

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

В. М. Зайцев

*ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ*

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве учебного пособия

КУЙБЫШЕВ 1987

Зайцев В. М. Основы повышения эффективности механической обработки авиационных материалов за счет рационального применения смазочно-охлаждающих жидкостей. — Куйбышев; КуАИ, 1987. — 95 с.

Пособие содержит теоретические основы влияния смазочно-охлаждающих жидкостей на важнейшие показатели эффективности обработки авиационных материалов лезвийным инструментом: интенсивность процесса резания, износ инструмента и микрогеометрию обработанной поверхности. Показан избирательный характер этого влияния. Приведены рекомендации по выбору наиболее эффективного состава жидкости и способа ее применения.

Пособие предназначено для слушателей ФПК ИГР МАИ, оно может быть полезным студентам старших курсов, выполняющим проекты ЦИР, связанные с механической обработкой, а также для преподавателей и аспирантов технологических кафедр.

Рецензенты: А. Б. Тарасов, Б. А. Кравченко

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей развития социалистической экономики является повышение экономической эффективности производства, которая достигается путем всемерной его интенсификации. Обработка металлов резанием имеет в настоящее время и будет иметь в обозримом будущем наибольший удельный вес в формообразующем технологическом процессе, особенно на заключительной стадии. Производительность труда при обработке металлов резанием зависит от интенсивности процесса резания и уровня механизации и автоматизации вспомогательных трудовых процессов при работе на станках.

Однако интенсификация процесса резания, особенно за счет увеличения скорости, сопровождается значительно большим увеличением интенсивности износа и уменьшением стойкости инструмента. Увеличение скорости резания может быть причиной возникновения остаточных напряжений растяжения, ухудшения стружкозавивания. С увеличением подачи обычно увеличивается шероховатость, снижается точность обработки. При обработке резанием конструкционных материалов, применяющихся в авиационной (жаропрочных, жаростойких сталей и сплавов, титановых и других сплавов), указанные трудности возрастают.

За последние 15...20 лет учеными и практиками было предложено большое количество различных способов улучшения обрабатываемости: повышение эксплуатационных характеристик режущих инструментов за счет внедрения новых инструментальных материалов, применения новых видов термохимической обработки, различных видов упрочняющей обработки рабочих поверхностей инструмента с помощью ультразвука, электронного луча, лазера, применения сложных многослойных износостойких покрытий, введения в зону резания электрического тока и магнитного поля, сообщения инструменту ультразвуковых колебаний, подогрева снимаемого слоя с помощью электрического тока, электронного и лазерного луча, глубокого охлаждения заготовок и др.

Опыт и специальные расчеты показывают, что одним из наиболее доступных, универсальных и экономически выгодных путей повышения стойкости инструмента, точности обработки и качества поверхностного слоя деталей, обработанных резанием, является широкое применение эффективных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Для решения конкретных задач усилиями практиков и ученых созданы сотни составов и десятки способов применения СОТС в жидком, твердом и газообразном состоянии.

Рациональное применение СОТС позволяет в 1,2...6 раз повысить стойкость режущего инструмента, на 20...60% — режимы резания, на 10...50% — производительность труда, значительно (на один—два класса) уменьшить высоту остаточных гребешков; энергозатраты, улучшить условия труда.

Максимальная производительность обработки металлов резанием может быть получена, очевидно, при комплексном применении одного из указанных выше способов улучшения эксплуатационных свойств (стойкости) инструмента и соответствующего состава и способа введения СОТС в зону резания.

В исследованиях, проведенных в отраслевых НИИ и лабораториях, в том числе ОНИЛ-З КуАИ, установлено, что эффект применения СОТС зависит от степени соответствия их свойств поставленной задаче. При неудачном выборе состава и способа применения смазки-охлаждения результат может оказаться даже отрицательным. Правильный подбор и создание высокоэффективных СОТС возможны только при глубоком изучении природы их действия. Однако до недавнего времени основательно изучали лишь влияние СОТС на механические и технологические параметры процессов резания, а подбор СОТС осуществлялся эмпирически [36] на основании прямых сравнительных исследований.

Для эффективного использования СОТС необходимо знать теоретические основы их рационального применения при обработке металлов резанием. Поэтому в пособии кратко излагаются теоретические основы и возможные пути повышения интенсивности и качества обработки металлов резанием за счет рационального применения СОТС, главным образом смазочно-охлаждающих жидкостей — СОЖ. Приведены методики выбора наиболее эффективного варианта применения СОТС.

Основную часть приведенных в пособии материалов составляют результаты экспериментальных исследований, выполненных в ОНИЛ-З КуАИ, и промышленных испытаний эффективности СОТС на предприятиях отрасли. В пособие включены также материалы справочного характера, заимствованные из различных источников, приведенных в библиографическом списке.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОТС

Под рациональным понимают такой способ применения СОТС, при котором:

становится осуществимым единственно возможным или наиболее производительным способ обработки какого-то элемента детали, реализация которого из-за катастрофического износа инструмента или по каким-то другим причинам (например, забивание стружечных канавок при сверлении, разворачивании, нарезании резьбы метчиками, зубонарезании, протягивании и др.) без смазки-охлаждения невозможна;

достигается по сравнению с резанием без смазки-охлаждения улучшение одного или нескольких показателей обрабатываемости (например, увеличение допустимой скорости резания) или решается наилучшим образом какая-то специальная задача (например, обеспечивается длительная размерная стойкость при окончательной обработке поверхности с большой площадью за один проход);

сокращается номенклатура составов СОТС и способов их применения по сравнению с существующей при одновременном повышении экономических показателей обработки.

Для успешного поиска рационального способа применения СОТС нужно хорошо представлять, с одной стороны, механизмы различных видов износа, факторы, усиливающие и снижающие их интенсивность, механизмы формирования поверхностного слоя, процессов наростообразования, схватывания и др., а с другой стороны, механизм действия СОТС, их функциональные и технологические свойства.

По современным представлениям [37] резание как процесс формообразующей обработки металлов представляет собой комплексное понятие, объединяющее в себе: разрушение металла и образование в результате этого новой поверхности на детали; интенсивную пластическую деформацию удаляемого слоя с превращением его в стружку; пластическую деформацию вновь об-

разованной поверхности детали, распространяющуюся на некоторую глубину. В зонах контакта отходящей стружки и обработанной поверхности изделия с передней и задними поверхностями инструмента имеются весьма высокие контактные напряжения и тяжелые режимы граничного трения [5], сопровождающиеся непрерывным изнашиванием рабочих поверхностей режущего инструмента.

Стружкообразование, износ режущего инструмента и создание поверхности на заготовке совершаются одновременно и весьма тесно связаны. В большей или меньшей степени на эти процессы оказывают влияние условия резания: свойства обрабатываемого и инструментального материалов, геометрия заточки, элементы режима резания, состав и способы применения СОТС. Вопросы влияния условий резания без СОТС на износ инструмента и формирование поверхностного слоя детали достаточно полно изучены и изложены во многих монографиях, статьях, учебниках, например в [25, 26, 28, 44] и др. Влияние СОТС на износ инструмента и формирование поверхностного слоя при различных видах и условиях резания изучено слабее, многие концепции остаются спорными, требуют уточнения.

Согласно [36] «для исследования сложных процессов, протекающих при обработке металлов в присутствии СОТС, следует использовать методы химической физики. Необходимо изучение следующих ключевых вопросов: кинетики и механизма превращения компонентов СОТС в условиях высоких температур и нагрузок, транспорта продуктов этих превращений — физико-химической плазмы непосредственно в зону резания; механизма взаимодействия плазмы с металлическими поверхностями обрабатываемой детали и инструмента». Однако указанные вопросы изучаются пока методами и средствами, доступными технологам. Рассмотрим кратко современные представления об износе инструмента и формировании рельефа поверхностного слоя детали при обработке резанием.

1.1. ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА

Передняя и задняя поверхности инструмента в процессе резания подвергаются интенсивному износу. Объемный (весовой) износ является результатом одновременно протекающих абразивного, усталостно-адгезионного, механохимического и диффузионного износов. В зависимости от условий резания преобладает один из них.

Механизм изнашивания трущихся пар различен. При абразивном износе роль абразивного материала выполняют включения твердых частиц (карбиды, нитриды, оксиды, интерметал-

лиды), входящие в структуру многих конструкционных материалов, а также внедрившиеся в поверхность более мягкого материала заготовки и стружки, обломки нароста и отделившиеся в результате усталостно-адгезионного износа «узлы схватывания», обладающие прочностью и твердостью в 1,5—2 раза большими, чем обрабатываемый материал в исходном состоянии.

Усталостно адгезионное изнашивание протекает следующим образом. В процессе резания имеет место контакт стружки с передней поверхностью режущего клина и поверхности резания с его задней поверхностью. Микрообъем материала инструмента, прилегающий к пятну контакта, испытывает циклическую нагрузку, под действием которой в этом объеме накапливаются и развиваются микротрещины и, в конечном счете, происходит его разрушение. Частицы разрушенного микрообъема уносятся стружкой, внедряются в обработанную поверхность. Этот вид изнашивания наиболее сильно проявляется при контакте однотипных или родственных по химсоставу материалов, при высоких удельных давлениях и длительном их воздействии. Механохимическое изнашивание связано с протеканием на поверхностях трения химических реакций. В процессе резания под действием высоких температур и давлений в зонах контакта рабочих поверхностей инструмента со стружкой и деталью резко интенсифицируются химические и диффузионные процессы. При наличии в окружающей среде химических активных веществ (кислорода, водяных паров, серы, хлора и др.) на контактирующих металлических поверхностях образуются пленки — продукты реакции среды с металлом. Эти пленки в процессе трения инструмента о стружку и заготовку отделяются и удаляются из зоны резания. Частным случаем механохимического износа является окислительное изнашивание, в процессе которого происходит окисление поверхностей и удаление окислов металлов.

Диффузионное изнашивание связано с разупрочнением режущего инструмента в результате диффузии углерода и легирующих элементов из слоев, прилегающих к рабочим поверхностям, в заготовку, стружку и в частицы изнашивания. Оно возникает при наличии адгезионного контакта трущихся поверхностей. Скорость диффузионного изнашивания резко падает при уменьшении фактической поверхности адгезионного контакта и температуры в пятнах контакта. Расчеты показывают, что снижение температуры в пятнах контакта на 10—15% уменьшает коэффициент диффузии в 2—3 раза. Снижения диффузионного изнашивания можно добиться: путем непрерывной подачи в зону контакта углерода и легирующих элементов в активной форме с целью восполнения их дефицита в рабочих поверхностях инструмента, для чего могут служить продукты превращения СОТС; преднамеренным «загрязнением» ювенильных контакт-

ных поверхностей пленками, затрудняющими протекание диффузионных процессов. Опыт показывает, что более эффективными являются химические пленки, например, соединения хлора, фосфора, серы и др. А. Д. Макаров считает, что подавляющее число факторов, влияющих на интенсивность износа инструмента (отношение контактных твердостей, диффузия и адгезия, окислительные процессы, пластическое течение контактных слоев инструмента и др.), являются функцией температуры контактных поверхностей. Им выдвинуто Положение (закон) о постоянстве оптимальной температуры резания, согласно которому «оптимальным скоростям резания (для заданного материала режущей части инструмента) при различных комбинациях скорости резания, подачи и глубины резания соответствует постоянная температура в зоне резания (оптимальная температура резания)». Из этого положения вытекает три основных следствия:

для инструментов с любой комбинацией геометрических параметров (φ , φ_1 , γ , α , λ , r и др.) точкам минимума кривых, выражающих зависимость интенсивности износа от скорости резания, соответствует одна и та же оптимальная температура резания, хотя уровень оптимальных скоростей может колебаться весьма существенно;

изменение твердости и структуры стали приводит к существенному изменению уровня оптимальных скоростей резания, по указанным скоростям соответствует одна и та же оптимальная температура резания;

при обработке металлов резанием без охлаждения и при применении разных смазочно-охлаждающих жидкостей, подводимых в зону резания различными способами, наименьшая интенсивность износа наблюдается при одной и той же оптимальной температуре резания и др.

1.2. ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Поверхностный слой, образующийся в процессе резания — результат сложного взаимодействия механических, теплофизических и физико-химических процессов между рабочими поверхностями инструмента, контактными поверхностями детали и окружающей средой. Важнейшим показателем качества поверхностного слоя, в значительной мере определяющим эксплуатационные показатели деталей машин, является ее рельеф, в первую очередь, шероховатость обработанной поверхности. Шероховатость является также одним из основных показателей, с помощью которых определяется обрабатываемость резанием кон-

струкционных материалов. Механизм образования шероховатости и влияние на нее условий резания приведены в [25, 30, 33, 44] и ряде других работ. Установлено, что шероховатость поверхности после механической обработки — это геометрический след режущего инструмента, искаженный в результате упругой и пластической деформации и вибраций элементов технологической системы СПИД.

Высота, форма и направление неровностей зависят от траектории относительного движения режущего лезвия и обрабатываемой детали, геометрии и состояния режущей части инструмента, режимов резания, механических и физико-химических свойств обрабатываемого и инструментального материалов. Форма и размеры неровностей в различных направлениях различны. Геометрическая форма, состояние режущих кромок инструментов и величина подачи отражаются, в основном, на поперечной шероховатости, размеры которой в два—три раза превышают продольную шероховатость. При торцовом фрезеровании и доводке продольная и поперечная шероховатости имеют одинаковые значения. При возникновении вибраций или при высокой степени пластической деформации поверхностного слоя продольная шероховатость может резко возрасти и превзойти поперечную. Фактическая высота неровностей R_z значительно отличается от расчетной H_p , полученной из геометрических соотношений. Согласно [30] R_z может быть представлена в виде

$$R_z = H_p + \Delta H. \quad (1.1)$$

Здесь ΔH — превышение фактической высоты неровностей над расчетной,

$$\Delta H = \Delta H_{упр} + \Delta H_{пл} + \Delta H_{тр} + \Delta H_{нар} + \Delta H_v + \Delta H_{виб}, \quad (1.2)$$

где $\Delta H_{упр}$, $\Delta H_{пл}$, $\Delta H_{тр}$, $\Delta H_{нар}$, ΔH_v , $\Delta H_{виб}$ — приращение, обусловленные соответственно упругим восстановлением поверхности, пластической деформацией обрабатываемого материала — течением в направлении к вершине резца, процессами трения и схватывания, прилипанием обломков нароста, вибрациями инструмента и детали, изменением контура режущей кромки в процессе ее изнашивания.

Решающее влияние на высоту неровностей оказывают интенсивность износа, определяющего состояние режущей кромки, а также интенсивность процессов схватывания и наростообразования. Те факторы, которые при изменении снижают интенсивность износа инструмента (скорость и глубина резания, марка инструментального материала и геометрия заточки, жесткость системы СПИД и др.), интенсивность процессов схватывания (удельное давление, длительность контакта, чистота ювениль-

ных поверхностей и др.) и наростообразования (скорость деформации, состояние контактных поверхностных слоев стружки и детали, длительность контакта и др.), уменьшают и высоту неровностей. В [30] установлено, что минимальная величина высотных характеристик шероховатости имеет место при оптимальной температуре резания.

1.3. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА, ШЕРОХОВАТОСТЬЮ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ И УСЛОВИЯМИ РЕЗАНИЯ

В [30] показано, что между высотой микронеровностей обработанной поверхности, глубиной и степенью наклепа, остаточ-

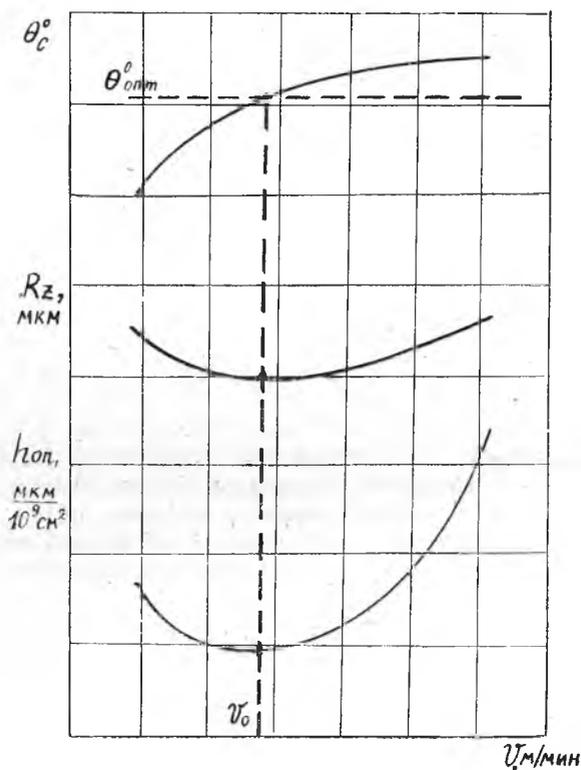


Рис. 1.1. Взаимосвязь между интенсивностью износа $h_{оп}$, высотой микронеровностей R_z и температурой резания Q_p^0

ными напряжениями, контактными явлениями в зоне резания и интенсивностью износа инструмента при резании наблюдается тесная взаимосвязь. Все графические зависимости перечисленных характеристик от скорости резания имеют характерную точку перегиба или посят экстремальный характер. Минимальной интенсивности износа соответствуют минимальные коэффициент трения по задней поверхности, глубина и степень наклепа, степень пластической деформации металла поверхностного слоя и стабилизация высоты неровностей. Экстремальные (критические) точки для всех подач наблюдаются при одной и той же температуре, удовлетворительно совпадающей с оптимальной по интенсивности износа температурой контакта. Главным фактором, определяющим интенсивность износа, шероховатость обработанной поверхности и другие характеристики процесса, является средняя температура контакта (рис. 1.1.). Любые изменения условий резания, приближающие значение температуры резания к оптимальной величине, способствуют уменьшению интенсивности износа и улучшению качества поверхностного слоя.

2. СВОЙСТВА СОТС И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА И ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Смазочно-охлаждающие технологические свойства применяются в виде твердых смазочных материалов (ТСМ), пластичных смазочных материалов (ПСМ), смазочно-охлаждающих жидкостей и газообразных сред. При обработке материалов резанием самым распространенным технологическим средством являются СОЖ, поэтому им уделено основное внимание.

2.1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СОЖ

Смазочно-охлаждающие жидкости обладают рядом специфических свойств, которые определяют их благоприятное влияние на процесс стружкообразования, износ инструмента и шероховатость обработанной поверхности. Они могут в той или иной степени производить охлаждающее, смазывающее, режущее (диспергирующее), пластифицирующее и моющее действия. Способность СОЖ производить указанные действия относится к их функциональным свойствам. Смысл и методы оценки функциональных свойств приведены ниже.

2.1.1. ОХЛАЖДАЮЩИЕ СВОЙСТВА СОЖ

Охлаждающий эффект — снижение температуры резания при применении СОЖ достигается в основном за счет активного теплоотвода с незанятых стружкой поверхностей инструмента, примыкающих к зоне резания. Увеличение интенсивности отвода тепла от стружки оказывает меньшее влияние на температуру в зоне резания из-за кратковременности контакта стружки с инструментом. Охлаждающее действие СОЖ уменьшается с увеличением толщины стружки и скорости резания. Охлаждающие свойства потока жидкости или газа, обтекающего твердое тело, оцениваются с помощью коэффициента теплоотдачи, величина которого определяется по экспериментальным зависимостям [20]. Для случаев охлаждения обычным поливом или струйным способом под давлением 2—15 ГПа в подводящей системе этот коэффициент может быть определен из зависимости вида

$$\alpha = 0,21 k \cdot \frac{\lambda^{0,62} \rho^{0,62} c_p^{0,38} r^x v_{дн}^{0,62} q^y}{\mu^{0,24} l_0^{0,38}} \quad (1.3)$$

где λ , ρ , c_p , μ , r — соответственно коэффициент теплопроводности, плотность, удельная теплоемкость, коэффициент динамической вязкости и теплота парообразования среды;

$v_{дн}$ — действительная скорость потока в момент встречи с охлаждаемой поверхностью,

$$v_{дн} = k_d v_n;$$

v_n — скорость потока на выходе из насадка;

k_d — коэффициент, учитывающий падение скорости в зависимости от изменения расстояния до охлаждаемой поверхности и угла атаки β . $k_d = 1$ при некотором критическом расстоянии и угле атаки $\beta = 90^\circ$;

k_n — коэффициент, учитывающий изменение теплотехнических свойств жидкости или газа при температуре в зоне соприкосновения по сравнению с таковыми на значительном расстоянии от нее;

l_0 — величина характерного размера охлаждаемого участка;

q — расход жидкости.

Существует критическое значение q , до которого увеличение расхода способствует росту охлаждающей способности. Дальнейшее увеличение расхода на охлаждающую способность не влияет. Анализ зависимости (1.3) показывает, что лучшие охлаждающие свойства имеют жидкие металлы, обладающие хорошей теплопроводностью, большей температурой кипения и

более высоким коэффициентом теплоотдачи, чем водные и масляные СОЖ. Коэффициент теплоотдачи масляных СОЖ в 5—8 раз ниже, чем водных.

2.1.2. СМАЗОЧНЫЕ СВОЙСТВА СОЖ

Смазочное действие СОЖ заключается в уменьшении схватывания, задира, фрикционного нагрева и сил трения при перемещении стружки и обрабатываемого металла по передней и задней поверхностям инструмента. В результате взаимодействия компонентов СОЖ с высокорекреакционноспособными ювенильными поверхностями, возникающими непрерывно на инструменте, обрабатываемой детали и стружке, на последних образуются более или менее сложные вещества, при появлении которых интенсивность непосредственного взаимодействия трущихся поверхностей снижается или полностью предотвращается. При этом механизме среда может оказать химическое, диффузионно-химическое или контактно-гидродинамическое смазочные действия. В результате этих действий на металлических поверхностях могут возникнуть пленки различного происхождения, представляющие собой тончайший поверхностный слой, отличающийся от основного металла по составу и структуре.

В общем случае внешняя среда способна образовать на поверхности одновременно или порознь три вида пленок:

тонкие пленки первоокислов и химических соединений, обладающие высокой термостойкостью (особенно окислы), эффективные на всех операциях и при обработке всех металлов;

относительно более толстые пленки поверхностно-активных веществ (ПАВ), особенно жиров, роль которых наиболее значительна при обработке резанием в условиях, когда инструментальный и обрабатываемый материалы проявляют особую склонность к адгезии и схватыванию. В состав ПАВ входят сульфокислоты SH, карбоксилы COOH и гидроксилы OH. Однако термостойкость этих пленок ограничена. Если применяемые ПАВ взаимодействуют с кислородом, то, по-видимому, могут возникать лиганды, которые образуют на некоторых металлических поверхностях комплексы более термостойчивые;

толстые локализованные в полостях пленки, обладающие высокой упругостью формы и обеспечивающие эффект контактно-гидродинамической смазки. Для образования такого вида пленок существенно важной является вязкость СОЖ, которая имеет оптимум для каждой из операций. Для оказания смазочного действия внешняя среда должна проникнуть на площадки трения. Проникающая способность среды является ее первичным свойством.

Возможны следующие случаи проникновения среды в зону резания [37]:

внешняя среда поступает в зону взаимодействия, не изменяя при этом ни своего агрегатного состояния, ни химического состава;

вещество, вводимое извне, при поступлении в зону взаимодействия изменяет или агрегатное состояние (например, часть жидкости испаряется), или химический состав (например, серо-органическая присадка входит в реакцию с хлорорганической присадкой) прежде чем вступить в реакцию с трущимися поверхностями;

среда при поступлении в зону взаимодействия изменяет агрегатное состояние и входит в реакцию с кислородом перед тем как осуществляется реакция с поверхностью или во время осуществления этой реакции;

поступающая извне среда изменяет агрегатное состояние и подвергается термическому разложению (пиролизу) с образованием ряда новых химических продуктов, которые вступают во взаимодействие с кислородом, а затем и с трущимися поверхностями.

Первый случай встречается чрезвычайно редко — при резании на низких скоростях, когда масляные СОЖ полностью разделяют трущиеся поверхности. Второй и третий случай имеют место при применении жировых и минеральных масел. Четвертый случай наиболее распространенный.

Обычно режим резания достаточно высок и температура резания превосходит температуру кипения и термического разложения самых высококипящих компонентов СОЖ, которая в присутствии активирующих металлов значительно понижается. В результате пиролиза СОЖ или их компонентов образуются новые продукты, физико-химические свойства которых отличаются от исходных. На различных участках зоны взаимодействия внешняя среда вследствие неодинаковости температуры может находиться в различных состояниях. Установлено, что проникающие свойства улучшаются при уменьшении размеров атомов, ионов и молекул, а также при уменьшении вязкости среды и ее поверхностного натяжения. Крупные молекулы могут «застрять» на довольно значительном расстоянии от лезвия. Проникающая способность сред значительно повышается, если они находятся в мелкораспыленном парообразном состоянии.

