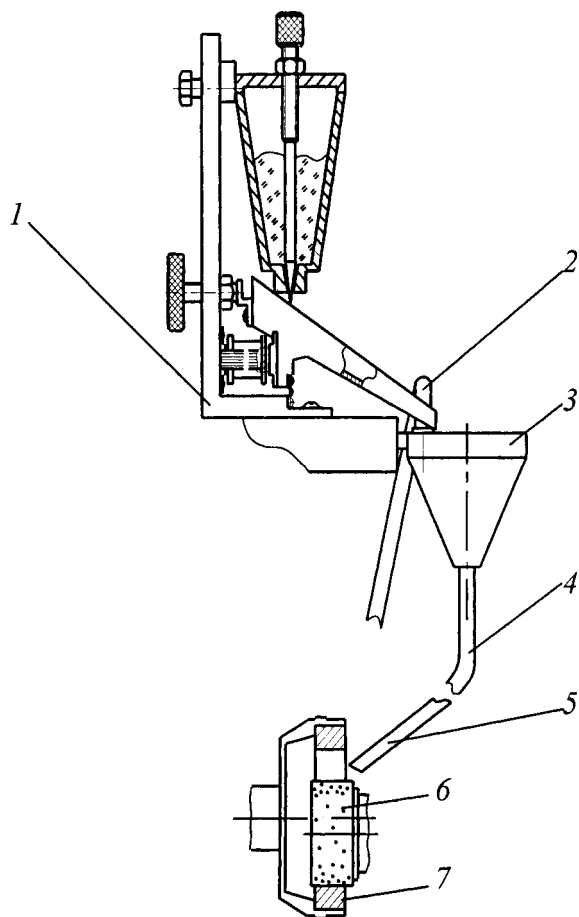


Рис. 4.1. Устройство для загрязнения СОЖ механическими примесями в процессе шлифования: 1 - стойка с дозатором; 2 - патрубок для подвода СОЖ от электронасоса; 3 - воронка-смеситель; 4 - трубопровод для подачи загрязненной СОЖ; 5 - патрубок-сопло для подачи СОЖ в зону шлифования; 6 - шлифовальный круг; 7 - заготовка

Устройство работает следующим образом. Из дозатора 1 в воронку-смеситель 3 поступают механические примеси. Воронка-смеситель 3 омывается через кольцо-распределитель СОЖ, которая поступает от электронасоса (помпы) через патрубок 2. В воронке-смесителе 3 механические примеси смешиваются с основным потоком СОЖ, вследствие чего приготавливается суспензия необходимой концентрации, которая движется через трубопровод 4 и патрубок-сопло 5 в зону шлифования.

Наиболее важным элементом устройства является дозатор (рис. 4.2), который состоит из стойки 1 и укрепленных на ней бункера 3, лотка 6, электромагнита 5 и регулировочного винта 8. Лоток 6 соединен со стойкой пружиной 7. Бункер 3 снабжен наконечником, предназначенным для установки сменной фильеры 4. Через бункер 3 и отверстие в фильере 4 проходит стержень 3, который упирается в вибралоток 6.

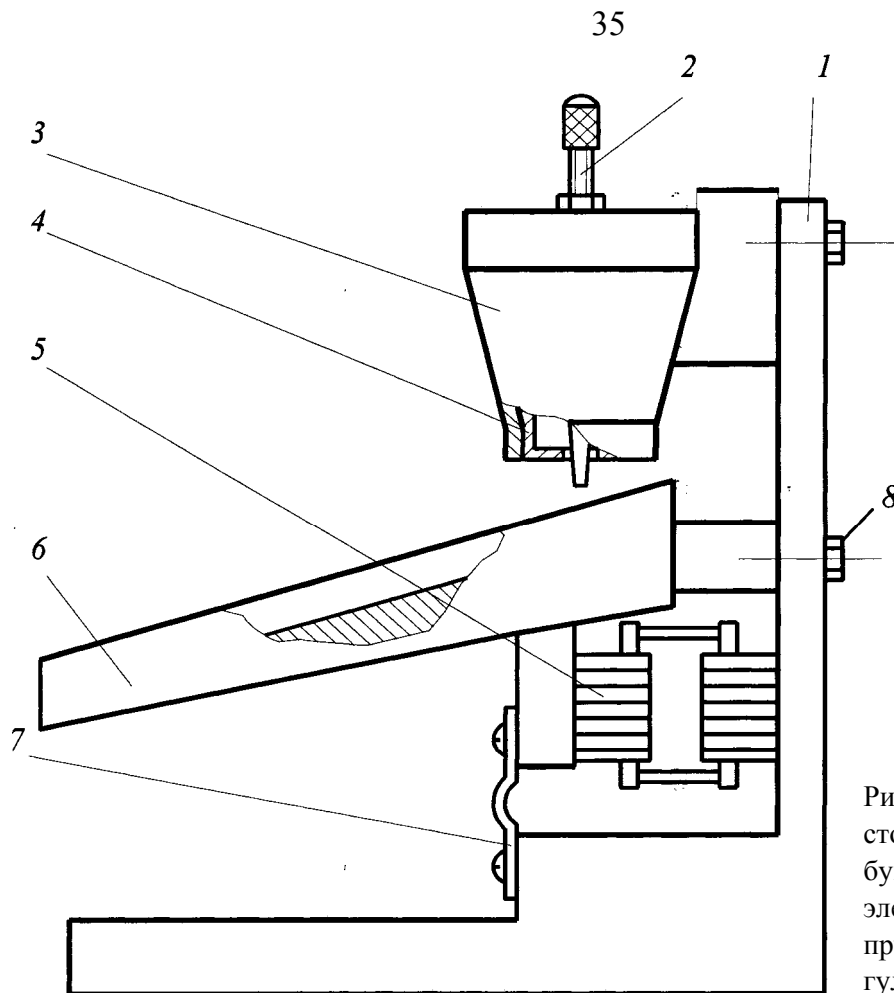


Рис. 4.2. Схема дозатора: 1 - стойка; 2 - стержень; 3 - бункер; 4 - фильера; 5 - электромагнит; 6 - лоток; 7 - пружина; 8 - регулировочный винт

Дозатор работает при напряжении 220 В, подаваемом на электромагнит. Экспериментально установлено, что оптимальные значения напряжения, при которых обеспечивается стабильная работа дозатора, находятся в пределах 120...150 В.

Оптимальное значение зазора электромагнита, равное 0,5...1 мм, устанавливается винтом 8.