Интенсивность и результаты взаимодействия компонентов внешней среды с вновь возникающей поверхностью твердого тела обусловлены, во-первых, химическим составом, структурой, физическим состоянием, строением, макро-, микро- и субмикроскопической поверхности твердого тела; во-вторых, химическим составом и строением, а также энергетическим состоянием ком-

понентов внешней среды; в третьих, степень затрудненности доступа среды на площадки трения.

Сравнительную оценку смазочного действия СОЖ можно осуществить с помощью комплексных испытаний, методика которых разработана Б. И. Костецким [27]. Она позволяет получить четыре количественные характеристики: стойкость сопротивления схватыванию 1-го рода, характеризующую максимальным удельным давлением p , МПа; величину интенсивности износа J , мг/ч; коэффициент трения; способность сопротивляться схватыванию 2-го рода, характеризующую максимальной скоростью скольжения, м/с. Кроме количественных характеристик, эффективность смазки определяется по качеству поверхности трения: величине микротвердости H_v и величине шероховатости R_a .

2.1.3. РЕЖУЩИЕ И ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА СОЖ

Под режущими свойствами СОЖ понимают способность технологической среды облегчать разрыв связей в обрабатываемом материале при внедрении инструмента.

Под пластифицирующими свойствами СОЖ понимают способность технологической среды облегчать пластическое деформирование металлов. Пластифицирующее действие СОТС уменьшает трение между инструментом и стружкой, инструментом и формируемой поверхностью, снижает избыточные деформации в стружке и обрабатываемом изделии, что позволяет снизить силу резания и улучшить качество обработанной поверхности.

В основе проявления режущего и пластифицирующего действия СОТС лежит эффект Ребиндера, представляющий собой совокупность явлений, заключающихся в изменении механических свойств твердых тел под влиянием поверхностных физико-химических процессов, вызывающих снижение поверхностной энергии твердого тела [35].

Академик П. А. Ребиндер установил значительное влияние на прочность металлов расклинивающего действия адсорбционных пленок жидкостей в поверхностных трещинах металлов. Молекулы некоторых адсорбированных на поверхности веществ обладают высокой активностью. Распространяясь по поверхности, они попадают в микротрещины (ширина щели не более 0,1 мкм), в глубине которых производят тем более сильное расклинивающее действие, чем уже щель.

Большим влиянием обладает адсорбция из малоактивных растворителей поверхностно-активных веществ, родственных твердому телу по молекулярной природе. Например, небольшие добавки активного олова к малоактивному свинцу значительно повышают эффективность влияния жидкометаллических сред

при обработке стали резанием, добавки некоторых металлов в ртуть увеличивают степень влияния расплава на прочность алюминия.

Адсорбция возможна не только на поверхности металла, но и внутри его, когда примеси, растворенные в твердом теле, адсорбируются на внутренних поверхностях (границах зерен или каких-либо дефектах структуры).

Если вводимая среда обеспечивает относительно слабое уменьшение поверхностной энергии, то достигается пластифицирующий эффект, т. е. облегчение и локализация пластической деформации в тонком поверхностном слое.

Если же в зону обработки вводится сильно поверхностно-активная среда (например, расплавы некоторых металлов), то достигается охрупчивание твердого тела и облегчение его разрушения вплоть до самопроизвольного диспергирования твердого тела на частицы коллоидных размеров. При резании углеродистых и нержавеющей сталей эффективным оказывается расплав эвтектики олово—цинк, при резании титановых сплавов — эвтектики кадмий—висмут.

2.1.4. МОЮЩИЕ СВОЙСТВА СОЖ

Моющее действие СОЖ направлено на обеспечение непрерывной эвакуации из зоны обработки отходов процесса резания — продуктов износа инструмента, мелких стружек, карбидов, выломанных из структуры обрабатываемого материала. При шлифовании моющий эффект заключается в предотвращении налипания и обволакивания абразивного материала и связки круга и в очистке связки круга при закрытии ее пор. Механизм моющего действия весьма сложен и пока слабо исследован.

Лучшими моющими свойствами при обработке всех металлов резанием обладают керосин и керосиномазляные смеси. Большинство же СОЖ обладают избирательным моющим действием.

Очевидными средствами повышения вымывающего действия СОЖ являются увеличение количества СОЖ, подаваемой в зону резания в единицу времени, и увеличение скорости потока.

2.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЖ

Анализ механизмов основных видов износа режущих инструментов и формирования поверхностного слоя в процессе резания, с одной стороны, и функциональных свойств СОЖ — с другой, показывает, что СОЖ могут оказывать заметное влияние как на износ инструмента, так и на качество обработанной по-

верхности, в частности на ее шероховатость. Влияние это носит избирательный характер, неоднозначно, зависит от условий резания. Оно вытекает из приведенных ниже соображений.

2.2.1. ВЛИЯНИЕ СОЖ НА ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА

Выше было указано, что на режимах резания, применяющихся на практике, суммарный (объемный) износ в большинстве случаев является результатом одновременного действия адгезионного и диффузионного износов. Для уменьшения интенсивности адгезионных процессов необходимо снизить контактные нагрузки; уменьшить фактическую площадь контакта ювенильных поверхностей путем «загрязнения» их пленками физического или химического происхождения. Указанные действия могут произвести СОЖ, содержащие в своем составе в качестве присадок поверхностно-активные вещества (ПАВ). Молекулы ПАВ (олеиновая кислота, олифа, окисленный керосин и др.) обладают способностью адсорбироваться нормально к металлическим поверхностям, препятствуя непосредственному контакту, проявленную адгезии, схватыванию и слипанию.

Для снижения интенсивности диффузионного износа нужно снизить температуру контакта до оптимальной или близкой к ней, создать на пути диффузионных потоков экранирующие пленки, хотя бы на одной из контактных поверхностей. Снижение температуры может быть достигнуто с помощью СОЖ, обладающих высокими охлаждающими свойствами (эмульсии, синтетические СОЖ). Экранирующие пленки могут быть созданы с помощью химически активных веществ (ХАВ), входящих в качестве присадок в эмульсоны и масла, или образованы в результате пиролиза и последующего взаимодействия продуктов распада с контактными поверхностями. В результате этих процессов на контактных поверхностях образуются химические соединения с пониженной по сравнению с основным металлом прочностью. Эти пленки (окислы железа, хлориды железа, мягкая амальгама и др.) при трении легко разрушаются, и разрушение это не распространяется в глубь металла. При введении нейтральных сред, обладающих высокими охлаждающими свойствами (жидкий азот, углекислота и др.), из зоны резания вытесняется кислород, создаются благоприятные условия для образования сильно развитого нароста, способствующего снижению износа.

Совокупный смазочный эффект, т. е. предотвращение непосредственного контакта обрабатываемого и инструментального материалов, в большинстве случаев оказывает благотворное влияние, уменьшая теплообразование, адгезию, схватывание и

диффузию, что, в конечном счете, улучшает все показатели процесса резания. Однако нельзя не учитывать возможные отрицательные результаты образования смазочных пленок. Укажем на основные случаи возможного отрицательного эффекта.

1) Когда на контактной поверхности стружки, поверхности резания, на обрабатываемой детали или инструменте возникают пленки, обладающие прочностью и твердостью большей, чем у обрабатываемого материала. В этих условиях возрастают силы трения и износ (например, при точении свинца быстрорежущим резцом при применении $SiCl_4$).

2) Если компоненты или продукты распада среды вступают в излишне активное химическое взаимодействие с инструментальным и обрабатываемым материалом, а образующиеся в результате пленки легко удаляются, обуславливая интенсификацию абразивного износа инструмента. К такому результату приводит избыточная доставка кислорода к зоне трения и иногда применение СОЖ с серохлоросодержащими добавками.

При резании твердосплавными инструментами возможно активное протекание процессов окисления связки и карбидов тугоплавких элементов, что сильно интенсифицирует их износ. При тонкой абразивной обработке титановых сплавов окисные пленки на обрабатываемой поверхности вредны, так как вызывают повышение твердости и охрупчивание снимаемого припуска.

3) В случае, если реакция образования пленок сопровождается выделением значительного количества теплоты (например, точение твердосплавными инструментами и ряд процессов шлифования с применением высококонцентрированного раствора нитрита натрия).

4) В условиях резания, когда наростообразование оказывает активное защитное действие, возникающие пленки, способствующие исчезновению нароста, могут оказать отрицательное влияние. Это наблюдается часто, но вопрос до конца не изучен, нужны дополнительные исследования.

5) Если компоненты среды и продукты ее разложения могут химически реагировать с обрабатываемой поверхностью детали и иногда диффундировать в подповерхностные слои. Этот процесс полезен, когда он вызывает пассивирование поверхности детали, но он может оказаться и вредным, если ухудшает ее эксплуатационные свойства.

Общепринятой методики и критериев оценки смазочной способности СОТС применительно к условиям резания пока нет. Однако на основании производственного опыта применения СОТС при резании металлов, результатов многочисленных исследований влияния различных составов СОТС на процесс гра-

ничного трения можно считать установленным, что лучшими смазывающими свойствами обладают поверхностные пленки, обладающие высокой механической прочностью на сжатие, низким сопротивлением сдвигу и высокой температурой плавления. Такие свойства характерны для пленок из материалов, обладающих слоистой структурой (графит, дисульфиды и диселениды Mo, W, Nb и др.). Коэффициент трения при этом уменьшается, если образовавшиеся пленки будут обладать меньшей прочностью, чем металлы, за счет которых они образовались. К таким относятся галогениды тяжелых металлов (Fe, Co, Ni, W, Mo, Cr, Pb и др.), входящие в состав органических соединений. Смазочные пленки, обладающие необходимыми физическими и химическими свойствами, эффективны только при достаточной их толщине (от нескольких до 400—500 молекулярных слоев). Так, окисные пленки Mo, Ni, Nb, Cu должны иметь толщину, равную 1—1,2 мкм, а Ta — 0,2 мкм. При меньшей их толщине смазочные свойства не проявятся. На формирование указанных пленок необходимы время и возможность проникновения в зону контакта образующих их веществ. С ростом температуры резания эффективность смазочно-охлаждающих жидкостей, обладающих главным образом смазывающими свойствами, должна падать и возрастать роль сред, обладающих высокими охлаждающими свойствами.

2.2.2. ВЛИЯНИЕ СОЖ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Принципиальная возможность влияния СОЖ на шероховатость обработанной поверхности вытекает из оказываемого ими влияния на интенсивность износа, определяющего состояние режущих кромок, и интенсивность процессов схватывания и наростообразования.

Кроме того, СОЖ способны удалять вырванные из инструмента частицы, обладающие абразивными свойствами, из зоны контакта, способствуя уменьшению шероховатости обработанной поверхности.

Очевидно, что все СОЖ, способствующие снижению интенсивности износа и, в первую очередь, активные, облегчающие пластическую деформацию, должны оказывать благоприятное влияние и на шероховатость обработанной поверхности. Исключения составляют нейтральные среды (аргон, углекислота, азот и др.), способствующие возникновению моющего нароста, резко увеличивающего шероховатость обработанной поверхности.

Степень и направления изменения шероховатости зависят от свойств обрабатываемого и инструментального материалов,

в частности, их химического средства, свойств СОЖ, их адгезионной активности по отношению к материалам инструмента и обрабатываемой детали, уровня температуры на контактных поверхностях. По-видимому, наиболее эффективными в этом смысле должны быть СОЖ сложного состава, содержащие не один, а определенную совокупность веществ, особенно тех, которые содержат в своем составе соединения кремния с азотом и бора с азотом, способствующие повышению износостойкости рабочих поверхностей инструмента.

Способность СОЖ оказывать влияние на процесс стружкообразования, износ и стойкость инструмента, точность обработки и качество поверхностного слоя, в том числе шероховатость обработанной поверхности относится к их технологическим свойствам. Влияние СОЖ на силы и температуру резания к этим свойствам не относится. Однако знание этого влияния обеспечивает более полную оценку воздействия СОЖ на процесс резания и уменьшает вероятность ошибочного заключения при испытаниях их технологических свойств.

Понятие о технологических свойствах СОЖ как постоянных свойствах, присущих собственно СОЖ, не имеет смысла без учета результатов их взаимодействия с обрабатываемым и инструментальным материалами в условиях, складывающихся при выполнении конкретной операции обработки металлов резанием.

Теоретическим или экспериментальным путем количественные связи между функциональными и технологическими свойствами СОЖ пока не установлены. Поиск таких связей применительно к условиям резания, по существу, только начинается. Технологические свойства СОЖ устанавливаются экспериментальным путем.

Оценочные показатели технологических свойств СОЖ совпадают с показателями обрабатываемости металлов резанием. Процедура оценки технологических свойств СОЖ, в конечном итоге, является процедурой оценки обрабатываемости металлов резанием с обеспечением максимального уровня по заданным критериям за счет оптимизации сочетания переменных факторов процесса резания.

2.2.3. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОЖ

Все методы испытаний технологических свойств СОЖ можно разделить на три группы. Первая группа — это методы, не связанные с процессом обработки резанием. Ранжировка СОЖ в этом случае производится в соответствии с изменением различных физико-химических свойств, в том числе показателей, полу-

чаемых с помощью испытательных машин трения. Анализ результатов таких испытаний показывает, что при использовании разных систем испытательных машин результаты получаются противоречивые и не совпадают (часто бывают противоположными) с результатами испытаний на металлорежущих станках.

Вторая группа — это методы, при которых ранжировка СОЖ по технологическим свойствам осуществляется с использованием функциональных свойств СОЖ или отдельных характеристик процесса резания (составляющих силы резания, длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента, износа и стойкости инструментов, шероховатости обработанных поверхностей и т. д.). В [36] приведены результаты специальных исследований, в ходе которых проводилось ранжирование семи масляных и шести водных СОЖ по экспресс-методам и по результатам полных технологических испытаний при точении, отрезке, сверлении и фрезеровании сталей 45 и 12Х18Н10Т инструментами из быстрорежущей стали. В основу оценки технологических свойств СОЖ при обработке резанием было положено их влияние на износ и стойкость режущего инструмента. Дополнительными критериями оценки являлись шероховатость, точность, крутящий момент. Установлено, что ранжировка СОЖ по результатам исследований, в которых в качестве критериев оценки эффективности приняты косвенные показатели (силы резания, характеристики смазочных свойств и др.), не совпадает с полученной при выполнении реальной операции резания.

Более достоверные результаты при оценке технологических свойств СОЖ можно получить при использовании в качестве критериев параметров процесса резания, определяющих производительность и себестоимость операции. К ним относятся износ и стойкость инструмента, точность и качество (обычно шероховатость) обработанных поверхностей. Наибольшее распространение получили методики, при реализации которых экспериментально устанавливаются прямые зависимости какого-то одного показателя обрабатываемости (например стойкости) от рода СОЖ при постоянных остальных условиях резания (марка инструментального материала, геометрия заточки инструмента, режим резания и др.). Ранжировка СОЖ в этом случае производится либо по коэффициенту относительной стойкости k_T , либо по коэффициенту уменьшения шероховатости $k_{ш}$, либо по коэффициенту повышения точности $k_{тч}$, величина которых определяется по формуле

$$k_{п} = \frac{П_{сож}}{П_{без сож}},$$

где $k_{п}$ — один из коэффициентов улучшения показателей обрабатываемости (k_T , $k_{ш}$ или $k_{тч}$);

$P_{\text{сож}}$, $P_{\text{без сож}}$ — показатели обрабатываемости (стойкость, точность или шероховатость) соответственно при применении СОЖ и без СОЖ.

В результате подобных исследований устанавливается СОЖ, применение которой обеспечивает получение наибольшего эффекта по какому-то одному показателю обрабатываемости при определенных условиях выполнения конкретной операции. При изменении этих условий ранжировка может оказаться другой. На результаты испытаний технологических свойств СОЖ большое влияние оказывает скорость резания. Единой точки зрения о том, при какой скорости резания следует проводить сравнение СОЖ, не существует.

Согласно [30], эффективность СОЖ следует сравнивать при оптимальной скорости резания. В [37] испытания рекомендуется проводить на скорости резания, обеспечивающей при работе на товарной СОЖ среднюю стойкость инструментов, соответствующую минимальной себестоимости выполнения операций, а также при изменении ее в 1,2...1,4 раза как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Подача и глубина резания должны соответствовать режиму резания для полустовых операций.

Для черновых и полустовых операций стойкость определяется по зависимости износ-время, а для чистовых — износ-время, точность-время и шероховатость-время. За величину технологической стойкости принимается наименьшая из трех. Например, при обработке стали 45 развертками из стали Р6М5 с применением 3%-ной эмульсии «Укринол-1» были установлены стойкости по износу ($h_3 = 0,8$ мм) $T_1 = 3,5$ мин, по шероховатости ($R_a = 1,25$ мкм) $T_2 = 470$ мин, по точности (9 кв.) $T_3 = 56$ мин. Технологическая стойкость в этом случае равна наименьшей из трех — 3,5 мин. Определение стойкости только по общепринятым нормам допустимого износа может привести к значительным ошибкам в оценке результатов испытаний.

2.3. СОВРЕМЕННЫЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Массовый постоянно увеличивающийся характер использования СОТС в машиностроительных и металлообрабатывающих отраслях промышленности обуславливает необходимость разработки систем классификации и выбора отечественных и зарубежных СОТС. Рекомендации должны основываться на физико-химических и технологических свойствах СОТС и установленных для них областях рационального применения. Классификация

современных СОТС для обработки металлов резанием согласно [36] приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

СОТС	Обозначение	СОТС	Обозначение
Газообразные:	Г	второй 10—20	М2
инертные	Г1	(15, 22)	
активные	Г2	третьей 20 (32, 46,	М3
Жидкие:		68, 100)	
водосмешиваемые	В	Быстроиспаряющиеся	И
образующие в воде	Э	Расплавы:	Рс
эмульсии:		металлов	Рс1
грубые дисперсии	Э1	солей	Рс2
микроэмульсии,	Э2	других веществ	Рс3
дающие прозрачные	Р	Твердые:	Т
растворы на основе:		неорганические	Т1
органических	Р1	(неметаллы)	
веществ		мягкие металлы	Т2
неорганических	Р2	органические	Т3
веществ		смешанные	Т4
смеси органических	Р3	другие	Т5
и неорганических		Пластичные:	—
веществ		на углеродистых	П1
Масляные:	М	загустителях	
группы кинематической		на мыльных загустителях	П2
вязкости $\nu \cdot 10^6$ м ² /с, при		на смешанных загустителях	П3
50°С (по ИСО):		на других загустителях	П4
первой 1—9 (2, 3, 5,	М1		
7, 10)			

Основную массу СОТС составляют жидкие среды — СОЖ, нашедшие наибольшее применение при обработке металлов резанием. В дальнейшем основное внимание будет уделено именно этим СОТС.

2.3.1. АССОРТИМЕНТ И ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ СОЖ

Базовый ассортимент отечественных СОЖ, производство которых освоено в промышленном масштабе, включает два класса: водосмешиваемые и масляные СОЖ (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Класс СОЖ	Количество видов СОЖ			
	Всего	В том числе		
		без присадок усиливающих смазочные свойства	с добавками только жировых веществ (жировых кислот и их эфиров)	с другими присадками, усиливающими смазочные свойства
Водосмешиваемые СОЖ				
Всего	25	5	2	18
В том числе:				
образующие в воде грубые дисперсии (молочно-белые эмульсии)	7	1	1	5
образующие в воде микроэмульсии (полупрозрачные растворы)	6	1	1	4
дающие в воде прозрачные растворы	12	3	—	9
Масляные СОЖ	21	3	3	15
Всего	46	8	5	33

Примечание. Ассортимент включает виды СОЖ, проявляющих активность по отношению к металлам; всего таких СОЖ — 5, в том числе водосмешиваемых — 2, масляных — 3.

Современные СОЖ — это сложные многокомпонентные системы. Каждый компонент сообщает СОЖ определенные свойства, необходимые для успешного ее применения в производственных условиях. Для эффективного применения СОЖ в производственных условиях недостаточно только высоких технологических свойств, должны быть также обеспечены необходимые эксплуатационные свойства, такие как легкость приготовления в условиях предприятий-потребителей, стабильность, отсутствие корродирующего действия на изготавливаемые детали и оборудование, способность консервации обрабатываемых деталей на межоперационный период, отсутствие растворяющего действия на окрасочное покрытие станка и разъедающего — на изоляцию обмоток электрооборудования, бактериологическая устойчивость, морозоустойчивость, удовлетворительные санитарно-гигиенические свойства, легкость разложения перед сбрасыванием в сточные воды и др.

2.3.1.1. Масляные СОЖ

Эти СОЖ обычно состоят из минерального масла с вязкостью при 50°C (2—40) 10^{-6} м²/с, без присадок или с присадками различного функционального назначения (антифрикционными, антиизносными и антизадириными, антиокислительными, моющими, антипенными, антикоррозионными и др.). Они обладают хорошими смазочными свойствами. Однако им присущ ряд недостатков: низкая охлаждающая способность, высокая испаряемость и пожарная опасность, высокая стоимость. Минеральное масло в масляных СОЖ занимает 60—95% по массе. Это высокоочищенные нафтеновые или парафиновые масла.

Чистые минеральные масла малоэффективны при резании, а растительные дороги и дефицитны. Поэтому в качестве СОЖ используют масла, легированные присадками; обладающие антифрикционными, противозадириными или противизносными свойствами.

Антифрикционные присадки — это обычно технические растительные масла и жиры, такие как рапсовое масло, свиной жир (лярд), жирные кислоты растительных масел и их эфиры, а также полимерные (димеры, тримеры) ненасыщенные жирные кислоты. Они составляют 5...25%.

Антиизносные присадки уменьшают износ режущего инструмента при возрастании нагрузки. Из них наиболее известны диалкил-фосфиты $(RO)_2POH$ (*R*-алкил C_3-C_{18}). Иногда их заменяют фосфатами $(RO)_2P(O)OH$, например, дилаурилфосфатом. Применяются также производные дитиофосфорной кислоты, например, диалкилдитиофосфат цинка $[(RO)_2P(S)S]_2Zn$ (*R*-алкил, C_8-C_{10} -изоалкил), которые придают СОЖ антикоррозионные свойства. Концентрация противизносных присадок в масляных СОЖ обычно 0,5...5%. Она зависит от назначения продукта, а также от состава других присадок.

Антикоррозионные присадки предотвращают схватывание и износ режущего инструмента при наиболее тяжелых температурных и механических нагрузках. Это чаще всего вещества, содержащие серу, хлор, фосфор — продукты осернения элементарной серой или хлоридами серы минеральных масел (0,5...0,8% серы) и жиров (8...15% серы). Эффективными присадками к масляным СОЖ являются также дисульфиды (например дибензилдисульфид) и полисульфиды (30...50% серы). Содержание присадок серы составляет от 0,5 до 3% (сουλфиды и полисульфиды), от 3 до 20% (осерненные жиры).

Ассортимент товарных хлоросодержащих противозадириных присадок, используемых в СОЖ, сравнительно невелик из-за их токсичности, коррозионного воздействия на деталь и оборудование и низкой термической стабильности. Наиболее применяю-

шейся присадкой является хлорированный парафин, получаемый хлорированием нефтяных или буроугольных парафинов, находят применение хлорированный тетрамер пропилена (30...50% хлора), в отдельных случаях применяется также метилхлороформ, хлорированные эфиры жирных кислот (до 30% хлора). Хлоросодержащие присадки в количестве 3...15% применяют при обработке высоколегированных сталей. При обработке жаропрочных сплавов концентрация хлорпарафина может достигать 40%. В последние годы нашли применение масляные СОЖ, приготовленные на основе йода или его соединений, обеспечивающих низкие коэффициенты трения. Их применяют при обработке титановых и других труднообрабатываемых сплавов. Однако эти присадки могут вызвать коррозионное растрескивание обрабатываемого металла.

Все большее распространение получают комплексные присадки, содержащие в своем составе серу и хлор в одном соединении, являющиеся результатом взаимодействия несредельных соединений — жиров и олефинов, включая их полимеры, — с хлоридами серы: хлоросульфидированный лярд (6...8% серы, 6...8% хлора) и хлоросульфидированный динизобутилен (19...22% серы, 23...25% хлора). Эти присадки входят в СОЖ в количестве 0,5...10%. В качестве присадок применяются также соединения хлора с другими функциональными группами — хлоропроизводные кислоты фосфора, например, бис-(2-хлорэтил)-фосфит $\text{HO P}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl})_2$ и эфиры трихлорметилфосфиновой кислоты $\text{Cl}_3\text{CP}(\text{OR})_2$ (*R*-алкил C_4C_{12}).

Ингибиторы коррозии. На обрабатываемые детали и детали станка могут оказать коррозионное воздействие продукты окисления минеральных масел, присадки и продукты их разложения. В зависимости от состава масляных СОЖ ингибиторами коррозии служат различные присадки. В ряде случаев достаточно эффективными ингибиторами коррозии являются полимерные ненасыщенные жирные кислоты, дисульфиды, аммонофосфаты, диалкилдитиофосфаты. Для СОЖ с присадками, содержащими серу и хлор, эффективны щелочно-земельные соли жирных, нафтеновых, алкилсалициловых и сульфокислот. Для борьбы с коррозией черных металлов применяют *N*-ацилоаркозины $\text{RCO}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{COOH}$ (*R*-олеил), замещенные имидазолы, а также производные (соли аминов, амиды и эфиры) алкилйной кислоты. Указанные вещества добавляются в СОЖ в количестве 0,1...2%.

Антиоксиданты. В процессе резания масляные СОЖ подвергаются интенсивному окислению. Для борьбы с их окислением применяют различные антиокислители, чаще всего *N*-фенил-*a*-нафтиламин и 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенол (ионал,

топанал), 4,4-метил-бис-(2,6-ди-*трет*-бутилфенол) по отдельности или в смесях. Применяются также диалкилдитиофосфаты. Добавка 0,1...0,2% указанных присадок обычно достаточна.

Антипенные присадки добавляют в масляные СОЖ для уменьшения пенообразования. Наибольшее распространение получили диметилсиликоновые полимеры, а также эфиры жирных кислот и гликолей, гели нефтяных восков, кальциевые соли замещенных жиров или сульфокислот.

Антитуманные присадки добавляют для снижения образования и выделения масляного тумана (аэрозоля). В качестве антитуманных присадок рекомендуются полиолефины (например, сополимер этилена и пропилена) в количестве 0,5...3%. Ассортимент современных масляных СОТС приведен в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Наименование	Номер технических условий, ГОСТ	Классификационное обозначение
МР-1у	ТУ-38-101731—80	М2.112
МР-2у	ТУ 38-УССР 2-01-205—77	М3.112
МР-3	ТУ 38-УССР 2-01-254—83	М1.113
МР-4.	ТУ 38-101481—76	М1.114
МР-5у	ТУ 38-101780—82	М3.113
МР-6	ТУ 38-УССР 2-01-290—81	М3.114
МР-7	ТУ 38-УССР 2-01-343—82	М3.111
МР-10	ТУ 38-10197—84	М2.112
ОСМ-1	ТУ 38-УССР 2-01-228—81	М1.111
ОСМ-3	ТУ 38-УССР 2-01-152—75	М3.111
ОСМ-5	ТУ 38-УССР 2-01-249—76	М2.112
ШП	ТУ 38-УССР 2-01-243—79	М2.113
ЛЗ-СОЖ1СН	ТУ 38-101126—79	М3.111
ЛЗ-СОЖПНО	ТУ 38-101116—79	
ЛЗ-СОЖ2СНО	ТУ 38-101115—75	М2.111
Украinol-14	ТУ 38-001305—78	
Сульфифрезол	ГОСТ 122—54	М3.111
В-296. В-32К	ТУ 38-10188—75	М3.114
В-35	ТУ 38-10188—75	М2.114
В-31	ТУ 38-10189—75	М1.112

Кроме приведенных в табл. 2.3, при обработке резанием применяются ВИ-2 или ВИ-4, МР-99, ИСЭ-25, СЭЛ-1 и др.

Характеристика масляных СОЖ

МР-1у — минеральное масло, активизированное комплексом антиизносных и антизадирных присадок (природной серой, хлорпарафином, фосфорной присадкой) и загущенное полиизо-бутиленом.

МК-2у — средневязкое минеральное масло, легированное химически активными, в основном хлоросодержащими, антизади-рными присадками.

МР-3 — маловязкое минеральное масло коричневого цвета, легированное небольшим количеством растительных масел и высокоактивными противозадирными серосодержащими при-садками.

МР-4 — маловязкое индустриальное масло светло-коричне-вого цвета с большим количеством антизадирных хлороргани-ческих присадок (35% хлорпарафина). Заменитель олеиновой кислоты.

МК-5у — концентрат для приготовления масляных СОЖ путем разбавления в индустриальных маслах общего назначе-ния (И-5А, И-12А, И-20А, И-15А, веретенное АУ). Представ-ляет собой композицию высокоактивных противоизносных, про-тивозадирных присадок (хлорсульфидированного жира, молотой серы) в индустриальном масле. Может применяться в нераз-бавленном виде.

МР-6 — минеральное высокоактивное масло, легированное хлорными и серными присадками.

МР-7 — осерененное минеральное масло. Заменитель суль-фозфрезола. Обладает по сравнению с последним пониженной склонностью к образованию масляного тумана и дыма.

МР-10 — активированное масло. Содержит сложный конгло-мерат противоизносных и противозадирных присадок.

МР-99 — аналогичен концентрату МР-5.

ОСМ-1 — маловязкое, легко фильтрующееся масло, пред-ставляющее собой узкую очищенную фракцию нефти (анаста-сиевской), слегка загущенную поверхностно-активными веще-ствами. Заменитель керосина и керосино-масляных смесей. Обла-дает по сравнению с последними значительно большей пожаро-безопасностью, пониженной испаряемостью.

ОСМ-3 — маловязкое неактивное минеральное хлорирован-ное масло, содержащее антиокислительные, антиизносные, анти-задирные и противопенные присадки (серы 0,2...0,4%, хлора 0,4...0,9%, фосфора 0,1...0,2%).

ОСМ-5 — средневязкое минеральное масло, содержащее 10% хлорпарафина и небольшое количество полимерных загустите-лей, является эффективным заменителем сульфофрезола.

ШП — минеральное масло, успешно заменяющее импортные и дефицитные продукты, легировано различными присадками.

ЛЗ-СОЖ1СП — сложный продукт, состоящий из смеси сульфозфрезола (35%), индустриального масла И-12А (10,5%), жирного растительного масла (10%), хлорпарафина ХП-470 (34%) и других активных присадок.

ЛЗ-СОЖ1ПИО — СОЖ, состоящая из индустриального масла И-12А, легированного различными присадками, содержащими серу и хлор. Содержит также антиокислительную присадку нонол.

ЛЗ-СОЖ2СИО — представляет собой смесь минеральных масел, активированных присадками, содержащими серу и хлор, и жиров ЛЗ-26СО (8%).

Укринол-14 — средневязкая смесь минеральных масел, содержащая хлорные, хлорфосфорные и жировые присадки.

Сульфозфрезол — представляет собой смесь нефтяных масел (И-12А, индустриального, выщелочного, цилиндрического 2, масляного асидола), зимних и летних интролов. Эта смесь активирована молотой серой (1,4%).

В-296, В-32к и В-35 — химически активные минеральные масла, в состав которых в качестве противозадирных и противозносных присадок входят хлорпарафин (до 50%), присадка ДФ-11, а также дипроксиол и окисленный петролатум.

В-31 — химически активное маловязкое масло, в состав которого входит хлорированный парафин (2%), диалкилдитиофосфат цинка (5%), сульфат кальция (5%).

2.3.1.2. Водосмешиваемые СОЖ

Водосмешиваемые СОЖ могут содержать минеральные масла, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, блокеры, противоизносно-противозадирные присадки, антипенные добавки, электролиты, вещества-связки (вода, спирты, гликоли и др.) и другие органические и неорганические вещества. Водосмешиваемые СОЖ обладают высокой охлаждающей способностью, пожаробезопасностью, меньшей опасностью для здоровья станочников, сравнительно невысокой стоимостью рабочих растворов. Однако они обладают и рядом недостатков: сравнительно низкими смазочными свойствами, невозможностью применения в особо тяжелых условиях обработки металлов, необходимостью решения вопросов разложения и утилизации отработанных составов. Различают эмульсии, приготовляемые из эмульсолов, и синтетические и полусинтетические СОЖ, приготовляемые из концентратов.

Водные (обычно 1...10%-ные) эмульсии — это дисперсные системы, состоящие из двух жидкостей: воды и эмульсола.

В состав эмульсолов входят базовые минеральные масла (70...85%), эмульгаторы, вещества-связки, ингибиторы коррозии, бактерициды, антипенные присадки, а в ряде случаев также антипизносные и антизадирные присадки.

Минеральные масла, используемые в эмульсолах, чаще всего нафтенового или смешанного основания вязкостью 15...30 сСт при 50°. Возможно применение масел и другого углеводородного состава, однако получение стабильного концентрата и эмульсий в этом случае затруднено.

Эмульгаторы являются поверхностно-активными веществами (ПАВ), понижающими поверхностное натяжение на границе раздела фаз «вода—масло» и тем самым способствующими эмульгированию. Эмульгаторы предотвращают слияние капелек эмульсии (коалесценцию). Кроме того, они выполняют роль смазочных веществ и ингибиторов коррозии. В качестве эмульгаторов применяются аминоктивные и неионогенные ПАВ, а также их смеси. Первые в основном представлены катионными, натриевыми или триэтаноламиновыми мылами нафтеновых, жирных, смоляных и сульфокислот. Вторые — оксэтилированными алкилфенолами, жирными спиртами, эфирами жирных кислот и полиолов, моно- и диэтаноламидами жирных кислот.

Вещества-связки предназначены для обеспечения совместности базового минерального масла с эмульгаторами. Такими свойствами обладают спирты, гликоли типа диэтиленгликоля, гексиленгликоля, эфиры гликолей.

Бактерициды добавляют в состав СОЖ для защиты станочников от кожных заболеваний. Они же предохраняют СОЖ от микробиологического поражения и преждевременной потери ими физико-химических и технологических свойств. Наиболее широкое применение получил гексагидро-1, 3, 5-трис-(2-оксиптил), S-триазин, составляющий основу известного бактерицида «Гротан» и др. Содержание бактерицида в эмульсии обычно составляет 0,05...0,15%.

Антипенные присадки добавляют для уменьшения пенообразования эмульсий. Наиболее широко применяются силиконы, моноэфиры жирных кислот и гликолей, гели нефтяных восков, кальциевые соли замещенных жирных или сульфокислот.

Антипизносные и антизадирные присадки те же, что и для масляных СОЖ: осерненные жиры, полисульфиды, хлорированные парафин и тетрамер пропилена, а также их сочетания.

Ассортимент современных водосмешиваемых СОЖ приведен в табл. 2.4. Кроме приведенных в таблице эмульсолов и концентратов при обработке резанием применяются эмульсолы ЭТ-2, РЗ-СОЖ8, Карбамол Э-1, Синтал-2, МХО (МХО-60, МХО-62, МХО-70 и др.).

Таблица 2.1

Ассортимент водосмещиваемых СОЖ для обработки металлов резанием и рекомендуемая концентрация

Наименование	Номер технических условий, ГОСТ	Классиф. обозначения	Рекомендуемая концентрация
Укринол-1	ТУ 38-101197—82	Э1.П2	2—10%-ные водные эмульсии
Укринол-1М	ТУ 38-101-878—83		
Укринол-3П	ТУ 38-101-847—80		1% 5-ные водн. эмульсии
Уквол-2	ТУ 38-УССР 2-01-220—79	Э1.П3	2—10%-ные водн. эмульсии не рекомендуются при обработке цветных металлов и сплавов
Э-1(А), Э-2(Б), Э-3(В)	ГОСТ 1975—75	Э1.0	3—10%-ные водные эмульсии
Аквемус	ТУ 38-201341—80		Для приготовления эмульсий на воде высокой жест.
НГЛ-205	ТУ 38-101547—80		3—10%-ные водные эмульсии
СДМУ-2	ТУ 38-101546—80	Э1.П1	5—10%-ные водные эмульсии
ЭМУС	ТУ 38-101174—81		3—5%-ные водные эмульсии
ВНИИИИ-117П	ТУ 38-01118—76		Водн. эмульсии при обработке жаропрочных сплавов
Эмульсол ЭГТ	ТУ 38-101149—75		3—10%-ные водные эмульсии
Эмульсол Т	ТУ 6-14-254—78	Э1.П2	3—10%-ные водные эмульсии
НХП-45Э	ТУ 38-101581—79 ТУ 38-101875—82	Э1.П3 Э1.П4	10%-ные эмульсии 5—20%-ные водные эмульсии для труднообрабатываемых материалов, включая титановые сплавы
Аквол-10М	ТУ 38-101931—83	Р3.П3	5—10%-ные водные растворы для труднообрабатываемых материалов
Аквол-11	ТУ 38-101932—83	Э2.П3	2—10%-ные водные растворы для алюминиев. сплавов
Аквол-14	ТУ 38-101971—84	Р3.П2	3—12%-ные водные растворы для труднообрабат. матер.

ЛЗ-ЭМ/30Т, ФМИ-3 и концентраты для приготовления синтетических и полусинтетических СОЖ: Аквол-5, Аквол-15, Карбамол С-1, Карбамол П-1, Синхо-2 или Синхо-2М, Синхо-6 и др.

Характеристика основных эмульсолов и концентратов

Эмульсолы Э-1(А), Э-2(Б), Э-3(В) изготавливают преимущественно из смеси промышленных масел (с кинематической вязкостью при 50°C в пределах 17...23 (сСт) и их дистиллятов. В качестве эмульгаторов используются натриевые мыла нафтенных кислот, реже сульфонафтенных (Э-3).

Эмульсол ЭТ-2 — эмульсол на основе эмульгаторов — нефтяных кислот масляного асидола и таллового масла.

РЗ-СОЖ8 — эмульсол на базе товарного эмульсола ЭТ-2, активированный кристаллическим йодом. Содержит в своем составе асидол масляный (7...8%), талловое масло (7...8%), полигликоли (1,5%), соду каустическую (1%), йод кристаллический (0,3%), масло веретенное «ЗВ».

Укринол-1 — сбалансированная смесь осерненного минерального масла с содержанием серы до 2%, эмульгаторов и ингибиторов коррозии, которая при смешивании с водой образует эмульсию молочного цвета. Является заменителем эмульсолов Э-1, Э-3, ЭТ-2, ЭГТ и НГЛ-205.

Укринол-1М — сбалансированная смесь универсальной эмульгирующей композиции ЭК-1 (25%) и минерального масла И-12А (75%).

Укринол 3П — изготавливается на основе масла И-12А. В качестве эмульгаторов применены сульфаты натрия. Эмульсол содержит химически активную присадку — хлорпарафини ХП-470 и смачиватели.

Аквол-2 — аналогичная эмульсолоу Укринол-1 сбалансированная смесь минерального масла, противозадирных и противозадирных присадок (смеси нафтенных сульфатов натрия и мыл кислот таллового масла), содержащих серу (2—3%) и хлор (4...6%), эмульгаторов и ингибиторов коррозии, которая при смешивании с водой образует стабильную эмульсию светло-коричневого цвета.

Аквол-6 — сбалансированная смесь минерального масла И-12А (30%), эмульгатора ЭК-1 (40%) и противозадирных присадок (хлорированный парафин).

Аквемус — используют для приготовления эмульсий общего назначения на воде с высокой жесткостью.

ЭМУС — вырабатывается на основе нефтяных сульфатов. Обладает по сравнению с эмульсолом НГЛ-205 улучшенными смазочными и защитными свойствами, большей стабильностью.

НГЛ-205 — сульфатный эмульсол без активированных присадок. Основа — сульфированное минеральное масло «АС-6,5»

(до 70%), присадки: нитрит натрия (0,5%); тринатрийфосфат (0,5%); кальцинированная сода (5%). Остальное — вода (24—25%). Является хорошим консервирующим средством, обладает лучшими смазочными и моющими свойствами, чем Э-1, Э-2 и Э-3.

СДМУ-2 — густомаслянистая темная жидкость, представляющая собой масляный раствор нефтяного сульфоната натрия (92—93%), дисульфида молибдена (0,5%) и пассивирующих добавок: кальцинированной соды (5...6%), нитрита натрия (0,5%) и тринатрийфосфата (0,5%).

ЭГТ — вырабатывается на госсиполовой смоле.

ВНИИ НП-117Т — представляет собой легкий экстракт, получаемый при очистке трансформаторного масла. Эмульгаторами являются нефтенат калия, сульфат натрия и бутандиол.

ИХП-45Э — изготавливается на сульфированном масле ДС-11, в которое введены противозадирные (хлорпарафин), поверхностно-активные присадки (ОП-7, триэтаноламин) и различные добавки (нитрит натрия, гексахлорофен и др.).

Аквол-10М — концентрат на гликолевой основе, содержит аннионо-активные и неионоактивные эмульгаторы и незначительное количество жировых присадок. Предназначен для приготовления синтетических СОЖ.

Аквол-11 — концентрат на нефтяной основе для приготовления полусинтетических СОЖ. Содержит значительное количество различных эмульгаторов, органические и неорганические ингибиторы коррозии.

Аквол-14 — представляет собой концентрат на основе полиалкиленгликолей, содержит трибуполимеризующие присадки и добавки. При смешивании с водой образует прозрачные, бесцветные или слабо окрашенные растворы.

Аквол-5 — сбалансированная смесь ЭК-1, масла, воды и небольшого количества противозадирных присадок.

Карбамол Э-1 — эмульсол на основе минерального масла, эмульгаторов и безнитритных ингибиторов коррозии. При смешивании с водой образует молочные эмульсии.

Карбамол П-1 — сбалансированная смесь эмульгатора с минеральным маслом. Разведением в воде готовят полусинтетические безсульфонатные и безнитритные СОЖ.

Карбамол С-1 — концентрат для приготовления синтетических СОЖ.

Эмульсолы серии МХО (МХО-60, МХО-62 и др.) — обычные эмульгирующиеся композиции из эмульсола (типа ЭТ, ЭГТ) латекса поливинилхлорида и фроспла, в которые дополнительно введены полимерные присадки.

Физико-химические свойства масляных и водосмешиваемых СОЖ приведены в [36].

2.3.2. СПОСОБЫ ПОДАЧИ СОЖ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

При обработке деталей лезвийным инструментом применяют следующие основные способы подачи СОЖ в зону резания: в виде свободно падающей струи (поливом); высоконапорной струи под давлением 10...15 ГПа; струи воздушно-жидкостной смеси (в распыленном состоянии) под давлением 1,5...2,5 ГПа; через каналы в теле режущего инструмента; комбинированные.

В промышленности наиболее широко применяют первый способ (поливом). Большинство металлорежущих станков оборудовано для применения этого способа. Осуществление других способов применения СОЖ значительно сложнее и требует специальной нестандартной оснастки. Каждый из этих способов более эффективен, чем подача СОЖ поливом в определенных условиях. Кроме указанных, известны еще несколько способов подачи СОЖ в зону резания, применяющихся сравнительно редко: способ периодической подачи дозированного количества СОЖ на инструмент («капельный» способ) перед началом или в процессе обработки автоматически (на агрегатных станках) или вручную. На универсальных станках в единичном и мелкосерийном производстве применяют иногда способ контактного смачивания обрабатываемой детали кисточкой или тампоном впереди режущего инструмента (например, при нарезании резьбы плашками). Ниже даны характеристики основных способов подвода СОЖ в зону резания.

2.3.2.1. Подача СОЖ свободно падающей струей (поливом)

Схема этого способа подвода СОЖ показана на рис. 2.1. Средние нормы расхода СОЖ при обычном поливе приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Вид обработки	Тип СОЖ	Расход СОЖ, л/мин	Направление потока (струи) СОЖ
Точение черновое	В	10...20	Сверху к месту отделения стружки
	М	7...8	
чистовое	В	8...15	
	М	4...10	
Сверление, зенкерование	В	4...16	По оси отверстия
	М	4...10	
Развертывание	В	6...10	То же
	М	4...6	
Фрезерование черновое	В	7...30	Сверху, плоской струей по всей длине фрезы
	М	10...30	

Вид обработки	Тип СОЖ	Расход СОЖ, л/мин	Направление потока (струи) СОЖ
Зубообработка	М	8...10	Плоской струей в зону контакта
Протягивание внутр. поверх.	М	8...15	В зоны входа протяжки в деталь и выхода из детали одновременно
	В	8...15	
—» наружн. поверх.	М	10...25	
	В	10...30	
Нарезание резьбы метчиками и плашками	М	2...3	Сверху на режущие кромки метчика. На деталь впереди плашки
Резьбофрезерование	М	4...6	Сверху на зубья фрезы по всей длине

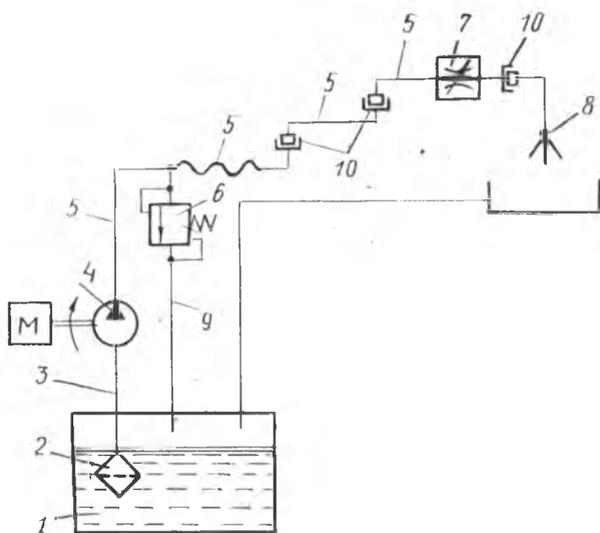


Рис. 2.1. Гидросхема подачи СОЖ свободно падающей струей (поливом): 1 — бак емкостью 150—200 л; 2 — фильтр; 3, 5, 9 — трубопроводы; 4 — насос; 6 — перепускной клапан; 7 — манометр; 8 — кран; 10 — торцовые сочленения трубопроводов

2.3.2.2. Подача СОЖ напорной струей

При этом способе СОЖ подается в зону резания тонкой струей через сопло с диаметром 0,7...0,8 мм. При большой длине охлаждаемого участка применяют сопло со щелевидным отвер-

ствием шириной 0,5...0,6 мм и длиной несколько миллиметров. Различают охлаждение высоконапорной струей, когда давление в подводящей системе составляет 10...20 ГПа, и низконапорной при давлении в системе 0,5...2 ГПа. Подача СОЖ напорной струей осуществляется при помощи установки, схематически показанной на рис. 2.2.

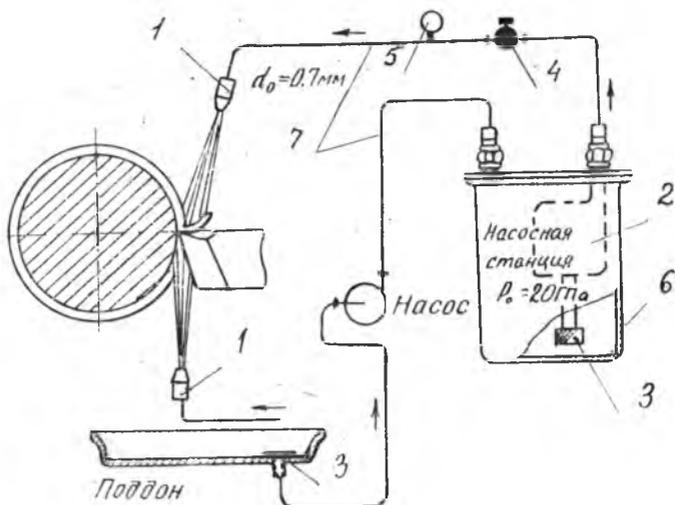


Рис. 2.2. Гидросхема подачи СОЖ напорной струей: 1 — сопло с выходным отверстием $\varnothing 0,7 \dots 0,8$; 2 — насосная станция, обеспечивающая давление в системе 15—20 ГПа; 3 — фильтры сетчатые или пластинчатые; 4 — кран; 5 — манометр; 6 — бак емкостью 70—80 л; 7 — трубопроводы

Расход жидкости через одно сопло составляет 0,5...0,8 л/мин. Скорость струи на срезе сопла 30...80 м/с. Наилучшие показатели обработки имеют место при давлении в системе 10...15 ГПа, которому соответствует скорость струи 40...60 м/с. Дальнейшее повышение давления жидкости малоэффективно. Применение высоконапорного струйного подвода СОЖ позволяет повысить стойкость инструмента по сравнению с обычным поливом в 1,5...4 раза при снижении расхода жидкости в 5...10 раз. Однако у этого способа подвода СОЖ имеются и существенные недостатки: 1) необходимость обеспечения нужного направления струи, так как в противном случае все преимущества исчезают; 2) необходимость тщательной очистки СОЖ, чтобы исключить засорение сопла механическими примесями и коллоидными частицами и появление «плевков», сопровождающееся снижением стойкости твердосплавных инструментов; 3) необходимость оснащения станка специальной насосной высоконапорной станцией; 4) сильное разбрызгивание жидкости и загрязнение рабочего места.