Для подачи в СОЖ различного количества механических примесей, средние значения которых варьируются при исследованиях от 5 до 320 мкм, используются сменные фильеры. Диаметр отверстия в фильере варьируется от 0,5 до 2 мм и подбирается опытным путем в зависимости от количества и размеров частиц подаваемых механических примесей.

Толщина фильеры 4 подбирается экспериментально и не должна превышать 0,3 мм.

В процессе работы дозатора, в результате вибрации наблюдается уплотнение подаваемого шлама или абразивного порошка. Для предотвращения уплотнения в бункере 3 устанавливается стержень 2, который, проходя через отверстие в фильере 4, упирается в лоток 6. Этим достигается постоянное рыхление шлама в бункере 3 и равномерная подача его через фильеру 4.

Напряжение подается на электромагнит 5, который сообщает колебания стойке 7, а вместе с ней и бункеру 3 и лотку 6. Шлам или абразивный порошок под действием вибрации поступает через отверстие в фильере 4 на лоток 6 (см. рис. 4.2), который также колеблется и перемещает шлам по на-

клонной поверхности в воронку-смеситель 3 (см. рис. 4.1) устройства для загрязнения СОЖ.

Поскольку основное влияние на шероховатость шлифованных поверхностей оказывают содержащиеся в шламах абразивные частицы, а металлические частицы практически не влияют на изменение шероховатости, оказывая доминирующее влияние лишь на засаливание шлифовальных кругов, для обеспечения стабильности размеров частиц загрязнений, используемых при исследованиях, применяли абразивные порошки электрокорунда белого 24А зернистостей 12, 16, 32 (табл. 4.1).

4.1. Абразивные порошки (ГОСТ 3647-71)

№	Зернистость	Средний размер частиц d , мкм
1	32	250...320
2	16	125...160
3	12	80...125

При выполнении лабораторной работы принимают содержание абразивной компоненты в шламе 10 % (усредненные данные), что необходимо учитывать при настройке экспериментального оборудования.

4.4. СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

- Широкоуниверсальный шлифовальный станок ЗУ110ВФ2, оснащенный устройством для загрязнения СОЖ механическими примесями в процессе шлифования.

- Профилометр «Калибр-283».

- Секундомер «Агат».

- Штангенциркуль ШЦ-Ш, ГОСТ 162-90.

- Образцы заготовок из легированных сталей (3Х3МЗФ, ШХ15, Р18 и др.), общий вид которых показан на рис. 4.3.

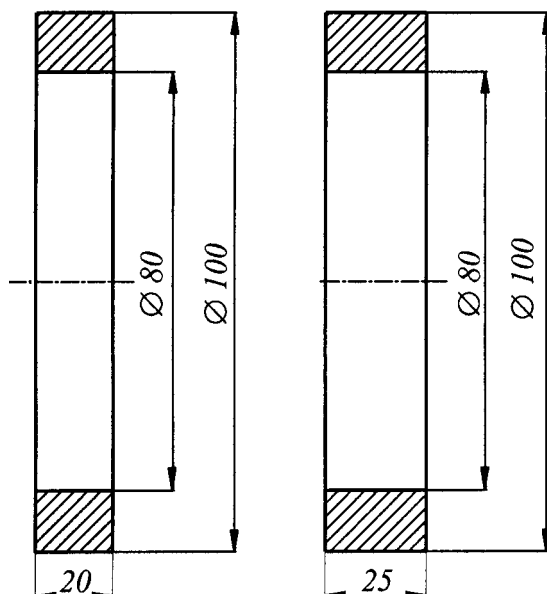


Рис. 4.3. Образцы заготовок для экспериментальных исследований

4.5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с устройством экспериментальной установки.
- 2) Изучить устройство для загрязнения СОЖ механическими примесями.
- 3) Определить по нормативам [3] элементы режима шлифования и характеристику круга из представленных в табл. 4.2 для предложенного преподавателем материала заготовки.

4.2. Номенклатура кругов 1-70x20x20 для внутреннего шлифования стальных заготовок

№ круга	Характеристика	№ круга	Характеристика
1	24A8HСM17K5	5	24A8CT17K5
2	24A16СM17K5	6	24A40CT17K5
3	24A25HСM17K5	7	24A8C17K5
4	24A40HСM17K5	8	24A40C17K5

- 4) Условия обработки занести в табл. 4.3.

4.3. Условия проведения экспериментальных исследований (условия правки см. в табл. 2,3)

Характеристика круга 1-70x20x20	Заготовка			СОЖ		Элементы режима шлифования				
	Материал, твердость	Длина шлифуемой поверхности, мм	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Наименование и концентрация	Расход, дм ³ /мин	Операционный припуск, мм	Рабочая скорость шлифования, м/с	Окружная скорость заготовки, м/мин	Скорость продольной подачи, м/мин	Врезная подача, мм/ход

- 5) Выполнить исследования в последовательности, изложенной в табл. 4.4, соблюдая элементы режима и условия обработки, приведенные в табл. 4.3.

4.4. Состав опытов при выполнении учебно-исследовательской лабораторной работы № 3 (в каждой серии 3 параллельных опыта)

№ и содержание этапа исследований*	№ серии	Концентрация примесей С, г/дм ³	Средний диаметр частиц примесей, мкм (постоянный)	Параметры шероховатости, мкм		
				Ra	Rz	Rmax
1	2	3	4	5	6	7
1. Загрязнение СОЖ абразивным порошком	1.1	0,2				
	1.2	0,4				
	1.3	0,8				
	1.4	1,2				
	1.5	1,6				
	1.6	2				

1	2	3	4	5	6	7
2. Загрязнение СОЖ металлическими частицами	2.1	0,2				
	2.2	0,4				
	2.3	0,8				
	2.4	1,2				
	2.5	1,6				
	2.6	2				
3. Загрязнение СОЖ шлифовальным шламом	3.1	0,2				
	3.2	0,4				
	3.3	0,8				
	3.4	1,2				
	3.5	1,6				
	3.6	2				
* После выполнения каждого этапа СОЖ подлежит замене с тщательной очисткой бака отстойника от механических примесей.						

6) После заполнения табл. 4.4 для всех этапов построить графики зависимостей $Ra = f(C)$, $Rz = f(C)$, $R_{max} = f(C)$.

7) Проанализировать результаты и сделать выводы по работе.

8) Результаты исследований оформить в виде отчета.