2.3.2.3. Подача СОЖ в виде струи воздушно-жидкостной смеси

В этом случае смесь воздуха и СОЖ (аэрозоли) направляют в зону резания. Для применения этого способа разработаны промышленные устройства. Принципиальная схема подобного устройства, реализованная в ОНИЛ-3 КуАИ, приведена на рис. 2.3. Установка работает следующим образом. Воздух из магистрали при открытом кране 5 поступает в тройник 6, из которого одна часть его направляется в баллон с СОЖ 2, а вторая — к распыливающей головке 1. Под давлением воздуха из баллона через фильтр 3 также направляется к распыливающей головке 1. В распыливающей головке происходит смешение воздуха с эмульсией. Из распыливающего сопла струя распыленной эмульсии с большой скоростью (до 300 м/с) устремляется на охлаждаемую поверхность.

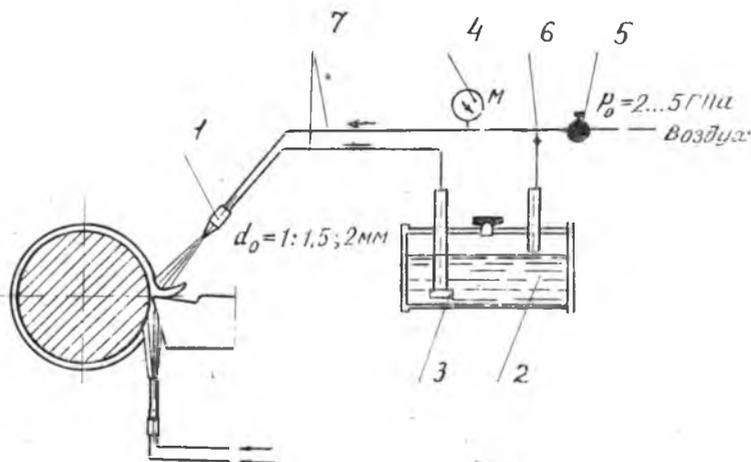


Рис. 2.3. Схема подачи струи воздушно-жидкостной смеси (распыленной СОЖ): 1 — распыливающая головка с диаметром выходного отверстия \varnothing 1...1,5 см; 2 — баллон с эмульсией или маслом; 3 — фильтр; 4 — манометр; 5 — кран; 6 — тройник; 7 — трубопроводы

Оптимальными параметрами данной установки являются: давление в системе 2—5 ГПа, диаметр сопла 1,0...1,5 мм, расстояние от сопла до охлаждаемой поверхности не больше 50 мм. Расход жидкости: 150—200 г/ч для СОЖ на водной основе и 5—10 г/ч распыленного масла. Эффективность действия СОЖ при подаче в зону резания в распыленном состоянии примерно такая же, как и при обычном поливе, а в ряде случаев и превосходит ее

при расходе СОЖ, в сотни раз меньшем. Значительное увеличение эффективности СОЖ при подаче ее в зону резания в распыленном состоянии объясняется повышением физической и химической активности СОЖ, а также тепло- и массообмена при обтекании ею нагретых тел за счет увеличения удельной энергии и скорости движения, уменьшения размера частиц (10...15 мкм) и температуры СОЖ по сравнению с обычным поливом. Распыленные СОЖ применяют в следующих случаях: 1) на станках, не имеющих системы подвода СОЖ; 2) на операциях, где по тем или иным причинам подача СОЖ поливом не применена, например, на операциях фрезерования по разметке, на тяжелых станках, на операциях заточки и др.; 3) при обработке некоторых труднообрабатываемых материалов, когда полив СОЖ не обеспечивает требуемого эффекта; 4) при необходимости оздоровления условий труда (при обработке чугуна, вместо керосина, скипидара и других раздражающих веществ, при обработке легких сплавов и цветных сплавов вместо сульфозфрезола); 5) для уменьшения температурных деформаций деталей в процессе обработки; 6) на агрегатных станках, автоматических линиях, на станках с ЧПУ, в том числе и на многооперационных.

Важнейшим условием эффективной работы установок для охлаждения распыленной эмульсией и струей жидкости под давлением 10—15 ГПа является бесперебойный и равномерный подвод охлаждающей среды к охлаждаемой поверхности. Эффективность применения охлаждения падает, и оно играет даже отрицательную роль при его внезапном прекращении, связанном либо с засорением подводящей системы, либо с перерезанием струи сходящей стружкой.

По указанным соображениям при отрезке, прорезке канавок резцами охлаждение следует подводить снизу в полость, образованную задней гранью и поверхностью резания. Распыляющее сопло должно укрепляться на резцедержателе и перемещаться синхронно с резцом. Для предотвращения засорения должна быть обеспечена надежная фильтрация жидкости и воздуха.

2.3.2.4. Подача СОЖ через каналы в теле режущего инструмента

Этот способ подачи СОЖ получил широкое применение при обработке осевыми инструментами (сверлами, зенкерами, протяжками). На операциях обработки наружных поверхностей этот способ применяют редко, так как он не имеет заметных преимуществ перед подачей СОЖ поливом. Препятствует его распространению и повышенное разбрызгивание жидкости. При-

менение этого способа обеспечивает не только подвод СОЖ в зону резания, но и удаление из нее стружки, что имеет решающее значение при сверлении, зенкеровании, развертывании, протягивании отверстий, нарезании резьбы метчиками и др.

Сверление. Сверла, зенкеры и развертки с капалами для подвода СОЖ применяются обычно для глубоких отверстий ($l/d > 3...5$) диаметром более 25 мм. Такой инструмент имеет центральный осевой канал и наклонные каналы, по которым СОЖ направляется в стружечные канавки и к режущим кромкам. Глубокие отверстия сверлят с принудительным наружным или внутренним отводом стружки, применяя для этого специальные режущие инструменты. Принципиальная схема процесса при наружном и внутреннем отводе стружки показана на рис. 2.4, конструкции сверл — на рис. 2.5 и 2.6.

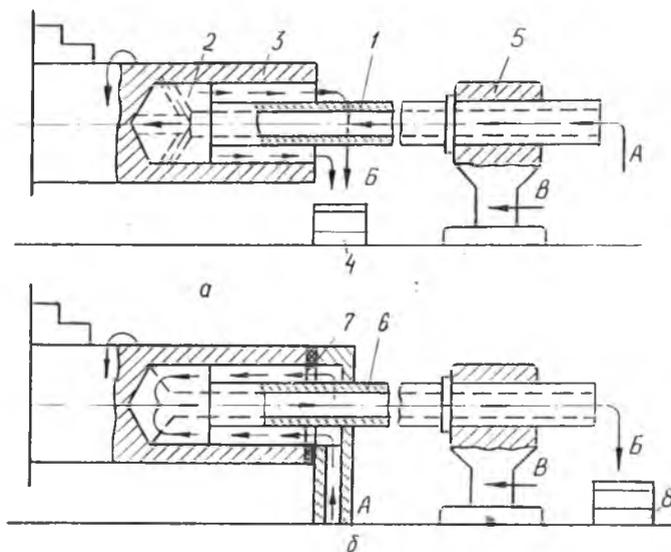


Рис. 2.4. Схема подачи СОЖ при глубоком сверлении: а — с наружным отводом стружки; б — с внутренним отводом стружки

На наружном отводе стружки (рис. 2.4,а) СОЖ подают в зону резания под давлением до 100 ГПа через внутреннюю полость стебля 1 и сверла 2. СОЖ омывает режущие кромки и вместе со стружкой отводится через кольцевое пространство между сверлом и поверхностью образующегося в заготовке 3 отверстия. Жидкость и стружка (пульха) поступают в стружкоприемник. Очищенная СОЖ сливается в бак, откуда после очи-

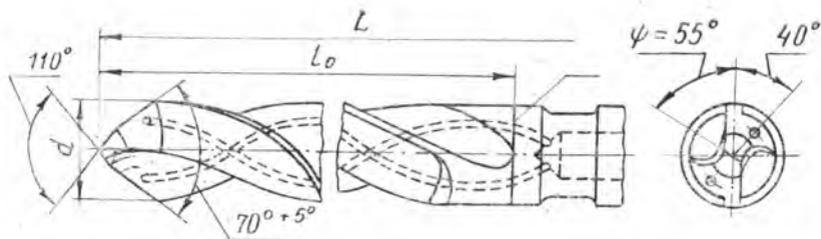


Рис. 2.5. Ружейное сверло с внутренним подводом СОЖ

стки насосом снова нагнетается в зону резания. Стебель сверла на станках для глубокого сверления поддерживается люнетом 5, закрепленным на суппорте, сообщаемом невращающемуся сверлу движение подачи. При внутреннем отводе стружки (рис. 2.4, 5) СОЖ подаются под давлением в кольцевое пространство между стеблем сверла 6 и поверхностью обрабатываемого отверстия. Непременной принадлежностью станка для глубокого сверления является маслоприемник 7, направляющий СОЖ к зоне резания, герметизирующий стык между торцом заготовки и приемником, компенсирующий температурные деформации (удлинение) заготовки в процессе обработки. Пройдя зону резания, СОЖ захватывает стружку и отводит ее в приемник пульпы 8. Конструкция сверл с внутренним и наружным подводом СОЖ приведена в [42].

Нарезание резьбы метчиками. Большие трудности возникают при нарезании резьбы в глухих отверстиях. На дне отверстия в витках резьбы оседает значительное количество мелкой стружки, которая смешивается с жидкостью, образуя кашеобразную массу, спрессовываемую торцом метчика. Возрастают осевые силы, падает стойкость и может возникнуть защемление метчика. При вывинчивании метчика часто повреждается поверхность резьбы. Наиболее радикальным средством повышения производительности и качества резьбы в этом случае является применение метчика с каналами для подвода СОЖ в зону резания. Такой метчик показан на рис. 2.7.

Резцы с внутренним охлаждением. В некоторых случаях, например при точении на повышенных скоростях, находят применение резцы, через тело которых циркулирует низкотемпературная СОЖ, охлажденная до $-40...-50^{\circ}\text{C}$, выполняющая только одну функцию — охлаждение контактных площадок резца. В этом случае процесс резания выполняется всухую и поэтому другие свойства СОЖ никакого значения не имеют. Резцы с внутренним охлаждением иногда применяют при обработке деталей из чугуна, когда подача СОЖ поливом при-

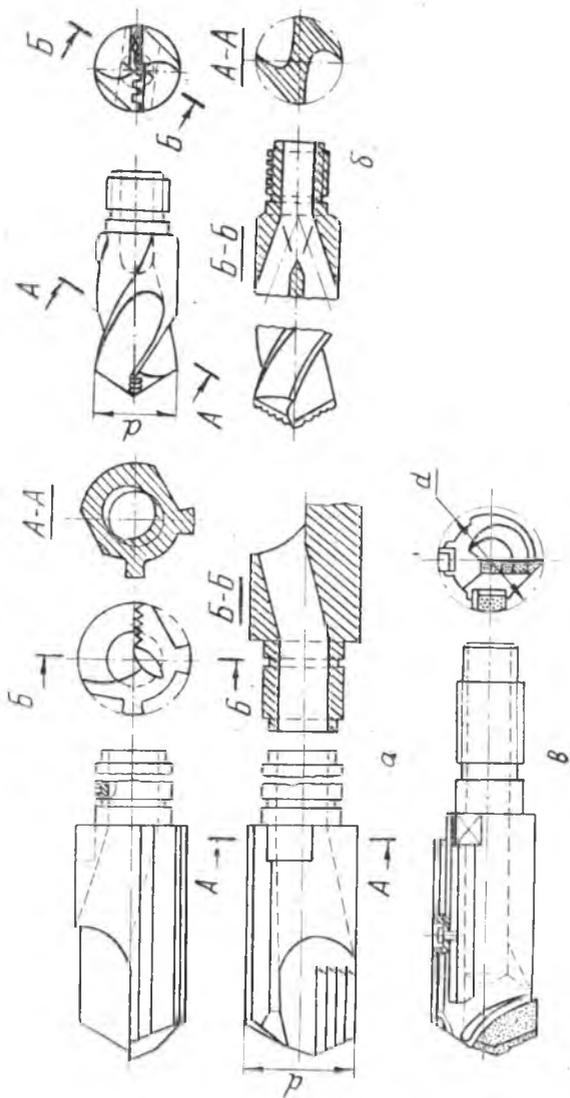


Рис. 2.6. Сверла с внутренним отводом стружки и наружным отводом СОЖ

водит к загрязнению рабочего места. Известны несколько вариантов реализации этой идеи: с однофазной и двухфазной системами, с замкнутой и проточной внутренними полостями.

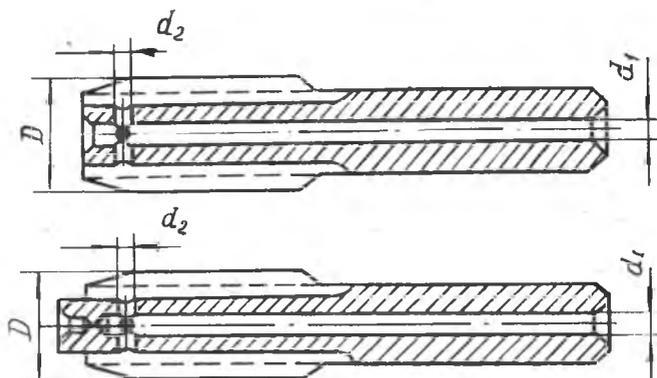


Рис. 2.7. Метчик с радиальным и центровым каналами для подвода СОЖ

2.2.5. КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ ПОДВОДА СОЖ

Подачу СОЖ в зону контакта режущего лезвия с деталью иногда целесообразно осуществлять комбинированным способом, объединив указанные выше варианты 1 и 2 или 2 и 3 и т. д. Например, в ИИЛСИ при Горьковском политехническом институте сконструирована установка, предназначенная для подачи в зону резания распыленного масла и одновременно на нарезанный ходовой винт распыленной эмульсии. Распыленное масло обеспечивает смазочное действие при нарезании резьбы, а распыленная эмульсия — охлаждение нарезаемого винта с целью уменьшения температурных деформаций.

В ОИИЛ-3 при Куйбышевском авиационном институте сконструирован резец, позволяющий одновременно или порознь применять газовые среды или СОЖ различного состава (рис. 2.8). Резец имеет два канала внутри головки. Один из них выходит на нижнюю часть задней поверхности, второй — к стружкозавивающему порожку.

Эффективность различных составов и способов подвода СОЖ в зону резания при обработке материалов, применяющихся в авиационной промышленности, рассматривается далее.

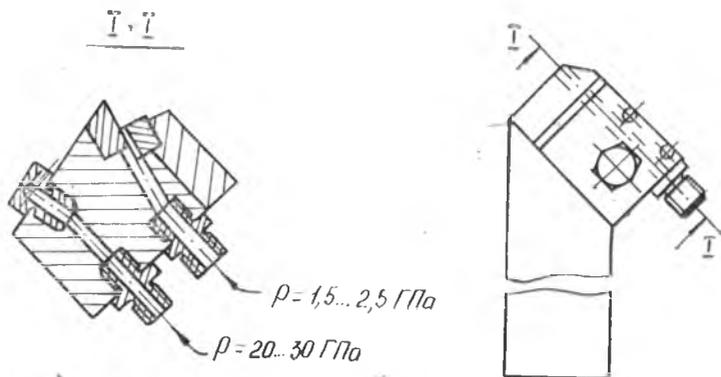


Рис. 2.8. Резец КуАИ с комбинированной схемой подвода газовых сред или СОЖ

3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЖ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Исследования по установлению эффективности товарных СОЖ при обработке лезвийным инструментом проводятся во многих ИИИ, ОИИЛ, в том числе в ОИИЛ-3 КуАИ. Ниже приведены результаты исследований по установлению эффективности основных видов СОЖ и способов их применения при лезвийной обработке (точении, фрезеровании, сверлении и др.) высокопрочных, жаропрочных, нержавеющей, жаростойких сталей и сплавов, титановых сплавов, выполненных в ОИИЛ-3.

В качестве сравниваемых показателей были приняты важнейшие характеристики обрабатываемости — стойкость инструментов и шероховатость обработанной поверхности. Влияние СОЖ на эти характеристики удобнее рассматривать отдельно.

3.1. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЖ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА

3.1.1. ТОЧЕНИЕ

Исследования выполнялись на полуставных режимах $l \times s = (1...2) \times (0,2...0,4)$ мм², $v > v_{\text{опт}}$; $h_3 = 0,4...0,6$ мм резцами, оснащенными, как правило, твердосплавными пластинками ВК8. В табл. 3.1 показано влияние нейтральной среды, обладающей только охлаждающими свойствами — углекислоты (СО₂) в жидком состоянии; химически активной среды — кислорода;

10%-ной эмульсии Э2 и 5%-ной эмульсии Э-2 с добавкой 2% сульфифрезола в качестве сред, обладающих охлаждающими и смазывающими свойствами, на стойкость при точении с $t \times s = 2 \times 0,31 \text{ мм}^2$ высокопрочной стали 30ХГСНА, нержавеющей стали 30Х13, жаростойкой стали 1Х18Н9Т, жаропрочной стали 15Х18Н12СЧТЮ (ЭИ654) и жаропрочного сплава на никелевой основе ХН77ТЮР (ЭИ437Б).

Таблица 3.1 [21]

Вид СОТС	Расход, л/мин	Стойкость при точении, мин				ХН77ТЮР
		30ХГСНА	30Х13	1Х18Н9Т	15Х18Н12СЧТЮ	
Без СОТС		9	2,5	13	10	2,5
СО ₂	40	15	8	62	22	3,5
О ₂	40	12,5	6,5	10,5	22,5	2,5
10%-ная эмуль. Э-2	10	2,5	13	38	11	3
5%-ная эмуль. Э-2 + 2% сульфифрезола	10	—	14,5	52	14	3,5
Скорость резания, м/с		2,5	3,0	2,0	1,0	0,66
Износ h_3 , мм		0,6	0,55	0,6	0,6	0,6

Примерно такие же результаты получены в [10, 31] при дутье кислорода и азота. При точении стали 30ХГСНА на вышеуказанном режиме были испытаны также 3%-ная эмульсия МХО-60, 10%-ная синтетическая СОЖ Аквол-10 и масляная СОЖ МР-4 (табл. 3.2).

Таблица 3.2 [22]

Вид СОЖ	Без охлаждения	10% ЭТ-2	10% Аквол-10	3% МХО-60	МР-4
Стойкость, мин	8	25	20	26	30
Коэф. повыш. стойкости	1	3,1	2,5	3,2	3,7

В табл. 3.3 показано влияние рода СОЖ на стойкость при точении жаропрочного сплава на никелевой основе ЭИ698ВД резцами ВК6 с $t \times s = 2 \times 0,1 \text{ мм}^2$, $v = 0,5 \text{ м/с}$ и $h_3 = 0,5 \text{ мм}$.

Таблица 3.3 [22]

Вид СОЖ	Без охлаждения	5% ЭТ-2	5% СДМУ-2	10% ИХП-45Э	10% Укринол-1	10% Акрвол-2	10% СОЖ Акрвол-10
Стойкость, мин	2	3,5	4	10	13,5	8	8,5
Коэф. повыш. стойкости	1	1,75	2	5	6,7	4	4,2

Влияние этих же СОЖ на стойкость при точении титанового сплава ВТ9 резцами ВК8 ($t \times s = 2 \times 0,2 \text{ мм}^2$; $v = 0,83 \text{ м/с}$; $h_2 = 0,5 \text{ мм}$) приведено в табл. 3.4.

Таблица 3.4 [22]

Вид СОЖ	Без охлаждения	5% ЭТ-2	5% СДМУ-2	5% Укринол-1	5% Акрвол-2	5% Акрвол-10	10% ИХП-45Э
Стойкость, мин	8	8	14	10	8	15	13
Коэф. повыш. стойкости	1	1	1,75	1,25	1	1,85	1,6

Несколько больший эффект получен при точении по корке заготовки из сплава ВТ22 и проточке винтовых канавок резцами ВК8. Обдирка корки на выбранном режиме ($t = 1,5...3 \text{ мм}$; $s = 0,17 \text{ мм/об}$; $v = 0,4 \text{ м/с}$) без СОЖ оказалась невозможной из-за мгновенного затупления резца. При применении 10%-ной эмульсии ЭТ-2 стойкость оказалась 3 мин. Применение 3%-ной эмульсии МХО-60 позволило увеличить стойкость до 16 мин. В ходе производственных испытаний осуществлялось точение винтовых канавок шириной 5 мм с шагом 14 мм при $v = 0,5 \text{ м/с}$ и $t = 2 \text{ мм}$. В этом случае при точении без СОЖ стойкость составила 4 мин. Применение 10%-ной эмульсии ЭТ-2 позволило увеличить стойкость до 8 мин, а полив 3%-ной эмульсией МХО-60 позволил довести ее до 12 мин.

При проведении опытно-промышленной проверки на некоторых предприятиях г. Куйбышева установлено, что при расточке отверстий в деталях из стали ЭИ878 резцами ВК6М на станке АТПр2М12С добавка 2% масляной СОЖ МР-1 к 5%-ной эмульсии ЭТТ-2 позволила увеличить стойкость резцов по сравнению с 5%-ной эмульсией ЭТТ-2 более чем в 1,5 раза. Применение

5%-ной эмульсии Аквол-10 при точении сплава ВТ9 резцами ВК8 позволяет в 2...3 раза увеличить стойкость по сравнению с применяющейся на заводе 10%-ной эмульсией ЭТ-2. Эта же СОЖ при пазовом точении диска из сплава ВТ9 существенного повышения стойкости не дает. Применение 10-ной эмульсии Укринол-1 при точении подобного диска позволяет увеличить стойкость примерно в 1,5..2 раза по сравнению с применением 5%-ной эмульсии РЗ-СОЖ8.

Анализ приведенных результатов показывает, что влияние СОЖ на стойкость имеет избирательный характер. Ранжировка СОЖ по степени их влияния на стойкость при точении указанных выше материалов различная. Исследования проводились при скоростях, больших оптимальных, сопровождающихся температурой выше оптимальной, когда преобладающим является диффузионный износ. Охлаждающие свойства СОЖ внутри каждой серии опытов мало отличались друг от друга (в составе всех СОЖ 90...95% воды). В этих условиях более высокая эффективность имеет место при применении СОЖ, обладающих более высокими противозадирными, противоизносными, смазывающими и другими свойствами. Применительно к стали 30ХГСНА такими СОЖ являются МР-4 и 3%-ная МХО-60, для стали 3Х13 и 1Х18Н9Т — 5%-ная эмульсия ЭТ-2 с добавкой 2% сульфозола, для сплава ЭИ698-ВД — 10%-ная эмульсия Укринол-1, для титанового сплава ВТ9 — 5%-ная синтетическая СОЖ Аквол-10.

3.1.2. СВЕРЛЕНИЕ

Эффективность СОЖ при сверлении освещена довольно широко. Однако сведения в своем большинстве относятся к сверлению отверстий спиральными сверлами из быстрорежущих сталей в конструкционных материалах общего назначения при $l < 3d$. Результаты исследований по глубокому сверлению встречаются значительно реже, особенно для материалов, применяющихся в авиастроении.

В ОНИЛ-3 проведено исследование эффективности ряда СОЖ при сверлении глубоких отверстий ($l/d < 10$) малого диаметра ($d = 2,7...4,8$ мм) сверлами из быстрорежущей стали Р9К5 на станке 1Н318 с ручной подачей в деталях из нержавеющей сталей. В качестве СОЖ применялись: 5%-ные водосмешиваемые Аквол-10, МХО-60, МХО-70, смесь ЭТ-2 и РЗ-СОЖ8 (1:1), масляная СОЖ с присадкой МХО-70. При сверлении отверстий $d = 2,7$ мм, глубиной 35 мм в деталях из стали 12Х18Н10Т с $v = 0,11$ м/с наиболее эффективной оказалась СОЖ МХО-70, обеспечивающая повышение подачи примерно в 1,5 и стойкости

в 1,3...2 раза. 5%-ная эмульсия Аквол-10 дала аналогичное повышение стойкости сверл при сверлении отверстий $d = 3,6$ мм, глубиной 40 мм в деталях из стали 1X18H9T и отверстий $d = 4,8$ мм, глубиной 51,5 мм в деталях из стали 12X17Г9АН4. В [11] установлено, что при сверлении сплава ХН35ВТЮ сверлами Р9К5 ($d = 7,5$; $s = 0,1$ мм/об; $l = 10$ мм) коэффициент изменения скорости по сравнению с поливом 5%-ной эмульсией ЭТ-2 составил: при поливе антикоррозионной водой — $k_v = 0,055$; маслом ИС-12 — $k_v = 0,42$; МР-1 — $k_v = 1,57$; МР-2 — $k_v = 1,38$; сульфозрезолом — $k_v = 2,6$. При сверлении стали 12X18H10Г сверлами Р9К5 ($\varnothing 7,5$; $s = 0,14$ мм/об; $l = 15$ мм) коэффициент изменения скорости составил: при поливе антикоррозионной водой $k_v = 0,92$; маслом ИС-12 — $k_v = 0,92$; МР-1 — $k_v = 1,46$; МР-2 — $k_v = 1,38$; сульфозрезолом — $k_v = 1,25$. Авторы отмечают, что при сверлении сталей 45, 40Х, нержавеющей стали 12X18H10Т и жаропрочного сплава ХН35ВТЮ с применением одного и того же набора СОЖ их ранжировка по влиянию на стойкость различна. При обработке стали 45 наиболее эффективными являются СОЖ на водной основе. При обработке стали 40Х эффективность различных СОЖ выравнивается. При обработке жаропрочного сплава ХН35ВТЮ и нержавеющей стали 12X18H10Т более эффективными становятся масляные жидкости с химически активными присадками (МР-1, МР-2, сульфозрезол). Предельная величина износа с увеличением скорости уменьшается.

В [17] приведены данные об эффективности расплавленных металлических эвтектик олово—цинк, олово—свинец и др. при сверлении стали 1X18H9T сверлами из быстрорежущей стали Р18 диаметром 4,5 мм при $n = 450$ об/мин в виде графиков «глубина отверстия — время». В результате нацелой обработки результатов получены данные о глубине отверстий, достигнутой за 60 секунд работы. Самое глубокое отверстие получено при применении расплава олово—цинк — 10 мм, при применении расплава свинец—олово — 9 мм, при применении олеиновой кислоты — 7,5 мм. Далее идут расплав In—Ga—Sn при 200°C, применение которого позволило изготовить отверстие глубиной 3 мм, In = 2,5 мм, сплав Вуда = 2 мм, Ga = 2,5 мм, всухую = 1,5 мм, вазелиновое масло и эмульсия = 0,5 мм.

При сверлении стали 18X2H4BA сверлами из быстрорежущей стали Р9 диаметром 8 мм с постоянным усилием подачи 480 Н и $n = 500$ об/мин применялись суспензии ряда металлических порошков (олова, кадмия и эвтектики олово—цинк) в трансформаторном масле. Размеры частиц 40...100 мкм. Самое глубокое отверстие за 60 секунд получено при применении эвтектики олово—цинк — 10,5 мм; при применении кадмия — 10 мм, оло-

ва — 5 мм и при сверлении всухую — 3 мм. Таким образом, применение эвтектики олово—цинк позволяет по сравнению с резанием всухую увеличить производительность более чем в три раза.

При сверлении отверстий диаметром 6 мм в титановом сплаве BT6 сверлами из быстрорежущей стали P6M5 за 40 секунд была достигнута глубина без СОТС 22 мм. Применение Cd позволило увеличить глубину отверстия до 38 мм; применение сплава, включающего $Bi-10...15\%$, $Sn-10...15\%$, $Zn-0,1...10\%$, Cd — остальное до 32 мм; применение вазелинового масла и эмульсола дало отрицательный результат; глубина отверстий оказалась соответственно 18 и 13 мм. В табл. 3.5 [12] приведены данные о влиянии ряда отечественных (НГЛ-205, сульфозфрезол, P3-СОЖ8, Аквол-2, МР-1, МР-2, МР-3, МР-4), а также некоторых зарубежных (Dortan, Cimperial-10) СОЖ на относительную стойкость сверл из быстрорежущей стали P9M4K8Ф2 ($2\phi=138^\circ$, $\alpha=18^\circ$, $\omega=29^\circ$, $h_3 \approx 0,5$ мм) при сверлении глухих отверстий $d=15$ мм на глубину $3d$ в титановых сплавах OT4-1 с $v=0,31$ м/с, $s=0,2$ мм/об и в сплаве BT22 с $v=0,098$ м/с, $s=0,17$ мм/об.

Таблица 3.5

Обрабатываемый материал	Стойкость (относительная) при применении									
	МР-1	МР-2	МР-3	МР-4	Сульфозфрезол	НГЛ-205	P3-СОЖ8	Аквол-2	Dortan-51	Cimperial-10
OT4-1				8	6,5	1		1,1		1,2
BT22	3,1	3	2	3,8	2,2	1	2,5	2	3,6	2,6

По своим физико-химическим свойствам и компонентному составу СОЖ были разными:

сульфозфрезол и МР-3 — «активные» масляные СОЖ, содержащие серу;

МР-1 и МР-2 — «активные» масляные СОЖ, содержащие серу и хлор;

МР-4 и Dortan-51 — «неактивные» масляные СОЖ, содержащие хлор;

P3-СОЖ8 и Аквол-2 — эмульсолы, активированные присадками йода — первый, серы и хлора — второй;

НГЛ-205 и Cimperial-10 — эмульсолы без активирующих присадок.

Из приведенных в табл. 3.5 данных следует, что при сверлении титанового сплава OT4-1 масляные СОЖ обеспечивают зна-

чительно более высокую стойкость, чем водные. При этом наиболее эффективным оказалось высокохлорированное масло МР-4, удовлетворительные результаты показало осерненное масло — сульфозрезол, СОЖ на водной основе способствуют налипанию обрабатываемого материала на инструмент, что вызывает вибрации и снижает стойкость сверл.

Несколько иная картина наблюдается при сверлении сплава ВТ-22. И здесь масло с хлором (хлором и серой) оказалось лучше водных СОЖ, но разница между ними уже меньше. Только серосодержащие масла уступают некоторым водным СОЖ.

Эффективность высокохлорированного масла МР-4 при сверлении титановых сплавов, очевидно, можно объяснить тем, что присадки хлора в условиях температур, характерных для резания титановых сплавов, проявляют химическое сродство к титану и его оксидам, интенсивно образуя более прочные на сдвиг пленки хлоридов титана [18], способствуя тем самым снижению износа сверл.

В табл. 3.6 [17] приведены результаты сверления жаропрочной хромоникелевых сплавов ВЖ14, ЖС6К и высокопрочной закаленной стали ЭИ347 сверлами, оснащенными твердосплавными пластинками ВК8.

Таблица 3.6

Обрабатываемый материал	Применяемые СОТС	Режим резания		Износ по задней грани, мм	Общая длина просверленных отверстий
		м/с	мм/об		
ВЖЛ14	Сульфозрезол	0,25	0,017	0,25	60
	Эвтектики Sn—Zn	0,25	0,05	0,25	324
ЖС6К	Сульфозрезол	0,142	0,02	0,5	240
	Эвтектики Sn—Zn	0,142	0,04	0,5	840
ЭИ347 закаленный	Сульфозрезол	Сверление невозможно			
до HRC-66	Эвтектики Sn—Zn	0,083	0,02	0,2	40

Видно, что применение эвтектики Sn—Zn при сверлении в сплавах ВЖЛ14 и ЖС6К увеличивает общую длину просверленного отверстия в 3...5 раз и дает возможность получить общую длину отверстий при сверлении в закаленной стали ЭИ347 40 мм. Сверление отверстий на приведенном режиме с применением сульфозрезола оказалось невозможным. Авторы отмечают, что эффект может оказаться и отрицательным. Например, при сверлении ст. 45 твердосплавным сверлом в эвтектике олово—цинк получен большой эффект, а при сверлении сверлами из

стали Р18 стойкость оказалась в шесть раз меньше, чем при сверлении всухую.

В последнее время начинают широко применяться смазочно-охлаждающие суспензии, в которых в качестве дисперсной среды используются твердые смазки — графит, дисульфид молибдена, алюминиевая пудра. Представляют также интерес минеральные масла, в которые вводятся тонкоизмельченные порошки легкоплавких металлов.

Были приведены испытания металлических суспензий (олова, Cd, серебра, эвтектик олово—цинк и цинк—галлий) в трансформаторном масле при сверлении отверстий в стали 18Х22Н4ВА. Размеры частиц 40...100 мкм, концентрация суспензии: 1 вес. часть порошка, 1 вес. часть трансформаторного масла. Сверло из быстрорежущей стали Р9 диаметром 8 мм. Усилие подачи — 480 Н, $n = 500$ об/мин.

Установлено, что по сравнению с резанием всухую самой эффективной оказалась эвтектика олово—цинк, далее следуют порошки Cd и олова. Через 65 секунд при сверлении всухую была достигнута глубина 3 мм, в суспензии, содержащей поро-

Таблица 3.7

Влияние СОЖ на длину отверстий

$d_{св}$ мм	v , м/с	s , мм/об	СОЖ	Стойкость	
				мм	%
7.2	0,075	0,056	Эмульсия	580	100
			ПАС	630	109
	0,112	Эмульсия	660	100	
		ПАС	1280	194	
	0,183	0,056	Эмульсия	520	100
			ПАС	1340	257
0,112	Эмульсия	50	100		
	ПАС	110	220		
13.8	0,075	0,056	Эмульсия	190	100
			ПАС	306	161
	0,112	Эмульсия	80	100	
		ПАС	475	527	
	0,183	0,056	Эмульсия	260	100
			ПАС	300	115
0,112	Эмульсия	90	100		
	ПАС	175	194		

шок олова — 6 мм, Cd > 8 мм, олово—цинк — 11 мм. При обработке в суспензии олово—цинк скорость сверления равна 0,17 мм/с, а на воздухе 0,04 мм/с, т. е. увеличивается в 4 раза.

В [13] приведены результаты исследования эффективности использования поверхностно-активной среды (ПАС) сплавов олово—цинк (91% олова, 9% цинка) в виде порошков в составе обычных СОЖ при сверлении закаленной жаростойкой стали 18Х2Н4ВА. Порошок с дисперсностью 80 мкм добавляли в 5% ный раствор эмульсола. Сверление осуществлялось в образцах 150×150×20 мм, закаленных до HRC 39—40, сверлами $d = 7,2...13,8$ мм из быстрорежущей стали Р6М5 и Р6М6 со стандартной заточкой, $h_{з доп} = 0,2$ мм.

В табл. 3.7 приведены результаты исследования влияния СОЖ на стойкость (длину отверстия). Установлено, что применение суспензии, содержащей поверхностно-активную среду — порошок расплава олово—цинк позволяет увеличить длину отверстий на 10...150%. С увеличением диаметра сверла, скорости резания и подачи эффективность суспензии растет.

3.1.3. ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Исследований, направленных на установление эффективности СОЖ при фрезеровании, сравнительно мало, что объясняется отчасти бытующим мнением о нецелесообразности и даже вредности применения СОЖ при всех видах фрезерования, особенно твердосплавными инструментами. Исследования и опыт промышленности за последние годы показали, что при правильном выборе состава и способа применения СОЖ даже при работе твердосплавным инструментом СОЖ могут значительно повысить его стойкость. В [20] установлено, что при фрезеровании торцевой фрезой Р18 ($D = 115$ мм, $z = 6$) жаропрочного сплава ХН77ТЮР ($t = 30$ мм, $B = 6$ мм, $s_z = 0,13$ мм/зуб, $v = 0,16$ м/с) применение 7%-ной эмульсии ЭТ-2 практически не изменяет стойкости по сравнению с резанием всухую (116 и 118 мин), добавление к этой эмульсии 2% сульфозрезола позволило увеличить стойкость в 1,7 раза, добавление еще 2% С.Сл₄ позволило повысить стойкость в 2 раза.

В [14] приведены результаты лабораторных и производственных испытаний ряда СОЖ при фрезеровании сплава ЭИ893. Фрезерование проводилось концевыми фрезами из стали Р6М5 ($D = 28$ мм, $z = 3$, $B = 10$ мм, $t = 3$ мм, $s_z = 0,1$ мм/зуб, $v = 0,033...0,16$ м/с); в качестве СОЖ применялись: эмульсия, Укринол-1, ОСМ-3, МР-1, Аквол-2, сульфорецинат. Установлено, что при малых скоростях резания (0,033...0,05 м/с) увеличению стойкости из испытанных СОЖ способствуют Укринол-1, суль-

форещнат и ОСМ-3. Применение СОЖ по сравнению с резанием всухую в 1,5 раза повышает стойкость. Остальные СОЖ вызывают снижение стойкости. Последнее обстоятельство авторы объясняют уменьшением нароста и ослаблением его защитной роли при применении химически активных жидкостей. При скоростях резания $v=0,133...0,16$ м/с применение СОЖ способствует увеличению стойкости в 1,5...6 раз.

В [11] приведены результаты исследования влияния СОЖ на стойкость дисковых фрез из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке сталей 45, 12Х18Н10Т и сплава ЭИ787 (ХН35ВТЮ). Режим резания $s_z = 0,1$ мм/зуб, $B = 8$ мм, $t = 5$ мм.

Обработка стали 12Х18Н10Т проводилась при скоростях резания 0,67 и 1,0 м/с. В качестве СОЖ применялись дистиллированная вода, 10%-ная эмульсия ЭТ-2, 10%-ная эмульсия Укринол-1, масла ИС-12, ОСМ-3, сульфофрезол, МР-1. Установлено, что при $v = 0,67$ м/с все СОЖ способствуют повышению стойкости в 2...9 раз (от 65 до 150...450 мин). При скорости 1,0 м/с эффективность ниже, но и в этом случае стойкость повышается в 1,5...4,5 раза. Ранжировка СОЖ при разных скоростях различна: наибольший эффект во всем диапазоне получен при применении ОСМ-3 и ИС-12. Самая низкая стойкость имела место при поливе дистиллированной водой.

Обработка сплава ЭИ787 (ХН35ВТЮ) проводилась при скоростях резания 0,25 и 0,33 м/с. В качестве СОЖ применялись те же составы, однако ранжировка их оказалась иная и эффективность ниже. При скорости 0,25 м/с самая низкая стойкость (примерно 28 мин) имеет место при применении дистиллированной воды. На первом месте — 10%-ная эмульсия ЭТ-2 и сульфофрезол, обеспечивающие увеличение стойкости до 70 мин. Далее идут 10%-ная Укринол-1 (50 мин) и МР-1 (40 мин). При скорости 0,33 м/с картина иная: первое место сохраняет за собой только 10%-ная эмульсия ЭТ-2 (стойкость 40 мин), сульфофрезол и МР-1 оказываются на последнем и предпоследнем местах. Дистиллированная вода занимает промежуточное положение.

В [39] приведены результаты обобщения исследований эффективности СОЖ при зубофрезеровании. Установлено, что наиболее широко применяемыми СОЖ при зубофрезеровании являются сульфофрезол, машинные и веретенные масла, реже применяются 5...10%-ные эмульсии, используемые методом полива. В распыленном виде применяется 1,5%-ная эмульсия, масло индустриальное 20 [веретенное 3, а также вода с добавкой 0,3% нитрида натрия и 0,3% кальцинированной соды (антикоррозионная вода)].

СОЖ повышает стойкость быстрорежущих червячных фрез в 1,5...5 раз по сравнению с резанием всухую. Различные жидкости по-разному влияют на стойкость червячных фрез.

В табл. 3.8 [2] приведены данные о влиянии машинного масла на стойкость червячных фрез ($m = 5$ мм) из быстрорежущей стали при чистовом фрезеровании маломагнитных и жаропрочных сталей. Припуск 1,2 мм, $s_z = 0,15$ мм/зуб. Расход масла 35...40 л/мин. Результаты исследований влияния СОЖ — машинного масла на стойкость червячных фрез, оснащенных твердым сплавом ($m = 5$ мм), при обработке маломагнитных и жаропрочных сталей приведены в табл. 3.9 [39].

Таблица 3.8

Марка стали	Скорость, м/с	Стойкость, мин		Коэффициент повышения стойкости
		Без СОЖ	С СОЖ	
45Г17ЮЗ	0,667	44,8	73,5	1,65
XH35BTЮ (ЭH787)	0,417	17,2	45,8	2,7
1X18H9T	1,45	33,0	152,0	4,6
18XHBA	1,67	42,9	63,0	1,45

Таблица 3.9

Марка стали	Режимы резания		Стойкость, мин	
	Скорость, м/с	s_z , мм/зуб	Без СОЖ	С машинным маслом
45Г17ЮЗ	1,0	0,066	74	6,5
XH35BTЮ (ЭH787)	1,0	0,08	13,4	4,2
1X18H9T	2,43	0,066	34	16

Снижение стойкости при использовании СОЖ автор объясняет тем, что охлаждение при прерывистом резании способствует более резкому изменению температуры на режущих кромках в момент входа зуба в материал и выхода из него. В результате чего появляются микротрещины с последующим скалыванием режущих кромок пластин твердого сплава.

3.1.4. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ

В [15] показано влияние СОЖ на стойкость метчиков из стали Р18 ($\gamma_r = 18...20^\circ$, $\lambda = 10^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\varphi = 10^\circ$) при нарезании резьбы М12×1,75 и М16×2 в деталях из стали ММЛ-2.

Нарезание резьбы М12×1,75 осуществлялось двухкомплектными метчиками со скоростью резания 2,8 м/мин с применением ЛЗ-СОЖП1, МР-2, МР-5. Глубина (длина) отверстия 35 мм.

Лучшие результаты получены при применении МР-2, способствующей увеличению стойкости черновых метчиков приблизительно на 30%, чистовых — на 50% по сравнению с сульфифрезолом. МР-5 оказался не лучше, а для чистовых метчиков даже хуже, чем сульфифрезол.

При нарезании резьбы М16×2 одним метчиком были испытаны: сульфифрезол, ЛЗ-ЭМ28/10, ЛЗ-СОЖ1а, ЛЗ-СОЖП1, ЛЗ-СОЖ18, МР-2, МР-5, В-32к — при $v = 0,04$ м/с. Лучшей оказалась СОЖ В-32к, обеспечивающая повышение стойкости по сравнению с применением сульфифрезола в 1,7 раза. Далее следуют МР-2, ЛЗ-СОЖ18, ЛЗ-СОЖП1, ЛЗ-СОЖ1а.

Резьба М16×2 нарезалась также в стали 45Г7ЮЗ при $v = 0,058$ м/с. В этом случае испытывались сульфифрезол, ЛЗ-ЭМ28/10, ЛЗ-СОЖ18, В-32к. Лучший результат получен при применении В-32к ($k_T = 1,5$). Далее идут ЛЗ-СОЖ18 и сульфифрезол. При применении ЛЗ-ЭМ28/10 стойкость оказалась даже ниже, чем при работе с сульфифрезолом. Более высокая эффективность СОЖ В-32к объясняется повышенной концентрацией активных компонентов.

3.1.5. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ СОЖ НА СТОЙКОСТЬ

В периодической печати последних лет сравнительно мало публикаций об эффективности применения различных способов подвода СОЖ в зону резания. В ОИИЛ-3 были проведены широкие исследования влияния различных способов подвода СОЖ на различные показатели обрабатываемости при точении и фрезеровании.

Точение. В табл. 3.10 приведены результаты исследования влияния способов подвода 10%-ной эмульсии ЭТ-2 на стойкость твердосплавных резцов ВК8 при точении ряда материалов, применяющихся в авиационной промышленности.

Из рассмотренных данных, приведенных в табл. 3.10, следует, что при обработке всех материалов наиболее эффективным способом применения СОЖ при точении является высоконапорное охлаждение, способствующее повышению стойкости инструмента по сравнению с резанием без СОЖ в 2...4 раза и по сравнению с обычным поливом — в 1,5...2 раза при сокращении расхода жидкости в 10...15 раз. Применение СОЖ в распыленном состоянии дает такой же эффект, как и обычный полив. Однако расход жидкости в этом случае уменьшается в десятки раз.

В [16] приведены результаты исследования эффективности разработанных авторами так называемых защитных технологических сред (ЗТС), подаваемых в зону резания капельным спо-

собою. Их расход 5...15 мл/мин. Применение указанных сред при точении жаропрочных сплавов ХН70МВТЮ и ХН77ТЮР твердосплавными резцами позволяет повысить стойкость от 1,5 до 6 раз (табл. 3.11).

Таблица 3.10

Обрабатываемый материал	Стойкость при подводе СОЖ, мин				Постоянные условия
	Без СОЖ	Полив	Распыл.	Под давлением	
30ХГСН2А-ВД	8	25	25	45	$t \times s = 2 \times 0,4 \text{ мм}^2$ $v = 2,5 \text{ м/с}$ $h_3 = 0,4 \text{ мм}$
30Х13	2,5	3	—	9,5	$t \times s = 2 \times 0,31 \text{ мм}^2$ $v = 3 \text{ м/с}$ $h_3 = 0,55 \text{ мм}$
1Х18Н9Т	19	59	45/29	78/55	$t \times s = 2 \times 0,28 \text{ мм}^2$ $v = 1,67 \text{ м/с}$ $h_3 = 0,6 \text{ мм}$
15Х18Н12СЧТЮ	10	11	—	23	$t \times s = 2 \times 0,31 \text{ мм}^2$ $v = 1 \text{ м/с}$ $h_3 = 0,6 \text{ мм}$
АН77ТЮР	12	17	17/15	37/17	$t \times s = 2 \times 0,28 \text{ мм}^2$ $v = 0,5 \text{ м/с}$ $h_3 = 0,6 \text{ мм}$

Примечание. В знаменателе стойкость при подводе СОЖ снизу.

Таблица 3.11

Влияние ЗТС на стойкость твердосплавных резцов при точении жаропрочных сплавов ХН70МВТЮ и ХН77ТЮР ($t=1 \text{ мм}$, $s=0,2 \text{ мм/об}$)

Вид СОЖ	Стойкость при обработке, мин								
	ХН70МВТЮ						ХН77ТЮР		
	ВК8		Т15К6		ВК8				
	Скорость резания, м/с								
	0,26	6,4	0,73	0,4	0,73	1,25	0,4	0,68	0,81
Воздух	32	34	2,7	23	15	2,0	51	35	17
Вода	26	26	2,6	28	16,4	2,8			
Na ₂ O — 10%; SiO ₂ — 25%; остальное вода	42	40	3,9	44	29,4	3,9			
ЗТС-1 по А с. 414291	88	52	9,25	55	40	9	100	35	11,6
ЗТС-2							173	72	11,6
ЗТС-6							260	91	16,3
ЗТС-4							390	161	21,5

Фрезерование. Влияние состава и способов подвода СОЖ в зону резания на стойкость при фрезеровании торцевой фрезой Р18 ($D=115$ мм, $z=6$) жаропрочного сплава ЭИ437Б ($t=30$ мм, $B=2$ мм, $s_z=0,13$ мм/зуб, $v=0,16$ м/с) показано в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Без охлаждения	Стойкость при подводе СОЖ, мин					
	7%-ная эмульсия			Масляный туман	7%-ная эм. ЭТ-2 + 2% сульфозфрезоло	7%-ная эм. ЭТ-2 + 2% сульфозфрезоло + 2% 4-хлористого углерода
	Полив	Распыл.	Под давлением			
116	118	180	81	137	205	230

Данные, приведенные в табл. 3.12, показывают, что при фрезеровании больший эффект достигается при применении СОЖ, обладающих высокими смазывающими свойствами. Уменьшение износа в этом случае достигается за счет уменьшения работы резания. Наибольший эффект при фрезеровании дает применение 7%-ной эмульсии на базе эмульсола ЭЛ-2 с добавкой 2% сульфозфрезоло и 2% четыреххлористого углерода. Охлажденные высоконапорной струей эмульсии ЭТ-2 при фрезеровании фрезой, оснащенной даже ножами из быстрорежущей стали, оказывает вредное влияние. Неплохих результатов достигают при применении распыленной эмульсии. Из приведенных данных следует, что эффективность СОЖ имеет избирательный характер: она зависит от особенностей процесса резания, механических и физико-химических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, состава и способа применения СОЖ.

Нарезание резьбы. В табл. 3.13 приведены полученные в ОИИЛ-3 под руководством Е. В. Бурмистрова результаты исследования эффективности применения сульфозфрезоло, смеси 60% сульфозфрезоло, 25% керосина и 15% оленовой кислоты, подававшихся обычным поливом с расходом жидкости 6...8 л/мин, а также смеси касторового масла, олифы и серы; оленовой кислоты и сульфозфрезоло, подававшихся смачиванием инструмента кисточкой при нарезании резьбы М14х1,5 корригированными метчиками из быстрорежущей стали Р9К5 ($\varphi=2^\circ 30'$, $\gamma=7^\circ$, $\alpha=7...8^\circ$; $z=3$; $h_{с, доп}=0,17$ мм), $v=23$ м/мин.

Из приведенных результатов видно, что на стойкость метчиков оказывают влияние не только состав СОЖ, но и способ их применения. Так, например, при смачивании метчика с помощью кисточки сульфозфрезолом, стойкость составила 3,8 мин, а при обильном поливе этой же СОЖ стойкость достигала 24 мин.

Таблица 3.13

Показатели	С О Ж				
	Поливом		Кисточкой		
	Сульфифрезол	Сульфифрезол, керосин, олеиновая кислота	Касторовое масло, олифа, сера	Олеиновая кислота	Сульфифрезол
$T_{\text{мин}}$	24	12	22	3,2	3,8
$N_{\text{отв}}$ (при $l=21$ мм)	910	460	834	123	146
k	1,0	0,5	0,92	0,13	0,16
$k_{\text{во}}$	1,0	0,74	0,96	0,38	0,45

З а к л ю ч е н и е. Совместное рассмотрение результатов исследований эффективности состава и способов применения СОЖ показывает, что охлаждающие и смазывающие свойства СОЖ одного и того же состава могут быть усилены за счет применения высоконапорного подвода струи жидкости или смеси жидкости с воздухом. В первом случае в несколько раз усиливается охлаждающее действие, во втором — смазывающее.