4.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать титульный лист (приложение А), краткое изложение цели работы, таблицы состава опытов и результатов измерений, графики полученных зависимостей и выводы. В выводах необходимо изложить причины полученных результатов.

4.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

Каким образом механические примеси, содержащиеся в СОЖ, оказывают влияние на качество шлифованных деталей и работоспособность абразивных кругов ?

На что, главным образом, оказывает влияние наличие в СОЖ абразивных частиц ?

На какой показатель эффективности шлифования оказывает влияние наличие в СОЖ металлических частиц ?

Существует ли взаимосвязь между наличием в СОЖ механических примесей и теплосиловой напряженностью шлифования ? В чем она проявляется, если существует ?

От чего зависят глубина и количество царапин, наносимых на шлифуемую поверхность заготовки ?

Какова взаимосвязь между концентрацией механических примесей в СОЖ и параметрами шероховатости обработанной детали, а также периодом стойкости круга ?

Существует ли взаимосвязь между интенсификацией режимов шлифования и влиянием содержания механических примесей в СОЖ на параметры шероховатости обработанной детали, прижообразование ?

От чего зависит степень влияния содержащихся в СОЖ механических примесей на процесс шлифования и почему ?

Зависит ли степень влияния механических примесей, содержащихся в СОЖ, на шероховатость шлифованных поверхностей от зернистости круга ?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник / Под общ. ред. Л. В. Худобина. - М.: Машиностроение, 2006. - 544 с.

2. Булыжев Е. М. Ресурсосберегающее применение смазочно-охлаждающих жидкостей при металлообработке / Е. М. Булыжев, Л. В. Худобин. -М.: Машиностроение, 2004. - 352 с.

3. Режимы резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах: справочник / Д. В. Ардашев, Д. Е. Анельчик, Г. И. Буторин и др. - Челябинск: Изд-во АТОСКО, 2007.- 384с.

5. УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПЛОСКОГО ТОРЦОВОГО ШЛИФОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЖ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ И ТЕХНИКИ ИХ ПОДАЧИ

5.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Оценка степени влияния составов и техники подачи СОЖ при плоском торцовом шлифовании на тепловое состояние заготовки и шлифовального круга.

5.2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Шлифование всегда сопровождается повышенным теплообразованием в зоне контакта инструмента с заготовкой. Выделившаяся теплота нередко оказывает определяющее влияние на температурное состояние заготовки и инструмента и, как следствие, на производительность обработки, работоспособность и стойкость инструмента, точность обработки и качество поверхностных слоев обработанных деталей (включая распределение технологических остаточных напряжений, структурно-фазовые изменения, прижоги и микротрещины в поверхностном слое).

Все это требует от технологов и исследователей умения достаточно точно прогнозировать тепловое состояние заготовки и инструмента в процессе шлифования, а также управлять этим тепловым состоянием путем рационального назначения технологических условий обработки. Значимость этих задач возрастает в связи с такими тенденциями и закономерностями технического прогресса в машиностроении, как переход на высокопроизводительное резание со сверхвысокими скоростями, ужесточение требований к качеству поверхностного слоя деталей, переориентация на ограниченное применение СОЖ, увеличение доли труднообрабатываемых конструкционных материалов со специальными свойствами.

Многие задачи теплофизического анализа процессов механической обработки не поддаются точному аналитическому решению либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию. Эффективной (а зачастую единственной) возможностью решения таких задач является компьютерное математическое моделирование. Рост возможностей и быстродействия современной вычислительной техники наряду с развитием численных методов и соответствующего программного обеспечения позволил существенно расширить круг задач, решаемых с помощью компьютерного моделирования.

В соответствии с современными представлениями, теплофизический анализ технологических операций должен быть основан на совместном решении дифференциальных уравнений теплопроводности каждого из контактирующих объектов (инструмента и заготовки), с общим граничным

условием в зоне контакта [1]. Это позволяет исключить использование в расчетах информации о распределении тепловых потоков между контактирующими объектами, вносящей существенную погрешность в результаты анализа.

Именно такой подход реализован авторами настоящего сборника в виде программного комплекса для расчета температурных полей в заготовке и шлифовальном круге при плоском торцовом шлифовании, отличающемся повышенной теплосиловой напряженностью [2].

5.3. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ЗАГОТОВКЕ И ШЛИФОВАЛЬНОМ КРУГЕ ПРИ ПЛОСКОМ ТОРЦОВОМ ШЛИФОВАНИИ

Программный комплекс реализует численное решение методом конечных элементов системы из двух дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности (заготовки и шлифовального круга) с учетом геометрических, физических, начальных и граничных условий однозначности [1]. Подробное описание математической модели и расчетной методики, заложенных в программный комплекс, дано в справочном руководстве к нему, а также в статье [2] и монографии [1].

Программный комплекс состоит из двух модулей: интегрированного в систему трехмерного моделирования SolidWorks модуля пре- и постпроцессора, а также расчетного модуля. Первый модуль обеспечивает возможность создания геометрических моделей шлифовального круга и заготовки, генерации расчетных элементов и визуализации результатов расчета.

Второй модуль собственно реализует методику численного решения системы дифференциальных уравнений, а также позволяет изменять исходные данные (физические, начальные и граничные условия однозначности).

Для работы программного комплекса требуется наличие операционной системы Windows-95, 98 и пакета SolidWorks версии 2000 и выше.

Ниже изложен порядок работы с программным комплексом.

После установки программного комплекса в стандартном меню Solid-Works появляется меню «Теплоанализ» (рис. 5.1). В режиме препроцессора необходимо выполнить следующие этапы: создать геометрические модели шлифовального круга и заготовки, сгенерировать расчетные элементы и сохранить результаты работы препроцессора в файл данных.

Для создания геометрической модели шлифовального круга следует выбрать пункт меню «Создать круг...», после чего в открывшемся окне (рис. 5.2, а) задать параметры шлифовального круга и нажать кнопку ОК. Созданная в соответствии с заданными параметрами модель круга отобразится в главном окне SolidWorks. Для создания геометрической модели заготовки следует выбрать пункт меню «Создать заготовку...», после чего в открывшемся окне (рис. 5.2, б) задать параметры заготовки и нажать кнопку ОК. Созданная в соответствии с заданными параметрами модель заготовки отобразится в главном окне SolidWorks.

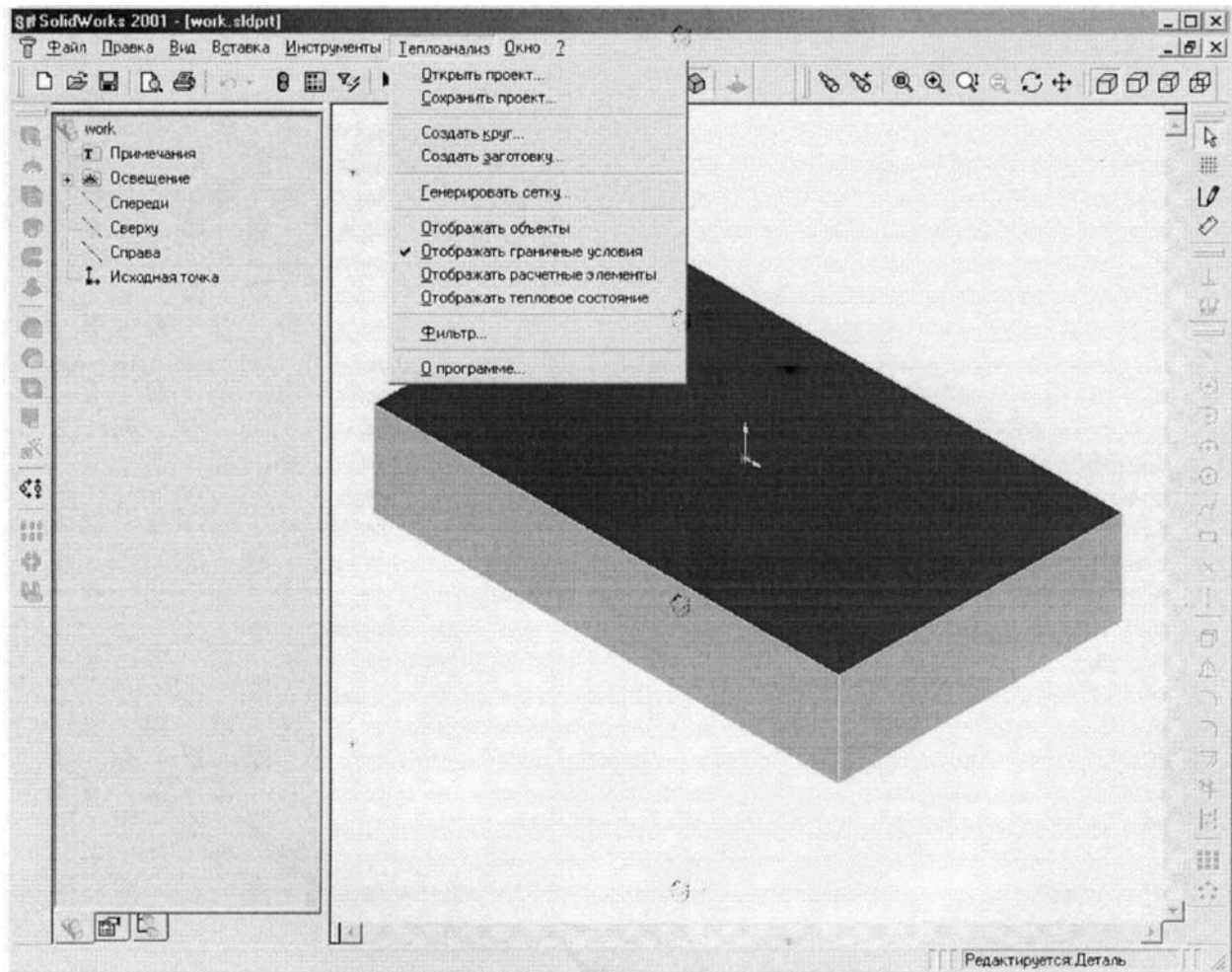


Рис. 5.1. Главное окно SolidWorks с раскрытым меню «Теплоанализ»

Для генерации расчетных элементов следует выбрать пункт меню «Генерировать сетку...», после чего в открывшемся окне (рис. 5.2, в) задать параметры сетки и нажать кнопку ОК. Поскольку процесс генерации расчетных элементов может оказаться продолжительным, текущее состояние этого процесса отображается в окне (рис. 5.2, г), которое по завершению процесса автоматически закрывается. Сгенерированные расчетные элементы можно просмотреть в главном окне SolidWorks, выбрав пункты «Отображать расчетные элементы» или «Отображать тепловое состояние» в меню «Теплоанализ». Во втором случае, расчетные элементы отображаются раскрашенными в соответствии с их текущей температурой.

Для сохранения результатов следует выбрать пункт меню «Сохранить проект...», после чего указать имя сохраняемого файла. Далее этот файл (в котором хранится информация о параметрах расчетных элементов) необходимо открыть в расчетном модуле (рис. 5.3).

Процесс расчета включает следующие этапы: открытие файла, сгенерированного препроцессором, задание (изменение) исходных данных, собственно расчет и сохранение результатов расчета.

Для открытия файла следует выбрать пункт «Открыть...» меню «Файл» главного окна расчетного модуля и указать имя этого файла.

Для просмотра и изменения исходных данных следует выбрать соответствующие пункты меню «Расчет» и при необходимости изменять нужные параметры в открывающихся окнах (рис. 5.4). Для удобства пользователя исходные данные сгруппированы по следующим блокам: начальные, технологические, физические и граничные условия и параметры расчета.

в)

г)

д)

е)

Рис. 5.4. Окна расчетного модуля для изменения исходных данных: технологических (а), начальных (б), физических (в), граничных (г, д) условий и параметров расчета (е)

В блоке технологических условий (см. рис. 5.4, а) задают элементы режима торцового шлифования и параметры, определяющие траектории перемещения заготовки, шлифовального круга и зоны контакта в процессе обработки. В блоке начальных условий (см. рис. 5.4, б) задают начальное условие однозначности в виде однородного распределения температуры либо иного, взятого из открытого файла данных. Блок физических условий позволяет пользователю выбрать из внутренних баз данных программного комплекса материалы заготовки (см. рис. 5.4, в), шлифовального круга, его смазочных элементов (при необходимости) и СОЖ, задав тем самым их теплофизические свойства (физические условия однозначности).