3.2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЖ С ЦЕЛЮ УМЕНЬШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Влияние СОЖ на шероховатость обработанной поверхности изучалось многими исследователями. Большой вклад в изучение влияния СОЖ на шероховатость обработанной поверхности внесли Ю. М. Виноградов [4, 5], А. М. Исаев [25, 26], Б. И. Костецкий [27], М. О. Якобсон [44] и др. В исследованиях устанавливалось влияние СОЖ на высотные характеристики шероховатости ($H_{\text{ск}}$, R_a , R_z) главным образом при точении материалов общего назначения, как правило, острым резцом. Исследований комплексных, выполненных в широком диапазоне изменения скоростей резания и подач при различных видах лезвийной обработки конструкционных материалов, применяющихся в авиационной промышленности, выполнено мало. Специальные исследования и опыт промышленности показывают, что эффективность применения СОЖ с целью снижению шероховатости зависит не только от состава, но и от способа их применения. Поэтому влияние составов и способов применения СОЖ на шероховатость рассматривается отдельно.

3.2.1. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СОЖ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В ОНИЛ-3 КуАИ проведены комплексные исследования влияния СОЖ на показатели качества обработанной поверхности, в частности, на шероховатость при точении авиационных материалов. Результаты этих исследований приведены в [22, 23] и ниже. В табл. 3.14 [39] показано влияние газовых и жидких смазочно-охлаждающих сред на характеристики шероховатости обработанной поверхности при точении стали 1Х18Н10Т резцами ВК8 ($\gamma = \alpha = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $r = 1$ мм); $h_3 \leq 0,1$ мм; $t = 2$ мм, $s = 0,31$ мм/об, $v = 1...2,5$ м/с).

Таблица 3.14

Вид СОЖ	Характеристики	Скорость резания, м/с			
		1,0	1,33	2,0	2,5
Всухую	R_a , мкм	10	10	9,5	5
	R_z , мкм	22,5	24,5	19	13
	R_{max} , мкм	29	30,5	24	6
	S_m , мкм	95	130	80	62,5
	S_m , мкм	395	260	370	234
	t_p , %	25,2	18,5	33,5	29
Углекислота	R_a , мкм	7,5	9,8	8,0	5,0
	R_z , мкм	14	23	19	11,5
	R_{max} , мкм	24,5	29	24	15
	S_m , мкм	70	124	101	60
	S_m , мкм	291	253	307	225
	t_p , %	17	12	29	28
Кислород	R_a , мкм	5	9	8	5
	R_z , мкм	16	19	13,5	11,5
	R_{max} , мкм	20	27	20	14
	S_m , мкм	80	106	88	73
	S_m , мкм	202	299	210	216
	t_p , %	30	44	24	21
10%-ная эмульсия ЭГ-2	R_a , мкм	6,5	9,8	8,0	3,8
	R_z , мкм	11	16	20,5	7,0
	R_{max} , мкм	17,5	26	25	12
	S_m , мкм	103	103,5	80	52
	S_m , мкм	235	241	295	258
	t_p , %	21	8,5	32	10
5%-ная эмульсия + 2% сульфозфрезола	R_a , мкм	3,5	5,3	4,5	3,3
	R_z , мкм	9	13	11,5	8
	R_{max} , мкм	11,5	16	14,5	11,5
	S_m , мкм	107	117	65	62
	S_m , мкм	175	158	231	275
	t_p , %	13	8	30	11,5

Из приведенных в табл. 3.14 данных видно, что при увеличении скорости от 1,0 до 2,5 м/с характер изменения высоты шероховатости R_z при резании без СОЖ и с их применением остается примерно одинаковым. Величина R_z до некоторой скорости резания растет, достигает максимума, а затем начинает уменьшаться и стабилизируется. При подводе в зону резания кислорода и углекислоты максимум шероховатости наблюдается при той же скорости, что и при резании всухую ($v = 1,33$ м/с).

Применение СОЖ — 10%-ной эмульсии ЭТ-2 и 5%-ной эмульсии ЭТ-2 с добавкой 2% сульфифрезола способствует смещению максимума R_z в сторону больших скоростей ($v = 1,6$ м/с). Максимальная величина R_z имеет место при точении без СОЖ. Минимальная величина R_z во всем диапазоне скоростей достигается при применении 5%-ной эмульсии ЭТ-2 с добавкой 2% сульфифрезола. Такой характер изменения шероховатости объясняется, главным образом, изменением нароста, который возникает при некоторой скорости, различной для разных сред, достигает максимума, а затем с увеличением скорости постепенно уменьшается и исчезает.

Из рассмотрения данных, приведенных в табл. 3.14, следует, что влияние СОЖ на параметры S , S_m и t_p носит также сложный, часто экстремальный характер. Графики зависимостей $S_m = f(v)$ при резании со скоростью 1,3 м/с с применением углекислоты и 5%-ной эмульсии с добавкой 2% сульфифрезола имеют S_m , а при применении кислорода этот параметр имеет максимум.

Параметр S во всех случаях при этой скорости имеет максимальные значения, самая большая величина S имеет место при резании всухую. Параметр t_p при $v = 1,33$ м/с достигает минимальной величины при резании без СОЖ с применением углекислоты, 10%-ной эмульсии и 5%-ной эмульсии с добавкой 2% сульфифрезола. При применении кислорода имеет место максимальная величина t_p . В табл. 3.15 показано влияние подачи, скорости резания и СОЖ на величину R_z и S .

В табл. 3.16 приведены данные о влиянии скорости резания, подачи и СОЖ на величину R_z и S при точении стали 12Х18Н10Т затупленным резцом ($h_3 \sim 0,5$ мм).

Анализ данных, приведенных в табл. 3.16, показывает, что характер зависимостей $R_z = f(v)$, $S = f(v)$ при точении затупленным резцом отличается от аналогичных зависимостей при точении острым резцом с применением различных СОЖ. При точении острым резцом зависимости $R_z = f(v)$ и $S = f(v)$ при резании без СОЖ и с применением кислорода, углекислоты, 10%-ной эмульсии и 5%-ной эмульсии с добавкой 2% сульфифрезола имели явно выраженный максимум. При точении затупленным резцом без СОЖ зависимость $R_z = f(v)$ имеет макси-

Влияние СОЖ, скорости резания и подачи на параметры шероховатости при точении стам. 12Х18Н10Т острыми резацами ($h_3 \leq 0,1$); $t = 2$ мм

Вид охлаждения	Величины R_z и S , мкм, при											
	скорости v , м/с						подачи s , мм/об					
	1,0		1,67		2,4		0,1		0,1		0,5	
R_z	S	R_z	S	R_z	S	R_z	S	R_z	S	R_z	S	
Без охлаждения	—	383	92	387	82	381	14,5	121	156	571		
ЭГТ-2	147	358	105	356	115	340	25	113	137	584		
Постоянные условия	$t \times s = 2 \times 0,31 \text{ мм}^2$											$v = 1,67 \text{ м/с}$

Таблица 3.16

Режим резания	Величины R_z , S при охлаждении, мкм												
	Содовая вода		ЭГТ-2		РЗ-СОЖ8		ИХП-457		Аквол-10		МР-1		
S , мм/об	v , м/с	R_z	S	R_z	S	R_z	S	R_z	S	R_z	S	R_z	S
0,31	1,0	46	353	73	341	139	386	61	351	48	369	52	253
0,31	1,67	53	329	82	366	121	392	50	359	72	375	56	333
0,31	2,41	57	357	88	356	120	377	67	331	81	358	63	342
0,1	1,67	21	96	14	115	14	119	25	106	37	115	—	117
0,5	1,67	—	517	132	555	147	535	59	546	59	504	47	528

мум при $v = 1,67$ м/с. При применении содовой воды, 10%-ной эмульсии ЭТ-2, 10% Аквол-10 и МР-1 величина R_z с увеличением скорости монотонно возрастает. При применении 10%-ной эмульсии ИХП-457 при $v = 1,67$ м/с наблюдается минимальная величина R_z . Применение 10%-ной эмульсии РЗ-СОЖ8 сопровождается ростом величины R_z с увеличением скорости резания. В исследованном диапазоне изменения скоростей резания и подачи применение всех видов способствует увеличению величины R_z .

Зависимости $S = f(v)$ при точении всухую и с применением 10%-ной эмульсии ЭТ-2, РЗ-СОЖ8, ИХП-457, Аквол-10 имеют явно выраженный максимум при $v = 1,67$ м/с, и только при применении содовой воды и масляной СОЖ МР-1 при этой же скорости имеет место минимум. По-видимому, и в этом случае решающим фактором является интенсивность наростообразования.

Влияние подачи, скорости резания и СОЖ на величину R_z при точении сплава ЭИ598 резцом ВК60М ($\gamma = \alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $r \sim 0,5$ мм), $t = 1$ мм показано в табл. 3.17.

Таблица 3.17

Режим резания		Величина R_z при охлаждении, мкм					
		Без охлаждения		5% ЭТ-2		5% СДМУ-2	
v , м/с	s , мм/об	R_z	h_3	R_z	h_3	R_z	h_3
0,33	0,1	10,6	0,2	15	0,15	3,4	0,18
0,5	0,1	7,2	0,12	9,2	0,15	10	0,2
0,66	0,1	6,6	0,15	8,8	0,15	4,5	0,2
0,33	0,2	10,5	0,18	35	0,18	5	0,2

Влияние скорости резания и СОЖ на величину R_z при точении сплава ЭИ1698—ВД резцом ВК8 ($\gamma = \alpha = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$; $\lambda = 0^\circ$, $r = 1$ мм), $t = 1,5$; $h_3 \sim 0,5$ мм показано в табл. 3.18.

Таблица 3.18

Вид СОЖ	s , мм/об	Величина R_z , мкм, при v , м/с		
		0,33	0,5	0,66
Без охлаждения	0,2	32	32	30
5% ЭТ-2	0,2	18	16	23
10% Укринол-1	0,1	4	1,3	2,6
10% Аквол-10	0,1	3,8	5	5
МР-4	0,1	4	1,3	2,6

Из приведенных в табл. 3.17 и 3.18 данных следует, что и при точении жаропрочных сплавов влияние СОЖ на характер зависимостей $R_z = f(v)$ неоднозначно. Влияние скорости резания, износа резца и СОЖ на величину R_z при точении колец из сплава ВТ9 резцом ВК8 ($\gamma = \alpha = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\lambda = 0$, $r = 1$) при $t \times s = 2 \times 0,2$ мм² показано в табл. 3.19.

Таблица 3.19

v, м/с	h ₃ , мм	Величина R _z , мкм, при применении						МР-4
		без охл.	5% ЭТ-2	5% Укринол	10% Аквол-10	10% РЗ-СОЖ8	10% ИХП-453	
0.33	0,1	30	27	29	26,5	—	—	26.5
0.5	0.1	34	27	24.5	21	—	56	26
0.5	0.6	35	50	54	45	57	66	—
0.66	0,1	—	31	21	18,5	—	—	22
0.83	0,1	36	26	24	23	—	—	18
0.83	0.2	28	22	27	28	—	32	—

В табл. 3.20 показано влияние СОЖ на величину R_z при точении колец из сплава ВТ22. Резец ВК8 ($\gamma = 5^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\lambda = 7^\circ$, $r = 0,5$ мм; $h_3 \leq 0,1$ мм), $t = 2$.

Таблица 3.20

Режим резания		Величина R _z , мкм, при применении		
v, м/с	s, мм/об	без охлаждения	10% ЭТ-2	МХО-60
0.5	0,1	4.3	3.3	7.4
0.33	0,3	25,8	23,9	33,7

В [2] приведены данные о влиянии ряда СОЖ: эмульсии, очищенного и активированного керосина при точении с подачами 0,075...0,215 мм/об. Установлено, что применение указанных СОЖ способствует уменьшению величины R_z по сравнению с резанием всухую (рис. 3.1). Эффективность СОЖ с увеличением подачи уменьшается.

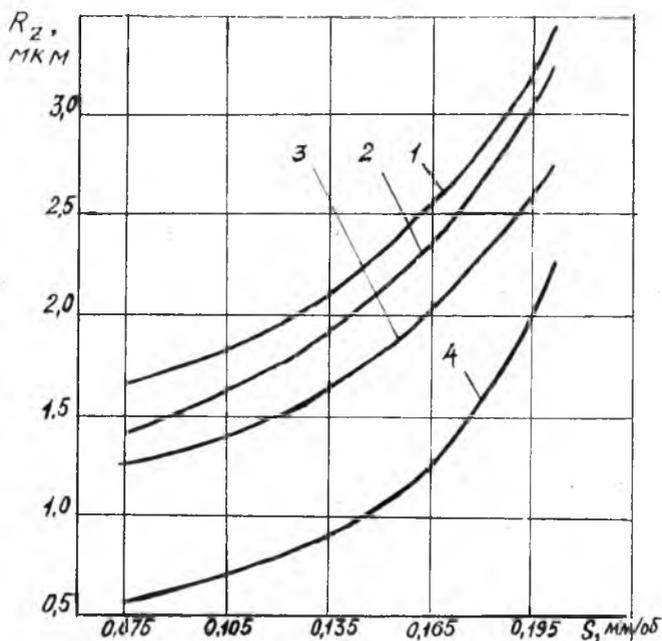


Рис. 3.1. Влияние подачи и СОЖ на высоту шероховатости:
 1 — сухую; 2 — керосин очищенный; 3 — эмульсия;
 4 — керосин активированный

3.2.2. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПОДВОДА СОЖ В ЗОНУ РЕЗАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Влияние скорости резания и способа подвода 10%-ной эмульсии ЭТ-2 на характеристики шероховатости обработанной поверхности при точении стали 1Х18Н9Т резцами ВК8 ($\gamma = \alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $r = 1$ мм, $h_3 \leq 0,1$ мм); $t = 2$ мм; $s = 0,31$ мм/об показано в табл. 3.21.

В табл. 3.22 показано влияние скорости резания, подачи и способа подвода СОЖ в зону резания на величину R_z при точении сплава ЭИ598 резцом ВК60М ($\gamma = \alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\lambda = 0$, $r = 0,5$ мм, $h_3 = 0,12 \dots 0,2$ мм), $t = 1$ мм.

Влияние скорости резания и способа подвода 5%-ной эмульсии ЭТ-2 на величину R_z при точении сплава ЭИ698-ВД резцом ВК8 ($\gamma = \alpha = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\lambda = 0$, $r = 1$ мм, $h_3 \sim 0,5$), $t = 1,5$, $s = 0,2$ мм/об показано в табл. 3.23.

Таблица 3.21

Вид СОЖ и способ применения	Характерис- тики шеро- ховатости	Скорости резания, м/с			
		1,0	1,33	2,0	2,5
Полив	R_a , мкм	10	10	9,5	5
	R_z , мкм	22,5	24,5	19	13
	R_{max} , мкм	29	30,5	24	6
	S , мкм	95	130	80	62,5
	S_m , мкм	395	260	370	234
	t_p , %	25,2	18,5	33,5	39
Под давлением	R_a , мкм	8	10,5	9	7,5
	R_z , мкм	15,5	20	17,5	13
	R_{max} , мкм	20	30	21,5	16,5
	S , мкм	76	127	85	65
	S_m , мкм	234	227	332	335
	t_p , %	22	24,5	35,5	30

Таблица 3.22

Режим резания		Величина R_z при охлаждении, мкм									
		Без ох- лаждения		5% ЭТ-2, полив		5% ЭТ-2, распыл.		5% СДМУ-2, полив		5% СДМУ-2, распыл.	
v , м/с	S , мм/об	R_z	h_3	R_z	h_3	R_z	h_3	R_z	h_3	R_z	h_3
0,33	0,1	10,6	0,2	15	0,15	4,2	0,2	3,4	0,18	7,8	0,15
0,5	0,1	2,2	0,12	9,2	0,15	3,3	0,21	10	0,2	6	0,18
0,66	0,1	6,6	0,15	8,8	0,15	4	0,23	4,5	0,2	6,8	0,2
0,33	0,2	10,5	0,18	35	0,18	—	—	5	0,2	10,4	0,2

Таблица 3.23

Вид СОЖ	Способ подвода	Величина R_z , мкм, при v , м/с		
		0,33	0,5	0,66
Без охлаждения	Полив	32	32	30
		18	16	23
5% ЭТ-2	Под давлением	28	27	27

В табл. 3.24 показано влияние скорости резания, подачи и способа подвода 5%-ной эмульсии ЭТ-2 на величину R_z при точении сплава ВТ9 резцами ВК8 ($\gamma = 12^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $h_3 \leq 0,1$), $t = 1$ мм.

Таблица 3.24

Режим резания		Величина R_z , мкм при применении		
s , мм/об	v , м/с	Без охладж.	5% ЭТ-2, полив	5% ЭТ-2, распыл.
0,22	0,5	32	13	21
0,22	1,22	34	14	25,5
0,07	0,76	7	6	5,5
0,37	0,76	38	70	23

Влияние состава и способа подвода СОЖ на величину R_z при точении сплава ВТ22 на режимах резания, близких к оптимальным по стойкости, резцом ВК8 ($\gamma = 5^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\lambda = 7^\circ$, $r = 0,5$ мм, $h_3 \leq 0,1$ мм) показано в табл. 3.25.

Таблица 3.25

Режим резания		Величина R_z при охлаждении, мкм				
v , м/с	s , мм/об	Без охлаждения	10% ЭТ-2			МР-1, распыленная
			полив	распыление	под давлением	
0,5	0,1	4,3	3,3	7,8	4,1	5,5
0,33	0,3	25,8	23,9	26,3	29,4	31,2

В [6] приведены обобщенные выводы о влиянии распыленных СОЖ на шероховатость обработанной поверхности. Отмечается, что применение СОЖ, и особенно в распыленном состоянии, как правило, улучшает шероховатость обработанной поверхности в весьма широком диапазоне скоростей резания, особенно при работе с малыми подачами ($s = 0,1$ мм/об). С увеличением подачи эффективность влияния падает. Так, например, при $v = 1,1$ м/с и $s = 0,1$ мм/об распыленная эмульсия уменьшает шероховатость на 5,5 мкм, при $s = 0,25$ мм/об на 3,5 мкм, а при $s = 0,4$ мм/об только на 2,5 мкм. При подаче 0,8 мм/об наблюдались случаи ухудшения чистоты поверхности. С увеличением скорости резания и толщины среза смазочное действие ослабевает. Распыленная эмульсия всегда улучшает шероховатость поверхности по сравнению с поливом. Применение в распыленном состоянии СОЖ, содержащих ПАВ (триэтаноламин и т. п.),

способствует уменьшению шероховатости обработанной поверхности в диапазоне скоростей от 0,5 до 3,3 м/с при $s = 0,1 \dots 0,8$ мм/об. Наиболее чистая поверхность получается при охлаждении распыленным маслом. Нарост при применении СОЖ уменьшается и становится незаметным.

В [34] показано влияние газовой фазы распыленной СОЖ на R_z при резании стали 1X18H9T резцами Т15К6 с $t = 6$ мм, $s = 0,11$ мм/об и скоростью от 0,05 до 1 м/с. В качестве СОЖ применялся 2%-ный раствор поваренной соли, распыленный сухим аргоном, сухим кислородом, аргоном и кислородом. Анализ приведенных результатов показывает, что зависимости $R_z = f(v, \text{СОЖ})$ во всех случаях описываются монотонно убывающими кривыми (рис. 3.2). Исключение составляет применение СОЖ, распыленной кислородом. В этом случае кривая имеет «горб» при $v = 0,1$ м/с. Применение СОЖ, распыленной кислородом, во всем диапазоне скоростей сопровождается наименьшей величиной R_z .

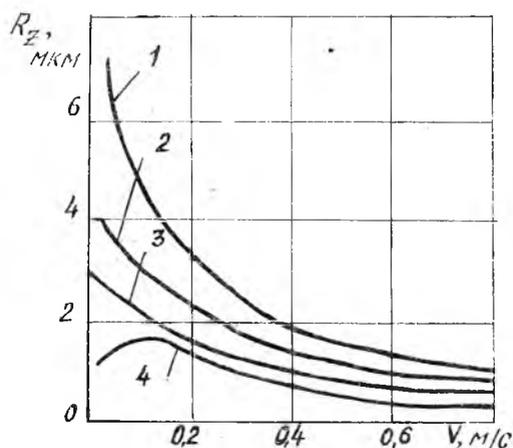


Рис. 3.2. Влияние скорости резания и газовой фазы распыленной СОЖ на высоту шероховатости: 1 — обдув сухим аргоном; 2 — обдув сухим кислородом; 3 — СОЖ, распыленная аргоном; 4 — СОЖ, распыленная кислородом

Наибольшая величина R_z имеет место при обдуве зоны резания аргоном. Кислород воздуха способствует усилению смазочного действия распыленной жидкости. Примерно такие же результаты были получены в [44] при точении стали 20 резцами Т5К10 со скоростью резания от 0,1 до 2,5 м/с; $t = 0,8$ мм и $s = 0,1$ мм/об с применением обдува воздухом, кислородом, азотом и аргоном:

наименьшая величина R_a бывает при обдуве кислородом, наибольшая — при обдуве аргоном. Наибольший эффект достигается при малых скоростях резания ($v < 0,4$ м/с), при $v \geq 0,83$ м/с эффект постепенно уменьшается.

Авторы [15] провели исследование влияния четырех СОЖ: дистиллированной воды, СОЖЗ (10% Na_2O , 25% SiO_2 , остальное вода) и разработанных ими защитных технологических сред (ЗТС) на шероховатость обработанной поверхности при точении сплавов ХН70МВТЮ (ЭИ617) и ХН77ТЮР (ЭИ437Б) резцами ВК8 с $t = 1$ мм, $s = 0,2$ мм/об и $v = 0,25...1,25$ м/с.

СОЖ в зону резания подавались капельным способом.

Установлено (рис. 3.3), что применение всех сред, кроме дистиллированной воды, способствует уменьшению шероховатости поверхности по сравнению с резанием без СОЖ. Увеличение шероховатости при охлаждении дистиллированной водой объясняется тем, что она, по мнению авторов, способствует образованию нароста. Уменьшение шероховатости при применении ЗТС происходит за счет изменения характера износа. Износ вершины реза отсутствует. При температуре 500...600°C происходит разложение ЗТС. При этом одна часть продуктов разложения связывает кислород воздуха, а другая, взаимодействуя с обрабатываемым материалом, образует сульфаты металлов (например, никеля), играющие роль смазочной пленки, так как они имеют температуру плавления более низкую, чем чистые металлы (500...1000°C).

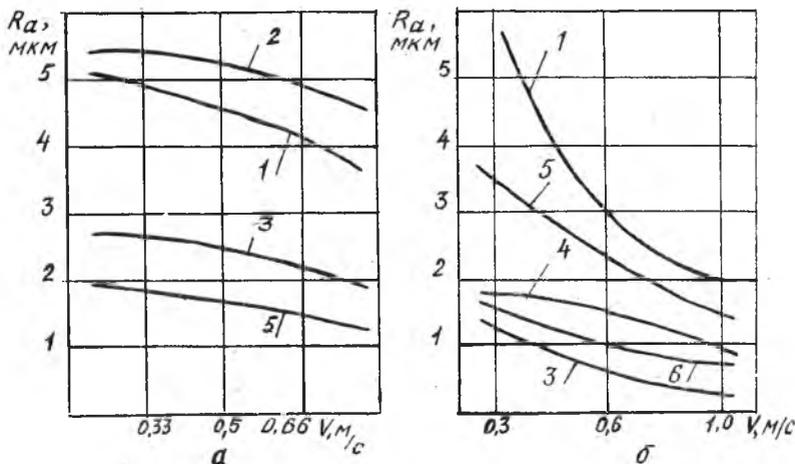


Рис. 3.3. Влияние скорости резания и СОЖ на высоту шероховатости: а — ХН70МВТЮ; б — ХН77ТЮР; 1 — воздух; 2 — вода; 3 — СОЖЗ; 4 — ЗТС-1; 5 — ЗТС-2; 6 — ЗТС-4

4. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО СОСТАВА И СПОСОБА ПРИМЕНЕНИЯ СОЖ

При испытании технологических свойств новых СОЖ в лабораторных условиях могут быть две задачи. Первая сводится к испытанию высокоспециализированных СОЖ с обеспечением наибольшей эффективности на одной операции при обработке резанием одного или нескольких однотипных, близких по обрабатываемости материалов. Вторая — к испытанию СОЖ универсальных, достаточно широкого применения, с обеспечением высокой эффективности на значительной группе операций при обработке различных материалов. Поиск наиболее эффективной высокоспециализированной СОЖ проводят в условиях, определяемых заданием; при осуществлении заданного процесса или лабораторной модели. Ранжировка СОЖ проводится по одному из указанных выше коэффициентов k_T , $k_{Tн}$ или $k_{ш}$. Сложнее выявить высокоэффективную универсальную СОЖ. Методика поиска такой СОЖ приведена в [24]. Методика поиска высокоспециализированной СОЖ излагается ниже.