В блоках граничных условий (см. рис. 5.4, г, д) пользователь может просмотреть рассчитанные автоматически по справочным данным [2 - 6] значения плотностей соответствующих тепловых потоков и коэффициентов теплоотдачи, либо задать иные значения этих параметров. Последнее обеспечивает программному комплексу свойство эвристичности, т. е. возможности прогнозирования теплового состояния контактирующих объектов при новых условиях обработки. В окне граничного условия в зоне контакта (см. рис. 5.4, г) пользователь может также увидеть значение касательной составляющей силы шлифования, рассчитанное по справочным данным, и при необходимости скорректировать его.

Наконец, в блоке параметров расчета (см. рис. 5.4, е) пользователь может задать продолжительность моделируемого теплового процесса.

Для начала расчета следует выбрать пункт меню «Начать расчет» меню «Расчет». Текущее состояние выполняемого расчета отображается в строке состояния в нижней части главного окна решателя. По окончании расчета выдается сообщение «Расчет окончен». После этого результаты расчета необходимо сохранить в файле (желательно под новым именем) с помощью пунктов «Сохранить» или «Сохранить как...» меню «Файл».

Для визуализации результатов расчета необходимо вновь запустить SolidWorks и в меню «Теплоанализ» последовательно выбрать пункты «Открыть проект...» (файл с результатами) и «Отображать тепловое состояние».

Более подробные инструкции по работе с программным комплексом даны в контекстной справке каждого из программных продуктов.

5.4. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА И ТЕХНИКИ ПОДАЧИ СОЖ НА ТЕПЛОВУЮ НАПРЯЖЕННОСТЬ ОБРАБОТКИ

Известно [7], что СОЖ, реализуя свои функциональные действия (прежде всего, смазочное и охлаждающее), коренным образом изменяют тепловую напряженность в зоне шлифования и тепловое состояние заготовки и инструмента в процессе обработки. Учет влияния состава СОЖ в расчетном модуле программного комплекса реализуется автоматически. Для этого пользователю необходимо лишь следующим образом изменить технологические, физические и граничные условия однозначности:

1) выбрать пункт «Технологические условия...» меню «Расчет». В открывшемся окне технологических условий (см. рис. 5.4, а) установить галочку в пункте «Шлифование с применением СОЖ» и нажать кнопку «ОК».

2) Выбрать пункт «Физические условия ► СОЖ...» меню «Расчет». Из списка в открывшемся окне выбора материала (см. рис. 5.4, в) выбрать нужный состав СОЖ и нажать кнопку «ОК».

3) Выбрать пункт «Граничные условия ► ...» меню «Расчет», далее для всех поверхностей анализируемой системы (поверхности контакта (см. рис. 5.4, г), нижней, боковой, обрабатываемой и внутренней (см. рис. 5.4, д) поверхностей заготовки, рабочей, торцевой, периферийной, внутренней, внутренней торцевой поверхностей круга и поверхности его посадочного отверстия) в открывшемся окне назначения граничного условия установить галочку в пункте «Автоматический расчет» и нажать кнопку «ОК».

В учебной версии программного комплекса реализован автоматический расчет граничных условий только применительно к подаче СОЖ поливом. Поэтому для учета других способов подачи СОЖ пользователю необходимо самостоятельно корректировать с помощью поправочных коэффициентов значения касательной составляющей силы шлифования и поверхностной плотности теплового потока, отводимого в СОЖ, в окне граничного условия в зоне контакта (см. рис. 5.4, г). Для этого необходимо выполнить следующие действия:

1) выбрать пункт «Граничные условия ► Поверхность контакта...» меню «Расчет» и в открывшемся окне назначения граничного условия (см. рис. 5.4, г) снять галочку с пункта «Автоматический расчет».

2) По данным табл. 5.1 определить значения поправочных коэффициентов для уточнения касательной составляющей силы шлифования C_p и плотности теплового потока в СОЖ $C_{сож}$, соответствующие анализируемому способу подачи СОЖ.

5.1. Значения поправочных коэффициентов C_p и $C_{сож}$ в зависимости от способа подачи СОЖ

Способ подачи СОЖ	Поправочный коэффициент	
	C_p	$C_{сож}$
Поливом	1	1
Напорной струей	0,9... 1	1,1... 1,2
В распыленном состоянии	0,95... 1,1	1... 1,1
Гидроаэродинамический	0,75... 0,9	1,2... 1,3
Через поры круга	0,7... 0,85	1,15... 1,25
Через поры круга с УЗК	0,7... 0,8	1,25... 1,35

3) В поля ввода значений касательной составляющей силы шлифования и плотности теплового потока, отводимого в СОЖ (см. рис. 5.4, г), вместо прежних значений ввести скорректированные (путем умножения на соответствующий коэффициент) значения и нажать кнопку «ОК».

5.5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1) Согласовать с преподавателем исходные данные для численного исследования:

- геометрические параметры шлифовального круга (см. рис. 5.2, а) и заготовки (см. рис. 5.2, б);
- марку обрабатываемого материала, характеристику круга;
- элементы режима плоского торцового шлифования (см. рис. 5.2, в);
- состав (составы) СОЖ;
- способ (способы) ее подачи в зону шлифования.

2) Разработать план исследования по форме табл. 5.2 (в качестве базы для сопоставления результатов целесообразно в этот план включить также расчет обработки «всухую»).

5.2. План исследования

№ рас- чета	Параметры							
	Марка матери- ала за- готовки	Харак- теристика круга	СОЖ		Режим шлифования			
			Состав	Способ подачи	Рабочая скорость круга, м/с	Ско- рость стола, м/мин	Подача, мм/ход	Угол между заготовкой и кругом, град
1								
2								

Согласовать разработанный план с преподавателем.

3) Подготовить бланк таблицы результатов исследования по форме табл. 5.3.

5.3. Результаты исследования

№ расчета	Результаты расчета	
	Касательная составляющая силы шлифования P_z , Н	Максимальная температура T_{max} , К
1		
2		

4) Запустить программу SolidWorks и создать геометрические модели шлифовального круга и заготовки по данным п. 1.

5) Сгенерировать расчетные элементы, руководствуясь при назначении параметров расчетной сетки (рис. 5.2, в) следующими правилами: а) общее число расчетных элементов в каждом из анализируемых объектов (круг и заготовка) должно быть не менее 1000; б) число расчетных элементов вдоль каждой из координатных осей должно быть пропорционально габаритному размеру анализируемого объекта в этом направлении и не менее 5.

7) Сохранить данные о расчетных элементах в файл, закрыть Solid-Works и запустить модуль расчета. Последующие пять пунктов (с 7 по 11) выполнить для каждой точки разработанного плана исследований по п. 2.

8) Открыть в модуле расчета файл, сохраненный в п. 6.

9) Изменить технологические и физические условия однозначности в соответствии с текущей точкой плана исследований.

10) Установить в параметрах расчета продолжительность теплового процесса, равную 60 с.

10) В окне граничного условия в зоне контакта определить значение касательной составляющей силы шлифования, соответствующей анализируемым условиям, и зафиксировать его в табл. 5.3.

11) Выполнить расчет, просмотреть температуры расчетных элементов, определить максимальную из них T_{\max} и зафиксировать ее значение в табл. 5.3.

12) Сохранить результаты расчета в файле с уникальным именем с помощью команды «Сохранить как...» (при необходимости сохраненные результаты расчета можно просмотреть в виде тепловой картины, запустив SolidWorks и в меню «Теплоанализ» последовательно выбрав пункты «Открыть проект...» и «Отображать тепловое состояние»).

13) Закрыть модуль расчета.

14) По данным заполненной табл. 5.3 построить диаграммы или графики зависимостей касательной составляющей силы шлифования и максимальной контактной температуры от анализируемых параметров технологических условий обработки (см. табл. 5.2).

15) Проанализировать полученные результаты, сформулировать выводы и составить отчет по работе.

5.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен содержать титульный лист (см. приложение А), исходные данные к исследованию, план исследования, таблицу результатов, диаграммы, графики и выводы.

5.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

Какие показатели технологической эффективности шлифования зависят от тепловой напряженности в зоне обработки ?

Какая из схем шлифования наиболее теплонапряженная ?

В чем преимущества компьютерного моделирования перед натурным экспериментом ?

В чем заключается сущность метода конечных элементов для решения дифференциальных уравнений и систем ?

Как связано число расчетных элементов с точностью и скоростью расчета теплового состояния системы «шлифовальный круг-заготовка» ?

Какие исходные данные задают в блоке физических условий ?

Какие технологические методы и приемы воздействия на температурный режим обработки позволяет моделировать изученный программный комплекс ?

Как учесть влияние состава СОЖ на температурный режим обработки при моделировании с помощью изученного программного комплекса ?

Как учесть влияние способа подачи СОЖ на температурный режим обработки при моделировании с помощью изученного программного комплекса ?

Перечислите основные этапы численного исследования теплосиловой напряженности процесса шлифования посредством изученного программного комплекса.

Дайте сравнительную оценку известных вам способов подачи СОЖ с позиции влияния на силовую напряженность шлифования и тепловой поток, отводимый в СОЖ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев Е. С. Теплофизический анализ концентрированных операций шлифования / Е. С. Киселев, В. Н. Ковальногов. - Ульяновск : УлГТУ, 2002. - 140 с.

2. Ковальногов В. Н. Теплофизический анализ как основа проектирования композиционных шлифовальных кругов / В. Н. Ковальногов, С. М. Михайлин // Изв. вузов. Машиностроение. - 2006. - № 3. - С. 53 - 65.

3. Попов С. А. Шлифовальные работы: учеб. для проф. учеб. заведений / С. А. Попов. - М. : Высшая школа, 1999. - 384 с.

4. Справочник шлифовщика / Л. М. Кожуро, А. А. Панов, Э. И. Ремизовский, П. С. Чистосердов; под общ. ред. П. С. Чистосердова. - Минск : Высшэйшая школа, 1981. - 287 с.

5. Кащук В. А. Справочник шлифовщика / В. А. Кащук, А. Б. Верещагин. - М. : Машиностроение, 1988. - 480 с.

6. Термодинамика и теплопередача / А. В. Болгарский, Г. А. Мухачев, В. К. Щукин. - М. : Высшая школа, 1975. - 495 с.

7. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник / Под общ. ред. Л. В. Худобина. - М. : Машиностроение, 2006. - 544 с.

6. УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА СОЖ ЧЕРЕЗ ЗОНУ ПЛОСКОГО ТОРЦОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

6.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Количественная оценка расхода СОЖ, достаточного для обеспечения заданного температурного режима обработки.

6.2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Известно, что СОЖ являются наиболее эффективным средством защиты поверхностных слоев инструмента и заготовки от деструктивных термо-механических воздействий в зонах механической обработки. До настоящего времени многие вопросы обеспечения стойкости режущего инструмента, повышения производительности и качества обработки решались экстенсивно путем увеличения расхода СОЖ. Вместе с тем, в связи с удорожанием СОЖ и увеличением доли затрат на них в себестоимости готовой продукции (например, в автомобилестроении в ряде случаев - до 17 %, что вчетверо больше затрат на режущий инструмент), а также в связи с экологическими ограничениями, в последнее время все более актуальными становятся вопросы ресурсосберегающего экологизированного применения СОЖ [1].

Научно обоснованное решение вопросов ресурсосберегающего применения СОЖ предусматривает минимизацию их расхода (вплоть до обработки всухую) на всех операциях технологического процесса изготовления детали при одновременном обеспечении на каждой из них заданного качества и производительности обработки как за счет интенсификации функциональных действий СОЖ в зоне резания, так и за счет альтернативных технических и технологических решений [2, 3].

Совокупная тепловая нагрузка на поверхностные слои заготовки и инструмента в зоне их контакта при механической обработке с применением СОЖ может быть определена из теплового баланса [2, 4]:

$$\lambda_u \left(\frac{\partial T_u}{\partial n_u} \right)_{n_u=0} + \lambda_3 \left(\frac{\partial T_3}{\partial n_3} \right)_{n_3=0} = q_{\text{выд}} - q_{\text{жс}} - q_c; \quad (6.1)$$

$$T_u = T_3;$$

где λ_u, λ_3 - теплопроводность соответственно инструментального и обрабатываемого материала при температуре контакта, Вт/(м·К); n_u, n_3 - вектор нормали к поверхности соответственно инструмента и заготовки на анализируемом участке зоны контакта, м; $q_{\text{выд}} = P_Z V/S$ - поверхностная плотность

теплового потока, выделившегося в зоне контакта, Вт/м ; P_2 - касательная составляющая силы резания, Н; S - площадь контакта инструмента с заготовкой, м²; $D_{ж}$, q_c - поверхностная плотность теплового потока, отводимого из зоны контакта соответственно вместе с СОЖ и стружкой, Вт/м²; T_m T_3 - местная контактная температура инструмента и заготовки соответственно, К.