В производственных условиях приходится решать большое количество технико-экономических задач, связанных с повышением интенсивности и качества обработки металлов резанием. Значительная их часть может быть решена с помощью СОЖ. Все многообразие конкретных задач, которые могут быть решены с помощью СОЖ, можно условно объединить в три группы.

1. Расширение по времени диапазона нормального износа при заданном режиме резания или сохранения его при повышении интенсивности обработки.

2. Выполнение требований по повышению точности и качества обработанной детали (поверхности) без снижения производительности.

3. Устранение заедания, заклинивания, налипания, возникающих при умеренных температурах и делающих процесс резания невозможным.

Решение каждой из указанных задач имеет свою специфику и выполняется по соответствующим методикам.

Согласно методике, разработанной в ОНИЛ КуАИ, поиск наиболее эффективного состава и способа применения высокоспециализированной СОЖ включает следующие этапы:

установление главной и сопутствующих причин, затрудняющих и делающих невозможным выполнение данной операции без СОЖ;

разработка плана устранения или снижения вредного влияния указанных причин с помощью искомого состава и способа применения СОЖ;

разработка модели искомой СОЖ — установление вероятных механических, теплофизических, химических и других свойств основы искомой СОЖ, обеспечивающей главное действие, и присадок к ней, усиливающих главное действие и производящих вспомогательные действия. В связи с тем, что одна и та же задача (например, снижение интенсивности износа) может решаться несколькими способами, таких моделей может быть несколько;

выбор из числа товарных (синтезированных) СОЖ, наиболее близких по своим свойствам к теоретическим моделям (два—три состава);

проведение испытаний технологических свойств выбранных составов и установление наиболее эффективного из них по заданным критериям.

Для установления причин, затрудняющих процесс резания, должны быть тщательно изучены особенности процесса резания без СОЖ: механические, теплофизические и химические свойства, а также структура обрабатываемого и инструментального материалов, их адгезионная, диффузионная и химическая активность по отношению друг к другу и т. д., характер процесса (непрерывный, прерывистый и т. д.), интенсивность наростообразования, уровень температуры и спл резания, преобладающий вид износа.

Ниже приведены особенности обработки авиационных материалов резанием без СОЖ.

4.1. ОСОБЕННОСТИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ В АВИАСТРОЕНИИ

Конструкционные материалы, применяющиеся в авиационной, в большинстве своем относятся к категории труднообрабатываемых [36], при обработке которых скорость резания необходимо снижать не менее чем в два раза по сравнению с обработкой стали 45 при прочих равных условиях. К таким материалам относятся:

высокопрочные стали, подвергнутые термическому, химико-термическому и термомеханическому упрочнению, имеющие мартенситную и трооститно-мартенситную структуру;

коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные стали аустенитного, аустенитно-мартенситного, аустенитно-ферритного, мартенситного классов;

жаропрочные сплавы на железоникелевой, никелевой, хромовой, кобальтовой основе;

сплавы на основе титана;
тугоплавкие эрозионно-стойкие сплавы на основе вольфрама, молибдена, тантала, ниобия и некоторые другие.

Труднообрабатываемые материалы могут отличаться от стали 45 как повышенной, так и пониженной прочностью, пластичностью и теплопроводностью.

В авиационии наиболее широкое применение имеют первые четыре группы и алюминиевые сплавы.

4.1.1. КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ, ЖАРОПРОЧНЫЕ И ЖАРОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Особенностью этих материалов является наличие в их составе легирующих элементов с высокой температурой плавления. Аналогичные элементы (W, Mo, V, Cr, Co и др.) содержатся и в инструментальных материалах — твердых сплавах и быстрорежущих сталях. «Сродство» обрабатываемого и инструментального материалов способствует их адгезионному взаимодействию, приводящему к схватыванию, интенсивному изнашиванию и разрушению режущих инструментов. Наибольшую способность к адгезионному взаимодействию имеют металлы, обладающие повышенной пластичностью, с атомными диаметрами, различающимися не более чем на 15...18% (например, железо—хром, железо—никель). Они способны образовывать твердые растворы. При пластическом деформировании таких материалов диффузионные процессы и схватывание усиливаются. Большая часть материалов с аустенитной структурой имеет малую величину отношения предела текучести к временному сопротивлению, т. е. они способны в процессе пластической деформации к сильному упрочнению. Следовательно, для их обработки резанием требуется затратить значительно большую работу, чем при обработке материалов такой же прочности, но меньшей пластичности. Температура резания при обработке жаропрочных материалов изменяет их исходную прочность незначительно. Применение искусственного нагрева срезаемого слоя с целью улучшения обрабатываемости этих материалов, очевидно, малоэффективно. Наибольшей пластичностью из рассматриваемых материалов обладают хромоникелевые стали аустенитного класса типа 12X18H10T ($\delta_5 \geq 40\%$). Коэффициент усадки стружки при их обработке достигает значений 3; 3,5; происходит навалкивание металла на режущий клин.

Жаропрочные стали и сплавы, помимо пластической фазы, твердого раствора, содержат большое количество включений повышенной твердости — карбидов, интерметаллидов, боридов, нитридов и др. В процессе резания эти включения оказывают

абразивное воздействие на инструмент. При обработке этих материалов резанием возникают большие силы резания, адгезивно-диффузионные и абразивные явления, превалирующим видом изнашивания является адгезивно-усталостный. Для подавления этого вида изнашивания необходимо применять СОЖ с хорошими смазывающими свойствами. При резании хромоникелевых сталей из-за меньшей их реакционной способности более высокие результаты показывают СОЖ с высокой концентрацией противозадирных и противозносных присадок. Жаропрочные литейные сплавы на никелевой, кобальтовой, хромовой основе обладают чрезвычайно низкой обрабатываемостью резанием, что объясняется наличием в их составе большого количества включений, обладающих сильными абразивными свойствами. Скорость резания снижается в 6...14 раз по сравнению со сталью 45.

4.1.2. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СТАЛИ

К высокопрочным сталям относятся легированные стали с пределом прочности $\sigma_b \geq 1600$ МПа. Наибольшее распространение в промышленности имеют высокопрочные стали, легированные Cr, Ni, Mo, V, Mn, Si и другими элементами. Высокопрочные стали после упрочняющей термической обработки сохраняют некоторую пластичность ($\delta = 4...8\%$). Высокопрочные стали в отожженном состоянии по обрабатываемости резанием мало отличаются от обычных конструкционных сталей, и для их обработки следует применять те же СОЖ и инструменты из быстрорежущей стали. Стали с $\sigma_b \geq 2000$ МПа обрабатываются только твердосплавным инструментом, так как уже при этом возникают большие силы резания и интенсивно выделяется тепло. Основными причинами плохой обрабатываемости высокопрочной стали (например 43ХЗСНМВФА) являются большие давления на режущие поверхности и относительно высокая скорость схода стружки. В связи с указанными особенностями проникновение СОЖ на поверхности трения обрабатываемого материала и инструмента сильно затруднено. СОЖ, предназначенная для обработки высокопрочных сталей, должна обладать высокой проникающей способностью, а также способностью создавать на поверхностях трения смазочные пленки, работоспособные в условиях высоких удельных нагрузок и температур.

4.1.3. ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ

Эти сплавы относятся к материалам с высокой удельной прочностью: при плотности $4,6 \text{ г/см}^3$ предел текучести достигает 1400 МПа. По сравнению с высокопрочной сталью, также имею-

щей высокую удельную прочность, титановые сплавы обладают значительно меньшей теплопроводностью. При нагреве титановые сплавы подвержены сильному разупрочнению. Например, нагрев сплава BT3-1 до 500°C приводит к снижению условного предела текучести с 850...1100 МПа до 42 МПа, т.е. более чем в 20 раз.

Титановые сплавы обладают способностью поглощать многие химические элементы из окружающей среды. С ростом температуры интенсивность поглощения увеличивается. В результате насыщения поверхности заготовок из титановых сплавов кислородом, азотом, углеродом образуется альфированный слой повышенной твердости.

Относительно хорошей обрабатываемостью обладают сплавы BT1, BT5, OT4 с пределом прочности менее 950 МПа. Высокопрочные титановые сплавы типа BT14, BT22 обрабатываются со скоростями в два раза более низкими, чем сплавы BT1. Процесс резания титановых сплавов характеризуется высокими давлениями из-за малой площади контакта стружки с передней поверхностью инструмента и относительно высокой скоростью схода стружки, часто превышающей скорость резания.

Широко применяемые СОЖ с присадками, содержащими S, В, Р, N и некоторые другие активные элементы, малоэффективны при обработке титановых сплавов, так как хорошо растворимы в них. Более эффективны СОЖ, содержащие гологены, в частности йод, который практически не растворим в титане.

На операциях с «жесткими» условиями трения на площадке контакта инструмента с обрабатываемым материалом (точение, растачивание, фрезерование плоскостей и уступов и др.) более эффективны водные СОЖ с минимальным содержанием масляной фазы и противозносных присадок. Операции фрезерования газов, сверления, протягивания, развертывания, резьбонарезания характеризуются более «мягкими» условиями трения, особенно на направляющих элементах и вспомогательных задних поверхностях режущих инструментов. На этих операциях создаются более благоприятные условия для реализации как смазывающих, так и охлаждающих свойств СОЖ. Поэтому эмульсионные СОЖ повышенной концентрации, содержащие некоторое количество противозносных присадок, превосходят как синтетические жидкости малой концентрации, так и масляные СОЖ с высоким содержанием присадок.

На операциях протягивания и развертывания примененные масляные СОЖ целесообразно только в тех случаях, когда требуется получение максимально высокого качества обработанной поверхности. При нарезании резьбы метчиками диаметром до 6 мм целесообразно применять высокохлорированные СОЖ типа МР-6.

4.1.4. ТУГОПЛАВКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Эти материалы включают элементы, имеющие высокую температуру плавления (табл. 4.1.).

Таблица 4.1

Физические свойства тугоплавких металлов и железа

Металл	W	Mo	Ta	Nb	Fe
Температура плавления, °С	3410	2610	2996	2468	1540
Плотность, г/см ³	19,2	10,2	16,2	8,6	7,8

Материалы на основе вольфрама имеют предел прочности на уровне закаленных сталей (1100...1500 МПа) и весьма низкую пластичность ($\delta_5 = 1...2\%$). Молибденовые сплавы менее прочны ($\sigma_b = 800...900$ МПа), но более пластичны ($\delta_5 = 10...16\%$). Наибольшей пластичностью обладают материалы на основе ниобия ($\delta_5 = 25...40\%$) и тантала ($\delta_5 = 40\%$).

Тугоплавкие материалы обладают высокой жаростойкостью и жаропрочностью. Большинство тугоплавких материалов обладают высокой теплопроводностью. Так, теплопроводность W в 20 раз выше теплопроводности титановых сплавов. Поэтому $\Theta_{рез}$ тугоплавких металлов бывает ниже, чем при резании других труднообрабатываемых материалов.

При обработке вольфрамовых сплавов в зоне контакта возникают высокие давления, которые в сочетании с высокой адгезионной и абразивной способностью обрабатываемого материала вызывают повышенное изнашивание режущего инструмента. При обработке молибденовых сплавов вследствие меньшей прочности и большей пластичности контактные давления меньше. Однако адгезионная способность молибдена по отношению к материалу инструмента в 5...10 раз выше, чем у близких по свойствам легированных сталей. Это и является одной из главных причин их плохой обрабатываемости.

Ниобиевые и танталовые сплавы обладают большой пластичностью и склонностью к налипанию на режущий инструмент. Они имеют невысокую прочность, поэтому хорошо обрабатываются инструментом из быстрорежущей стали со скоростью резания 30...40 м/мин, т. е. как коррозионнотойкие стали. Однако их обрабатываемость твердосплавным инструментом вследствие повышенных адгезионных свойств ниже, чем у этих сталей. Так, резание коррозионно-стойких сталей осуществляют со скоростью 120...150 м/мин, а резание ниобиевых и танталовых сплавов со скоростью 70...100 м/мин.

Для снижения интенсивности адгезионно-усталостного изнашивания режущих инструментов целесообразно применять СОЖ с высокими проникающими и смазывающими свойствами.

При обработке вольфрамовых сплавов почти на всех операциях обработки резанием лучшие результаты могут быть получены при применении СОЖ с высокими смазывающими свойствами, в состав которых входят химические и поверхностно-активные противозадные присадки.

Молибденовые сплавы более пластичны, чем вольфрамовые. Поэтому при их обработке на стойкость инструмента благоприятное влияние оказывают как поверхностно- и химически активные СОЖ, так и СОЖ, обладающие высокими охлаждающими свойствами.

Специфическое влияние оказывают СОЖ на процесс сверления молибденовых сплавов. Применение 10%-ной эмульсии при сверлении молибденового сплава сверлом из Р18 снижает стойкость в 10 раз. Объясняется это активизацией абразивного изнашивания под действием водной СОЖ в результате образования мелкодисперсной стружки. Удаление этой стружки с помощью сжатого воздуха или СОЖ под давлением способствует повышению стойкости инструмента.

Условия взаимодействия СОЖ с инструментом и обрабатываемым материалом в значительной степени зависят не только от свойств обрабатываемого материала, но также и от типа операции, вида режущего инструмента и режимов резания.

На операциях точения, а также фрезерования концевыми, цилиндрическими и торцевыми фрезами контактирование обрабатываемого материала с режущим инструментом осуществляется на участках передней и задней поверхности с относительно малой площадью (не превышает нескольких квадратных миллиметров). Трение на контактных площадках протекает в условиях очень высоких давлений (выше предела прочности на сжатие обрабатываемого материала). Работа внешнего трения при этом составляет незначительную часть общих энергетических затрат. В таких условиях затруднена реализация смазывающих свойств СОЖ.

При выполнении операций обработки отверстий (сверление, развертывание, протягивание, нарезание резьбы метчиками и др.), а также на некоторых операциях обработки пазов и отрезки (фрезерование дисковыми, пазовыми, прорезными, отрезными фрезами, отрезными, канавочными, резьбовыми резцами и др.) контактирование инструмента с обрабатываемым материалом происходит на значительной площади. Площади контакта некоторых инструментов могут исчисляться сотнями и тысячами квадратных миллиметров.

Условия трения на площадках контакта режущих и направляющих элементов инструментов резко различаются по своему характеру. На передних и задних поверхностях режущих элементов наблюдаются высокая концентрация энергии, интенсивная пластическая деформация контактирующих слоев обрабатываемого металла, температурные скачки вплоть до температуры плавления материала. На рассматриваемых площадках различают три зоны: адгезии, смешанного трения в условиях граничной смазки, осложненной адгезией, и трения в условиях галогенной граничной смазки. На площадках контакта направляющих элементов режущих инструментов наблюдается трение как с граничной, так и с жидкостной смазкой. Давления и температура при этом могут уменьшаться в несколько раз. Создаются благоприятные условия для смазывания направляющих элементов, уменьшаются энергетические затраты на перемещение режущего инструмента относительно заготовки, снижается температура и износ направляющих элементов, что способствует снижению температуры режущих поверхностей.

Обработка материалов, применяющихся в авиастроении на режимах, рекомендованных нормативами для материалов общего назначения, имеет по сравнению с ними ряд особенностей [20]:

- образование более прочной, сильно нагретой стружки в виде полосы или спирали с большим шагом и малой кривизной при токарной обработке с хаотичным характером ее схода; более частое забивание стружечных канавок многолезвийных осевых инструментов приварившейся стружкой;

- сохранение интенсивного процесса наростообразования до более высоких температур (650...700°C вместо 450...550°C);

- большая высота остаточных гребешков на обработанной поверхности;

- наличие интенсивных вибраций инструмента и детали в более широком диапазоне изменения режимов резания;

- превышение в отдельных случаях уровня сил резания и температур рабочих поверхностей инструмента, обработанной поверхности и стружки в 1,2...1,5 раза;

- большая глубина и степень наклепа поверхностного слоя; наличие в большинстве случаев остаточных напряжений растяжения (исключение составляют некоторые случаи обработки титановых сплавов);

- явление «отрицательной» усадки при обработке титановых сплавов в широком диапазоне изменения режимов резания.

Предварительный выбор состава и способа применения СОЖ, подлежащих испытаниям, в ходе которых будет определен наиболее выгодный из них, можно сделать, используя сведения, приведенные в разд. 3 и ниже.

4.2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭФФЕКТИВНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ ОСНОВНЫХ ВИДОВ СОЖ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

В идеальном случае для каждой пары «обрабатываемый материал — инструментальный материал», для каждого вида и каждой стадии обработки должен быть свой, наиболее эффективный состав СОЖ и способ ее применения.

Производство летательных аппаратов по количеству выпускаемых изделий относится к единичному (штучному) производству. Применение высокоспециализированных СОЖ возможно только на некоторых станках (участках). Номенклатура составов СОЖ должна быть ограниченной. СОЖ, применяющиеся при обработке материалов резанием, в своем большинстве должны быть универсальными, многоцелевыми, в той или иной мере, эффективными при определенных методах обработки (точении, сверлении, фрезеровании и др.) и группах конструкционных материалов (нержавеющих, жаропрочных сталей и сплавов, титановых сплавов и др.). Однако для установления оптимальной номенклатуры СОЖ необходимо предварительно установить СОЖ, эффективные для частных случаев, пользуясь рекомендациями, разработанными отраслевыми НИИ и НИЛ. Рекомендации наиболее крупных научных организаций приведены ниже.

НИАТ предлагает все многообразие СОЖ объединить в десять групп:

- Э₁ — эмульсии без присадок высокого давления (ВД);
- Э₂ — эмульсии с присадками ВД;
- М₁ — легкие минеральные масла с присадками;
- М₂ — масляные СОЖ с небольшим количеством активных присадок;
- М₃ — масляные СОЖ многоцелевого назначения;
- М₄ — масляные СОЖ со средним количеством присадок ВД;
- М₅ — масляные СОЖ с высоким количеством присадок ВД;
- М₆ — масляные СОЖ с присадками для обработки титановых сплавов;
- С₁ — синтетические водные жидкости с присадками для обработки титана.

Области применения указанных групп СОЖ при лезвийной обработке различных конструкционных материалов приведены в табл. 4.2.

ЦНИИТМАШ [14] разработал рекомендации по применению СОЖ при лезвийной обработке инструментами из быстрорежущей стали и оснащенными твердым сплавом. В основу рекомендаций положена классификация СОЖ, согласно которой все СОЖ разбиты на две группы: водные и масляные. Водные СОЖ,

в свою очередь, подразделяются на СОЖ без специальных присадок — В (ИГЛ-205, ЭГ-2 и др.) и СОЖ с присадками — ВП (РЗ—СОЖ8, СДМУ-2, Аквол-2, Укринол-1, сульфорецинат и др.).

Таблица 4.2

Вид обработки	Группы обрабатываемых материалов									
	Инструментальные стали		Высокопрочные стали		Жаропрочные и переражающиеся сплавы и стали		Титановые сплавы		Тугоплавкие сплавы	
Точение	Э ₁	Э ₂	Э ₁	Э ₂	Э ₂		Э ₂		С ₁	
Сверление	Э ₁	Э ₂	Э ₁	Э ₂	Э ₂		С ₁	Э ₂	Э ₂	
Фрезерование	Э ₁	Э ₂	М ₁	М ₂	М ₄	М ₆	М ₆	С ₁	М ₄	
			Э ₁	Э ₂	Э ₁	Э ₂	Э ₂	С ₁	Э ₂	
Токарные автоматы	М ₃	М ₄	М ₃	М ₄	М ₄	М ₅	М ₃	М ₆	М ₄	
Развертывание	Э ₂	М ₄	Э ₂	М ₄	Э ₂	М ₅	Э ₂	М ₆	Э ₂	М ₄
Резьбонарезание	М ₄	Э ₂	М ₄	Э ₂	М ₅	Э ₂	М ₆	Э ₂	М ₅	Э ₂

Масляные СОЖ подразделяются на четыре подгруппы:

1) без активных присадок — М (индустриальные масла, масла + олеиновая кислота); 2) с небольшим количеством активных присадок — МП (ОСМ—3); 3) со средним количеством присадок—МП1 (МР-1, МР-2, сульфозрезол; 4) с высоким количеством присадок — МП2 (В-296, В-32к, В-35).

Рекомендации учитывают преобладающий вид износа инструмента, свойства обрабатываемых материалов, стадию обработки (черновая, полунистовая, чистовая), характер резания (непрерывное и прерывистое резание), вид износа (усталостно-адгезионный и тепловой) и скорости резания, которые разбиты на две зоны: зону низких скоростей ($v < v_{то}$) и зону высоких скоростей ($v > v_{то}$), где $v_{то}$ — минимальная целесообразная скорость. В табл. 4.3 приведены рекомендации по применению СОЖ на различных операциях обработки лезвийным инструментом.

В табл. 4.4 приведены обобщенные рекомендации по эффективному применению ряда новых масляных и водосмешиваемых СОЖ при точении высокопрочных, жаропрочных сталей и сплавов тугоплавких материалов, титановых и алюминиевых сплавов, разработанные с использованием данных, опубликованных в [36].