При этом поверхностная плотность теплового потока $q_{ж}$, отводимого из зоны контакта в СОЖ, может быть определена с использованием полуэмпирической зависимости [2], обобщающей результаты многочисленных экспериментальных исследований теплоотдачи:

$$q_{ж} = \alpha(T - T_f) = 0,36 \frac{\lambda_{ж}}{L} \text{Re}_f^{0,24} \text{Pr}_f^{0,1} \left(\frac{\text{Pr}_f}{\text{Pr}_w} \right)^{0,25} \cdot (T - T_f), \quad (6.2)$$

или аналитической зависимости [4], полученной в предположении, что тепловой поток целиком затрачивается на нагрев и парообразование СОЖ:

$$q_{ж} = \begin{cases} \frac{c_{ж} G_{ж} (T - T_s)}{BL} \text{ при } T \leq T_s, \\ \frac{c_{пж} G_{пж} (T - T_s) + c_{ж} G_{ж} (T_s - T_f)}{BL} \text{ при } T > T_s, \end{cases} \quad (6.3)$$

где α - средний коэффициент теплоотдачи к СОЖ в зоне контакта, Вт/(м²К); $\lambda_{ж}$ теплопроводность СОЖ, Вт/(мК); B , L - соответственно ширина и

длина контактной гидродинамической зоны, м: $\text{Re} = \frac{V_{ж} h_0}{\nu_{ж}}$ - число Рейнольдс-

са; $V_{ж} = \frac{G_{ж}}{h_0 B}$ - скорость течения СОЖ в зоне контакта, м/с; h_0 - эффективный

зазор между поверхностями заготовки и инструмента (при шлифовании примерно равный половине зернистости круга), м; $\nu_{ж}$ - кинематическая вязкость

СОЖ, м²/с; $\text{Pr} = \frac{\mu_{ж} c_{ж}}{\lambda_{ж}}$ - число Прандтля; $\mu_{ж}$ - динамическая вязкость СОЖ,

Пас; $c_{жс}$ - удельная теплоемкость СОЖ, Дж/(кгК); $G_{ж}$, $G_{пж} = c_{ж} G_{ж} (T - T_s) / R$ - соответственно массовый расход СОЖ и ее пара непосредственно через зону обработки, кг/с; $c_{пжс}$ - удельная теплоемкость паров СОЖ, Дж/(кгК); R - удельная теплота парообразования СОЖ, Дж/кг; T_s - температура насыщения СОЖ, К; T_f - температура потока СОЖ, К. Латинские индексы w и f у чисел Рейнольдса и Прандтля означают, что при расчете этих чисел теплофизические свойства следует брать по температуре зоны контакта и температуре струи СОЖ соответственно.

Левая часть первого уравнения (6.1) представляет собой совокупную тепловую нагрузку на поверхностные слои заготовки и инструмента, первое слагаемое в правой его части характеризует смазочное действие СОЖ, а второе - охлаждающее действие. При этом следует подчеркнуть, что если для обеспечения эффективного смазочного действия достаточно небольшого расхода (порядка нескольких миллилитров в минуту или даже в час) углево-

дородной СОЖ, то эффективная реализация охлаждающего действия требует гораздо более значительного расхода жидкости (порядка нескольких литров или десятков литров в минуту) [5].

Очевидно, что минимизация объемов применения СОЖ на операциях механической обработки сопряжена с дозированием СОЖ, адекватным тепловой нагрузке на поверхностные слои заготовки и инструмента в конкретных технологических условиях (режим резания, конфигурация заготовки и обрабатываемых ее поверхностей, конфигурация инструмента и его рабочих поверхностей, марки обрабатываемого и инструментального материалов, состав и способ подачи СОЖ). При этом следует учитывать, что лишь малая часть подаваемой на той или иной технологической операции СОЖ проходит непосредственно через пространство зоны обработки, а эффективность транспортирования СОЖ в зону обработки, как правило, существенно уменьшается с увеличением скорости резания. Предположим, что техника подачи СОЖ характеризуется определенным значением «коэффициента полезного действия» K_η , представляющим собой соотношение между расходом жидкости непосредственно через зону обработки $G_{ж}$ и общим расходом подаваемой жидкости $G_{ж0}$. Тогда с учетом зависимостей (6.1) - (6.3) концепцию дозированного применения СОЖ при механической обработке для заданных технологических условий можно формализовать следующим образом:

$$G_{ж0} = \frac{G_{жс}}{K_\eta} \rightarrow \min \quad (6.4)$$

при ограничении:

$$T_{и} = T_{з} \leq T_{кр}, \quad (6.5)$$

где $T_{кр}$ - критическая контактная температура, определяемая в зависимости от практических потребностей, как температура начала вторичных структурно-фазовых превращений, как температура критических термических напряжений и деформаций в поверхностном слое или как минимум из перечисленных температур.

Вместе с тем известно, что на практике часто экономически более целесообразна реализация преимущества от снижения температурного режима в зоне обработки не путем сокращения расхода подаваемой СОЖ, а путем форсирования производительности обработки [1]. В этом случае, помимо всего прочего, пропорционально снижению машинного времени уменьшается норма расхода СОЖ в расчете на одну обработанную заготовку. Однако во всех случаях практическая реализация дозированного применения СОЖ на операциях механической обработки немыслима без теплофизического анализа.

Зная значение поверхностной плотности теплового потока $q_{ж}$ (например, по результатам численного моделирования тепловой напряженности обработки с помощью программного комплекса - см. п. 5.3), обеспечивающее заданный температурный режим обработки, а также теплофизические свойства СОЖ, из зависимостей (6.2) и (6.3) можно определить соответственно

полуэмпирическое и аналитическое значения массового расхода $C_{жс}$ СОЖ, гарантирующего этот режим.

6.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Согласовать с преподавателем исходные данные для численного исследования:
 - геометрические параметры шлифовального круга (см. рис. 5.2, а) и заготовки (см. рис. 5.2, б);
 - марку обрабатываемого материала, характеристику круга;
 - элементы режима плоского торцового шлифования (см. рис. 5.2, в);
 - состав СОЖ.
- 2) Принять критическую температуру $T_{кр}$ равной 450 °С.
- 3) Подготовить бланк результатов численного исследования по форме табл.

6.1.

6.1. Результаты исследования

№ расчета	Поверхностная плотность теплового потока в СОЖ $q_{жс}$, Вт/м ²	Максимальная температура T_{max} , К
1		
2		

4) Запустить программу SolidWorks и создать геометрические модели шлифовального круга и заготовки по данным п. 1.

5) Сгенерировать расчетные элементы, руководствуясь при назначении параметров расчетной сетки (рис. 5.2, в) следующими правилами: а) общее число расчетных элементов в каждом из анализируемых объектов (круг и заготовка) должно быть не менее 1000; б) число расчетных элементов вдоль каждой из координатных осей должно быть пропорционально габаритному размеру анализируемого объекта в этом направлении и не менее 5.

6) Сохранить данные о расчетных элементах в файле, закрыть Solid-Works и запустить модуль расчета.

7) Открыть в модуле расчета файл, сохраненный в п. 6.

8) Изменить технологические, физические и граничные условия однозначности в соответствии с п. 1.

9) Установить в параметрах расчета продолжительность теплового процесса, равную 60 с.

10) Сохранить изменения в файле.

11) Последующие 4 пункта (с 12 по 15) повторять, изменяя граничное условие по п. 12, до тех пор, пока зафиксированная в п. 13 температура T_{max} не окажется в диапазоне от $0,9T_{кр}$ до $T_{кр}$.

12) Открыть в модуле расчета файл, сохраненный в п. 10. В граничном условии на поверхности контакта (см. рис. 5.4, г) снять галочку с пункта

«Автоматический расчет», а в поле ввода плотности теплового потока, отводимого в СОЖ, ввести новое значение и нажать кнопку «ОК».

13) Выполнить расчет, просмотреть температуры расчетных элементов, определить максимальную из них T_{max} и зафиксировать ее значение в табл. 6.1.

14) Сохранить результаты расчета в файле с уникальным именем с помощью команды «Сохранить как...» (при необходимости сохраненные результаты расчета можно просмотреть в виде тепловой картины, запустив SolidWorks и в меню «Теплоанализ» последовательно выбрав пункты «Открыть проект...» и «Отображать тепловое состояние»).

15) Закрыть модуль расчета.

16) По значению $q_{ж}$ в последней строке заполненной табл. 6.1 с использованием зависимостей (6.2) и (6.3), а также справочных данных по теплофизическим свойствам СОЖ (приложение В) рассчитать полуэмпирическое и аналитическое значения массового расхода $G_{жс}$ СОЖ, обеспечивающие заданный температурный режим.

17) Сравнить и проанализировать полученные результаты, объяснить причины расхождения результатов (если таковые наблюдаются), сформулировать выводы и составить отчет по работе.

6.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен содержать титульный лист (см. приложение А), исходные данные к исследованию, таблицу результатов численного моделирования, расчеты необходимого расхода СОЖ и выводы.

6.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

Какие составляющие теплового баланса (6.1) в зоне обработки зависят от состава и техники подачи СОЖ ?

Насколько изменится (судя по зависимости (6.2)) теплоотдача к СОЖ в зоне шлифования, если ее расход увеличить в 2 раза ?

Изложите типовую последовательность действий при определении минимально достаточного расхода СОЖ через зону обработки.

Как учесть влияние состава СОЖ на температурный режим обработки при моделировании с помощью изученного программного комплекса ?

Как учесть влияние способа подачи СОЖ на температурный режим обработки при моделировании с помощью изученного программного комплекса ?

Перечислите основные этапы численного исследования теплосилового напряженности процесса шлифования посредством изученного программного комплекса.

В чем преимущества компьютерного моделирования перед натурным экспериментом ?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник / Под общ. ред. Л. В. Худобина. - М. : Машиностроение, 2006. - 544 с.
2. Ковальногов В. Н. Минимизация расхода СОЖ при шлифовании с ультразвуком // Справочник. Инженерный журнал, 2007. - № 7. - С. 17-21.
3. Киселев Е. С. Интенсификация процессов механической обработки рациональным использованием энергии ультразвукового поля. - Ульяновск : УлГТУ, 2003.-186 с.
4. Киселев Е. С. Теплофизический анализ концентрированных операций шлифования / Е. С. Киселев, В. Н. Ковальногов. - Ульяновск : УлГТУ, 2002.-140 с.
5. Ефимов В. В. Научные основы техники подачи СОЖ при шлифовании. - Саратов : СГУ, 1985. - 140 с.

Образец титульного листа отчета по учебно-исследовательской
лабораторной работе

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет
Кафедра «Технология машиностроения»

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОДАЧИ СОЖ ЧЕРЕЗ КЛИНОВЫЕ
ПОЛУОТКРЫТЫЕ НАСАДКИ К ТОРЦУ КРУГА ПРИ КРУГЛОМ
НАРУЖНОМ ШЛИФОВАНИИ

Выполнил: студент гр. МТМд-51

_____ / Иванов И.И./

Проверил: доцент, к.т.н.

_____ / Петров П.Л./

Теплофизические свойства некоторых СОЖ и их паров

Вещество	Плотность $\rho_{ж}$, кг/м ³	Теплопроводность $\lambda_{ж}$, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость $c_{ж}$, Дж/(кг·К)	Кинематическая вязкость $\nu_{ж}$, мм ² /с	Удельная теплота парообразования $R_{ж}$, МДж/кг
Укринол-1, 3 %-я эмульсия	956	0,4128	4164	0,4	2,2
Укринол-1, 10 %-я эмульсия	949	0,5933	4041	0,5	2,2
Аквол-2, 3 %-я эмульсия	955	0,6582	4152	0,4	2,2
Аквол-2, 10 %-я эмульсия	948	0,6062	4012	0,5	2,2
НГЛ-205, 3 %-я эмульсия	955	0,6678	4169	0,3	2,2
НГЛ-205, 10 %-я эмульсия	952	0,6320	4050	0,4	2,2
МР-10	848	0,1407	2217	4,5	1,5
ОСМ-3	843	0,1189	2027	1,9	1,5
Пары водной СОЖ	–	–	2009	–	–
Пары масляной СОЖ	–	–	980	–	–

Учебное издание

КИСЕЛЕВ Евгений Степанович, КОВАЛЬНОГОВ Владислав Николаевич

**Научные основы и технология применения смазочно-
охлаждающих технологических средств при
механической обработке**
Сборник учебно-исследовательских лабораторных работ

Подписано в печать 20.03.2008. Формат 60x84/16. Бумага
офсетная. Усл. печ. л. 3,49. Тираж 100 экз. Заказ 310.

Ульяновский государственный технический университет,
432027, г. Ульяновск, Сев. Венец, 32. Типография
УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Сев. Венец, 32.