Рекомендации по применению СОЖ при лезвийной обработке [13]

1	2	3	Скорость резания меньше v_0					Скорость резания больше v_0									
			Быстрорежущая сталь		Твердый сплав		Инструментальные материалы		Быстрорежущая сталь		Твердый сплав						
			Углеродистые, легированные стали	Нержавеющие, жаропрочные стали и сплавы	Углеродистые, легированные стали	Нержавеющие, жаропрочные стали и сплавы	Углеродистые, легированные стали	Нержавеющие, жаропрочные стали и сплавы	Углеродистые, легированные стали	Нержавеющие, жаропрочные стали и сплавы	Углеродистые, легированные стали	Твердый сплав					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11							
Вид резания	Стадия обработки	Операция	4	5	6	7	8	9	10	11							
											Черновая Точение Сверление	Всухую М, МП	Всухую, М М, МП	— —	Б В, ВП	ВП ВП	В В, ВП
Непрерывное резание	Чистовая	Точение	4	5	6	7	8	9	10	11							
											Полу- чистовая	Всухую, М М М, МП МПП	Всухую, М — — —	— — —	В ВП ВП ВП	В В, ВП ВП ВП	ВП ВП ВП
											Чистовая	ВП, МП, МП1	ВП, МП1, МП2	ВП ВП, МП2	ВП ВП, МП2	ВП ВП, МП2	ВП ВП, МП2
Непрерывное резание	Чистовая	Точение	4	5	6	7	8	9	10	11							
											Резьбона- резание	ВП, МП, МП1	ВП, МП, МП1, МП2	ВП ВП, МП2	ВП ВП, МП2	ВП ВП, МП2	ВП ВП, МП2
Непрерывное резание	Чистовая	Точение	4	5	6	7	8	9	10	11							
											Резьбона- резание	ВП, МП1, МП2	МП1, МП2 МП2	ВП ВП, МП2	ВП ВП, МП2	ВП ВП, МП2	ВП ВП, МП2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Черп- вая	Строгание	Всухую	Всухую	Всухую	—	—	В	ВП	Всухую	Сухие смеси
	Фрезерование	Всухую	Всухую	Всухую	—	—	В, ВП	ВП	Всухую	Сухие смеси
	Точение	Всухую	Всухую	Всухую	—	—	В	ВП	Всухую	Сухие смеси
Полу- чисто- вая	Строгание (зубодолбле- ние)	М	М	М	—	—	В МП, МП1	ВП	Всухую	Всухую
	Фрезерование (зубофрезеро- вание)	М	М	М	—	—	В, ВП МП, МП1	ВП	Всухую	Сухие смеси
Чисто- вая	Строгание (зубодолбле- ние)	ВП, МП	ВП, МП	ВП, МП1, МП2	—	—	ВП МП, МП1	ВП	Всухую	Сухие смеси
	Фрезерование (зубофрезе- рование)	МП	МП	МП1	—	—	ВП МП, МП1	ВП	Всухую	Сухие смеси
	Протягивание	ВП, МП1	ВП, МП1	ВП МП1, МП2	—	—	—	—	—	—

Привычное резание

Операции	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	С О Ж		k _Р
			заменяемая	новая	
1. Высокопрочные стали					
	3Х2ГСН2ВМ	Резец проходной из ВК6М	Э-2 (10%-ная)	РЗ—СОЖ8 (20%-ная)	1,6
2. Коррозионно-стойкие стали					
Точение продольное	12Х18Н10Т	Резец проходной ИЗ Т15К6	ЭТ-2 (3%-ная)	Укринол-1 (3%-ная)	1,2
			Э-2 (3%-ная)	Аквол-11 (3%-ная)	1,2
			Э-2 (3%-ная)	Аквол-6 (5%-ная)	1,3
			ВК8	Карбамол Э-1 (3%-ная)	1,3
			Э-2 (3%-ная)	СО ₂ (p=0,2 МПа)	1,4
			ЭТ-2 (3%-ная)	О ₂ (расход 40 л/мин)	1,5
Подрезка торца		Резец подрезной из Р18	ЭТ-2 (3%-ная)	Аквол-11 (3%-ная)	1,2
			Сульфорезол	МР-1у	1,1
			ЭТ-2 (3%-ная)	МР-6	1,0
			ЭГТ (3%-ная)	50% МР-6 + И-20А	1,1
Отрезка	09Х16Н4Б	Отрезной из Т5К10	ЭТ-2 (3%-ная)	Укринол-1 (3%-ная)	1,3
			ЭГТ (3%-ная)	Аквол-6 (5%-ная)	1,5
			Э-2 (5%-ная)	МР-1у	1,2
3. Жаропрочные стали и сплавы					
Продольное точение	ХН77ТЮР	Резец проходной из Р18	И-12А	Синтетическая на основе триэтилоламина	1,8
			Э-2 (5%-ная)	Э-1 (10%-ная + 2% сульфорезола)	1,8
			Э-2 (5%-ная)	Аквол-6 (10%-ная)	1,0

Продолжение табл. 4.4

Операции	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	С О Ж		k _T	k _R
			заменяемая	новая		
		ВК8	Воздух	Э-2 (5%-ная) в распыленном виде СО ₂ (ρ=0,2 МПа)	1,7	
	15X18H12C4TЮ ХН35ВТЮ	Р9К5	Воздух	Укринол-1 (5%-ная) Укринол-1 (5%-ная) ЭТ-2 (10%-ная) Сульфорезол МР-1 Аквол-6 (5%-ная)	1,4 1,9 1,5 1,3 1,4 1,5 1,8	
	ЖС6КП	Т17КТ2	Укринол-1 (5%-ная)	Аквол-11 (20%-ная)	1,2	1,0
		ВК8	ЭГТ (5%-ная)	МР-2у [*] МР-5у (10%-ная)	1,3 1,4	0,83 0,7
Отрезка	15X18H12C4TЮ	Р6М5К5	Сульфорезол [†]	Карбамол Э-1 (5%-ная) МР-1у	1,2	2,0
		4. Тугоплавкие материалы				
Продольное точение	Вольфрамовый сплав	ВК8	Воздух	Сульфорецинат-Е (5%-ная) Сульфорецинат-Е (10%-ная)	1,2—2,6	0,33
	Вольфрам (σ _b =550—600 МПа)	ВК6М		ЛЗ-СОЖ1а ГЗ-3Х	1,1—4,5	0,25
	Молибденовый сплав	Р18 ВК8		СО ₂ Э-2 (5%-ная)	2,1 3,3	0,5
					1,3—1,6 1,2—2,5	

Операции	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	С О Ж		k _T	k _R		
			заменяемая	новая				
Продольное тошение	ВТ20	ВКС	5. Титановые сплавы		2,5	1,3—3,0		
			Воздух				до 10	
			Укринол-1 (10%-ная)					1,1
			РЗ-СОЖ8 (10%-ная)					1,3
			ЭТ-2 (осерн.)					1,0
			(10%-ная)					2,0
			Укринол-2 (10%-ная)					2,5
			Аквол-2 (10%-ная)					4,5
			Аквол-10М (5%-ная)					1,5
			парафин					10
Тоение, растачивание, отрезка резцами	ВТ18	Р9, Р18	6. Алюминиевые сплавы		1,6	0,80		
			ЭГТ (5%-ная)				1,3—2,0	
Тоение, растачивание, отрезка резцами	ВТ18	Р9, Р18	6. Алюминиевые сплавы		1,6	0,55		
			ЭТ-2, ЭГТ				1,0	
Тоение, растачивание, отрезка резцами	ВТ18	Р9, Р18	6. Алюминиевые сплавы		1,6	0,33		
			МОТ-2				2,0	
Тоение, растачивание, отрезка резцами	ВТ18	Р9, Р18	6. Алюминиевые сплавы		1,6	0,4		
			МОТ-2				2,5	
Тоение, растачивание, отрезка резцами	ВТ18	Р9, Р18	6. Алюминиевые сплавы		1,6	0,5		
			МОТ-2				1,5	
Тоение, растачивание, отрезка резцами	ВТ18	Р9, Р18	6. Алюминиевые сплавы		1,6	10		
			МОТ-2				1,5	

Достигается шероховатость обработанной поверхности $R_a = 2,5$ мкм

Таблица 4.5

Операции	Марка обрабатыв. материала	Инструмент	С О Ж		кг
			заменяемая	новая	
1. Высокопрочные стали					
Сверление на глубину, мм 12	30X2ГСН2ВМ	Сверло из Р9К5Ф2 Ø 10,8	Э-2 (10%-ная)	РЗ-СОЖ8 (10%-ная)	1,8
				МР-2	3,5
8	ВКС-210	ВК10М Ø 5,6	Воздух	Аквол-11 (3%-ная)	1,7
				Сульфорезол	3,5
				МР-1у	4,0
				Аквол-1 (5%-ная)	2,2
2. Коррозионно-стойкие стали					
10	12X1Н10Т	Р6М5 Ø 5 мм	ЭГТ (3%-ная)	Укринол-1 (5%-ная)	1,4
				Аквол-11 (3%-ная)	1,6
				Аквол-12 (3%-ная)	1,4
				Аквол-6 (5%-ная)	3,0
				МХО-64 (6%-ная)	2,2
				МР-1у	1,5
				МР-6	1,2
				МР-7	1,2
				50% МР-99 + Н-20А	1,2
8	12X18Н10Т	Р9К5 Ø 10	Сульфорезол	МР-2у	1,8
				Укринол-1 (10%-ная)	1,6
				Аквол-2 (10%-ная)	1,8
				СДМУ-2 (10%-ная)	2,0
				Сульфорезол	2,5
				Олеиновая кислота	4,5
				В-296	6,5

Операции	Марка обрабатыв. материала	Инструмент	С О Ж		кг
			заменяемая	новая	
Глубокое сверление (1000—1400 мм)	08X18H10T	BK8 Ø 23	Сульфорезол	70% хлорпарафина + 15% воск + 15%	8,0
				порошок сплава Вуда	
				ЛЗ-СОЖ18	1,5
				MP-1y	1,5
				MP-3	1,6
				ЛЗ-СОЖ18	1,6
Развертывание	12X18H10T	P18 Ø 6	Сульфорезол	MP-1y	2,0
				MP-3	2,5
				MP-1y	2,5
				MP-3	3,0
				MP-1y	1,2
				MP-3	1,4
Сверление на глубину 3d	ХН38BT	P6M5 Ø 10	ЭГТ (5%-ная)	Олеювзя к-та	1,4
				В-35	2,0
				Скандлар	
				Сульфорезол	1,6
				MP-1y	1,8
				3. Жаропрочные стали и сплавы	
Сверление на глубину 3d	ХН38BT	P6M5 Ø 5	ЭГТ (3%-ная)	Аквол-1 (3%-ная)	1,6
				Аквол-3 (3%-ная)	1,7
				Аквол-6 (3%-ная)	1,8
				Аквол-2 (10%-ная)	3,3
				Аквол-6 (10%-ная)	2,0
				Аквол-6 (50%-ная)	3,3
Сульфорезол	2,1				

Операции	Марка обработыв. материала	Инструмент	С О Ж		кг	
			заменяемая	новая		
2 d	XH78Г	VK10 Ø 6,3	ЭГТ (10%-ная)	MP-1y	3,2	
				MP-3	3,2	
				MP-6	3,2	
				MP-7	3,0	
				Аквол-6 (3%-ная)	1,5	
				Аквол-6 (10%-ная)	2,2	
				MP-3	7,4	
4 d	ЖС6К	VK10 Ø 6,3	ЭГТ (10%-ная)	Аквол-6 (10%-ная)	1,4	
				MP-3	1,6	
				MP-6	1,4	
				Аквол-2 (3%-ная)	1,1	
2 d	XH35BTЮ	P9K5 Ø 10	Э-2 (10%-ная) осеренная	Синт. СОЖ	1,6	
				Сульфорезол	1,8	
				Олеиновая к-та	1,8	
4. Тугоплавкие материалы	Вольфрамовый сплав с никелем	VK15M Ø 6	Э-2 (5%-ная)	Сульфорезол	12	
				MP-1	10	
				РЗ-СОЖ8 (5%-ная)	1,5	
	Никобевый сплав	P18 Ø 12	Ø 5,7	Э-2 (10%-ная)	ГЗ-3X	3,9
					MP-2	5
					РЗ-СОЖ8 (5%-ная)	1,5
					ГЗ-3X	2,9
					MP-2	3—5

Операции	Марка обрабатыв. материала	Инструмент	С О Ж		кг
			заменяемая	новая	
Сверление на глубину, мм 10	BT3-I	R6M5 Ø 5	ЭГТ (3%-ная)	Аквол-2 (3%-ная) Аквол-6 (3%-ная) MP-3	1,5—2,0 1,5—3,3 1,5—3,3
	BT5	R9K5 Ø 10	ЭТ-2 (10%-ная) осернистая	Аквол-2 (10%-ная) 0,3% NaNO ₃ + 0,3% Na ₂ CO ₃ + вода MP-1у	2,0 2,0 2,0

5. Титановые сплавы

Таблица 4.6

Операции	Марка обрабатыв. материала	Инструмент	С О Ж		кг	кг
			заменяемая	новая		
Фрезерование уступов	12X18H10T	Фреза концевая Р6М5 Ø 8	ЭГТ (3%-ная)	Укринол-1 (3%-ная)	1,5	1,0
				Карбалол-Э1 (3%-ная) Аквалол-1 (3%-ная) Аквол-6 (3%-ная)	1,6 2,0 1,8	1,0 0,72 0,67
				Аквол-6 (10%-ная)	2,2	0,55

Операции	Марка обрабатыв. материала	Инструмент	СОЖ		k _T	k _R
			заменяемая	новая		
Фрезерование плоскостей с резким выходом зубьев	09X16H45	Р6М5К5 Ø 22 Фреза торцевая ВК8 Ø 90	ЭГТ (5%-ная) Воздух	Аквол-6 (5%-ная) MP-1y	1,1	1,0
				Аквол-6 (5%-ная)	1,2	0,83
				Укринол-1 (5%-ная) MP-1 MP-4 ОСМ-3	1,7	
					3,0	4,5
					5,2	6,5
с плавным выходом	12X18H10T	P18	ЭГТ (3%-ная)	Укринол-1 (3%-ная)	1,2	
				Карбамол Э-1 (3%-ная) Симкул Е5 (3%-ная) Аквол-1 (3%-ная) Аквол-6 (3%-ная)	1,3	1,5
Фрезерование пазов шириной 8 мм, глубиной 10 мм		Фреза дисковая P9K5	ЭГТ (3%-ная)	Укринол-1 (10%-ная)	1,3	
				И-12А ОСМ-3	2,0	2,6
Фрезерование уступов	ХН67МВТЮ ХН70ВМТЮФ ХН77ТЮР	2. Жаропрочные стали и сплавы Фреза концевая из P18 P9K5	ЭГТ (2%-ная)	Аквол-2 (5%-ная) MP-1	2,0	2,0
				Аквол-2 (5%-ная)	1,2	
			Воздух	MP-5y MP-1 MP-4	1,6	2,0
Фрезерование плоскостей с резким выходом зубьев					3,0	

Операции	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	С О Ж		k _T	k _R
			заменяемая	новая		
с плавным выходом зубьев	ЖС6К	Ø 30			1,2 1,3 1,4	
	ХН35ВТЮ	Фреза дисковая из Р9К5			1,2 1,4	
Фрезерование пазов шириной 8 мм					1,8 3,0	
			3. Тугоплавкие материалы			
Фрезерование: плоскостей	Вольфрамовый сплав	Фреза торцевая из ВК8 Ø 42	Воздух		1,1 1,2	
	Вольфрам торчапрессов. Молибденовый сплав	Фреза концевая из ВК8 Ø 16 мм Фреза торцевая из ВК8 Ø 85 мм Фреза дисковая Р9 Ø 110			2,6 1,8 0,5—2	
пазов глубиной 3 мм					4,0	

Сульфидрезол

Операции	Марка обрабатыв. материала	Инструмент	С О Ж		k_T	k_R
			заменяемая	новая		
4. Титановые сплавы						
Фрезерование пазов шириной 8 мм, глубиной 10 мм	BT5	Фреза дисковая из P9K5	Воздух	Укринол-1 (10%-ная)	3,0	
				P3-COЖ8 (10%-ная)	3,0	
				ЭТ-2 (10%-ная, осеребренная)	3,0	
				MP-4	2,0	
				MP-1y	2,0	
				Сульфобрезол	2,0	
Фрезерование плоскостей	BT3-1	Фреза концевая	ЭГТ (5%-ная)	Аквол-11 (5%-ная)	1,2	
				Аквол-10M (3%-ная)	1,3	

Таблица 4.7

Операции	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	С О Ж		k_T	k_R
			заменяемая	новая		
1. Высокопрочные стали						
Нарезание резьбы M12	30X2ГСН2ВМ	Метчик из P9K5 M12x1,25	Сульфобрезол	Масло ГЗ-3Х	1,1	
M10	33X3СНМВФА HRC ₂ 49-51 28X3СНМФА HRC ₂ 46-48	Метчик P9K5 Метчик P18K5Ф2 M10x1 P6M5K5	Касторовое масло Сульфобрезол	V-296	2,0—2,5	
				MP-1	1,1	
				MP-6 Карбонал	1,6 1,2	

Операции	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	СОЖ		k_R	
			заменяемая	новая		
Нарезание резьбы	12X18H10T	Метчик Р6М5 М6х1	2. Коррозионно-стойкие стали			
			Сульфидрезол	MP-1	1,2	0,72
				MP-3	1,2	0,72
				MP-6	1,0	0,67
				MP-7	1,6	1,0
	Хлорпарафин					
	MP-99	Кастровое масло	1,6	0,67		
			2,0	0,5		
Нарезание резьбы	XH77TЮР	Метчик Р6М3К5 М8х1,25	3. Жаропрочные стали и сплавы			
			Сульфидрезол	Хлорпарафин	1,4	0,67
				ХП-470		
				MP-1y	1,2	0,77
				MP-3	1,0	0,77
	MP-6	1,5	0,67			
	MP-7		1,3	1,0		
	Р6М5 М6х1		50% MP-7 + хлорпарафин	1,4		
Нарезание резьбы	Холоднопрессован. вольфрам с никелем	Метчик Р9К5 М8х1,25	4. Тугоплавкие металлы			
			Э-2 (10% ния)	MP-1	1,75	
			ГЗ-3X	1,7		
Нарезание резьбы M12x0,75	BT14	Резец резьбовой BK8	5. Титановые сплавы			
			Олеиновая кислота	MP-6	1,3	

Влияние ряда новых СОЖ на стойкость сверл при сверлении материалов, применяющихся в авиастроении, показано в табл. 4.5, составленной по данным [36].

Эффективность СОЖ при фрезеровании материалов, применяющихся в авиастроении, показана в табл. 4.6, составленной по данным [36].

Влияние СОЖ на стойкость режущего инструмента и шероховатость поверхности при нарезании резьбы в деталях из материалов, применяющихся в авиастроении, показано в табл. 4.7, составленной по данным [36].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аленин М. П.* Исследование обрабатываемости маломагнитных и жаропрочных сталей при зубофрезеровании: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Л., 1964.
2. *Аршинов В. В., Алексеев Г. А.* Резание металлов и режущий инструмент. — М.: Машиностроение, 1967. — 500 с.
3. *Бердичевский Е. Г.* Смазочно-охлаждающие среды для обработки материалов: Справочник. — М.: Машиностроение, 1984. — С. 224.
4. *Виноградов Ю. М.* Влияние химической активности среды и температуры на граничные трения // ВНИТОМАШ. — М.: Машгиз, 1951.
5. *Виноградов Г. В., Подольский Ю. А.* Механизм противозносного антифрикционного действия смазочных сред при тяжелых режимах граничного трения // Природа трения твердых тел: Сб. науч. тр. — Минск: Наука и техника, 1971. — С. 210—213.
6. *Гаврилов Г. И., Смирнов А. А.* Струйное охлаждение инструментов распрыскиваемыми жидкостями. — Куйбышев: Куйбыш. книжн. изд-во, 1966. — С. 108.
7. *Гарибов В. Р.* Влияние СОЖ на износ и стойкость инструмента при точении конструкционных сталей // Вопросы теории действия смазочно-охлаждающих технологических средств в процессах обработки металлов резанием. Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания. — Горький, 1975. — Вып. 1. — С. 3—9.
8. *Елизаров А. М., Гарибов В. Р.* Особенности действия смазочно-охлаждающих жидкостей при обработке отверстий малых диаметров. — Там же. — Вып. 1. — С. 78—85.
9. *Зайцев В. М.* Основы построения теоретических моделей составов и способов введения в зону резания смазочно-охлаждающих средств, обеспечивающих условия их рационального применения. — Там же. — Вып. 1 — С. 86—92.
10. *Касьян М. В. и др.* Влияние активных и неактивных сред на показатели процесса резания. — Там же. — Вып. 1. — С. 100—110.
11. *Клушин М. М. и др.* О связи функциональных и технологических свойств СОЖ на резание металлов. — Там же. — Вып. 3. — С. 77—101.
12. *Коваленко В. В. и др.* Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на стойкость инструмента при сваривании титановых сплавов. — Там же. — Вып. 2. — С. 33—40.
13. *Куперман Т. Л. и др.* Сверление закаленной жаропрочной стали 18Х2Н4ВА с применением СОЖ с поверхностно-активной средой. — Там же. — Вып. 2. С. 67—71.

14. Куцева М. Е., Клауч Д. Н. Испытания новых СОЖ при резании труднообрабатываемых материалов в энергомашиностроении. — Там же. — Вып. 3. — С. 107—116.

15. Розенберг Ю. А. и др. Исследование технологических свойств СОЖ при резании резьбы метчиками в труднообрабатываемых сталях. — Там же. — Вып. 2. — С. 86—93.

16. Станчук Э. А. и др. Разработка и опыт применения защитных технологических сред. — Там же. — Вып. 1. — С. 182—187.

17. Щукин Е. Д. и др. Физико-химические основы использования активных сред для интенсификации процессов механической обработки твердых тел и материалов. — Там же. Вып. 2. — С. 147—163.

18. Гороценко Я. Г. Химия титана. — Киев: Наукова думка, 1970.

19. Жигалко Н. М. и др. Протяжка для обработки поверхностей большой длины. — Минск: Высшая школа, 1973. — 128 с.

20. Зайцев В. М. Состояние, перспективы применения и выбор наиболее эффективного способа смазки — охлаждения при резании жаропрочных и других труднообрабатываемых материалов // Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов: Сб. науч. тр.—Куйбышев, 1976. С. 68—89.

21. Зайцев В. М., Яманушкин И. К. Эффективность новых СОЖ при лезвийной обработке деталей летательных аппаратов // Высокоэффективные методы механической обработки жаропрочных и титановых сплавов: Сб. науч. тр. — Куйбышев: КуАИ. — 1982. С. 3—7.

Зайцев В. М., Яманушкин И. К. Эффективность новых СОЖ при точении некоторых труднообрабатываемых материалов: (Материалы научно-технического семинара) // Прогрессивные методы обработки резанием. — Л., 1981.

23. Зайцев В. М. Влияние СОЖ на качество поверхностного слоя при точении жаростойкой стали 10Х12Н9Т и титанового сплава ВТ22 // Повышение эффективности использования режущих инструментов при обработке авиационных материалов: Сб. науч. тр. — Куйбышев: КуАИ, 1983. — С. 140.

24. Зайцев В. М. Методика поиска наиболее эффективного состава СОЖ при обработке деталей летательных аппаратов резанием // Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов: Сб. науч. тр. — Куйбышев: КуАИ, 1978. — С. 5—10.

25. Исавев А. И. Микрогеометрия поверхности при токарной обработке. — М.: ЦНТИИМАШ, 1950.

26. Исавев А. И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. — М.: Машгиз, 1950.

27. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах. — Киев: Техника, 1970.

28. Кривоухов В. А. Обрабатываемость резанием жаропрочных и титановых сплавов. — М.: Машгиз, 1961.

29. Лепилин В. И., Зайцев В. М. Расчет наимыгоднейшего режима резания авиационных материалов. — Куйбышев: КуАИ, 1980.

30. Макаров А. Д. Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов. — УФАИ. 1974. — С. 371.

31. Макаров А. Д., Коленченко В. М. Интенсивность износа инструмента и качество обработанной поверхности при точении в связи с применением различных СОЖ // Тр. УФАИ. — Уфа. — № 54. — 1973.

32. Митряев К. Ф. Повышение эксплуатационных свойств деталей путем регулирования состояния поверхностного слоя при механической обработке. — Куйбышев, 1986.

33. Никифоров А. В. Снижение шероховатости поверхности, образованной механической обработкой искусственным введением внешней среды определенного состава и свойств // Научные принципы управления качеством поверхностного слоя при механической обработке: Сборник. — Ярославль, 1976. — Вып. 5. — С. 184.

34. *Подгорков В. В.* Влияние газовой фазы струн распыленной жидкости на процесс резания сталей 40Х и 1Х18Н9Т // Новые составы и способы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов: Сб. науч. тр. — Иваново, 1968. — С. 186.

35. *Ребиндер П. А., Шукин Е. Д.* Поверхностные явления в твердых телах в процессах их деформации и разрушения // Успехи физических наук. — М.: АН СССР, 1972. — Т. 108, вып. 1. — С. 3—41.

36. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С. Г. Энтелеса, Э. М. Берлинера. — М.: Машиностроение, 1986. — С. 352.

37. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием. — М.: Машиностроение, 1979. — С. 190.

38. *Тихонов В. М.* и др. Исследование эффективности применения распыленных смазочно-охлаждающих жидкостей вместо полива сульфидрезолом // Тр. ГПИ им. Жданова. — Горький, 1964. — Т. XX, вып. 4.

39. *Федулов И. Г.* Исследование эффективности смазочно-охлаждающих жидкостей при зубофрезеровании // Вопросы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов / Под ред. проф. М. И. Клушина. — Иваново, 1965.

40. *Федулов И. Г.* Применение смазочно-охлаждающих жидкостей при зубофрезеровании // Новые составы и способы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов. — Иваново, 1968. — С. 68—75.

41. *Фельдштейн Э. И.* и др. Охлаждение зуборезных инструментов распыленной жидкостью // Станки и инструменты — 1963. — № 2.

42. *Худобин Л. В., Бердичевский Е. Г.* Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке — М.: Машиностроение, 1977. — С. 190.

43. *Шиняев А. Я.* Диффузионные процессы и сплавы. — М.: Наука, 1975.

44. *Якобсон М. С.* Шероховатость, наклеп и остаточные напряжения при механической обработке. — М.: Машгиз, 1956.

45. *Якунин Г. И.* Повышение стойкости быстрорежущих резцов при резании с подачей газообразного кислорода в зону стружкообразования // Станки и инструменты. — 1955. — № 4.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение	3
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОТС	5
1.1. Износ инструмента	6
1.2. Формирование рельефа поверхностного слоя	8
1.3. Взаимосвязь между интенсивностью износа инструмента, шероховатостью обработанной поверхности и условиями резания	10
2. СВОЙСТВА СОТС И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА	
II ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ	11
2.1. Функциональные свойства СОЖ	11
2.2. Технологические свойства СОЖ	16
2.3. Современные смазочно-охлаждающие технологические средства и способы их применения	22
3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЖ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ	43
3.1. Эффективность применения СОЖ с целью повышения стойкости инструмента	43
3.2. Эффективность применения СОЖ с целью уменьшения шероховатости обработанной поверхности	57
4. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО СОСТАВА И СПОСОБА ПРИМЕНЕНИЯ СОЖ	68
4.1. Особенности лезвийной обработки конструкционных материалов, применяющихся в авиационной промышленности	69
4.2. Рекомендации по эффективному применению основных видов СОЖ при обработке металлов резанием	76
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	91

Св. план. 1987, поз. 65

Владимир Михайлович Занцев

ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АВИАЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОГО
ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ
ЖИДКОСТЕЙ

Редактор Т. К. Кретькина
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 1.07.87 г. ЕО 00340. Подписано в печать 19.10.87 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная. Гарнитура литературная.
Усл. п. л. 5,5. Уч.-изд. л. 5,0. Т. 500 экз. Заказ 693. Цена 20 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.