

МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Ларина А.И., Постникова И.В.

Ларина Анастасия Игоревна (ORCID: 0000-0002-9227-7001), Постникова Ирина Викторовна (ORCID: 0000-0001-7363-829X)

Ивановский государственный химико-технологический университет,

г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7.

E-mail: Nastyushka300495@yandex.ru, poirvic@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы, посвященные интенсификации режимов резания металлов, обеспечения высокого качества обработанной поверхности и увеличения стойкости режущих инструментов. Одним из методов повышения эффективности металлообработки является правильный выбор и использование смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Вопрос выбора охлаждающей жидкости становится особенно важным в условиях гибкого, многономенклатурного, автоматизированного производства. СОЖ должна обеспечивать максимальную производительность в конкретных условиях резания, должна обладать достаточной степенью гибкости, чтобы сохранять эффективность при изменении условий обработки. В статье изучены механизмы влияния смазочно-охлаждающих жидкостей на основные характеристики процесса резания и его результаты.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающая жидкость, механообработка, процесс резания, поверхность заготовки, пленка, эмульсия.

MECHANISMS OF ACTION OF LUBRICANT-COOLING LIQUIDS

Larina A.I., Postnikova I.V.

Larina Anastasia Igorevna (ORCID: 0000-0002-9227-7001), Postnikova Irina Viktorovna (ORCID: 0000-0001-7363-829X)

Ivanovo State University of Chemical Technology,

Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.

E-mail: Nastyushka300495@yandex.ru, poirvic@mail.ru

The article deals with the intensification of metal cutting modes, ensuring high quality of the machined surface and increasing the durability of cutting tools. One of the methods of increasing the efficiency of metalworking is the correct choice and use of cutting fluids. The question of coolant selection becomes especially important in flexible, multi-nomenclature automated production. The coolant should provide maximum performance in specific cutting conditions and be flexible enough to remain effective in changing machining conditions. In this article the mechanisms of influence of cutting fluid on the main characteristics of cutting process and its results are studied.

Key words: lubricant-cooling liquids, machining, cutting process, workpiece surface, film, emulsion.

Смазочно-охлаждающая жидкость - общий термин для ряда смесей, в основном используемых в металлообработке. Наиболее распространенными являются смазочные материалы на основе масляных и 1–3% водных эмульсий. Сам термин охватывает основные области применения в

охлаждении и смазке. Современное производство механической обработки позволяет осуществлять интенсивную обработку материалов, включая резку, прессование, прокатку, сверление и шлифование. Производство заготовок с помощью механической металлообработки затруднено, так как ре-

жушие инструменты часто изнашиваются и быстро выходят из строя, что отрицательно сказывается на эффективности обработки и производительности. Данные проблемы обусловлены высокими абразивными включениями в материале заготовки. Из-за быстрого износа режущего инструмента производительность крайне низкая. Успешный мониторинг износа инструмента повышает эффективность обработки.

Эффект применения СОЖ в металлообработке достигается за счет охлаждения, смазки, резки, размягчения и промывки. Производительность каждого процесса зависит от условий обработки. Поэтому при выборе обрабатываемых материалов очень важно учитывать основные химико-физические, тепловые, технические, экономические и экологические свойства, для определения наибольшего влияния испытываемых СОЖ на заготовку.

Смазывающее действие СОЖ уменьшает трение на контактных поверхностях режущего инструмента, что значительно снижает температуру материала инструмента. Трение и смазка режущего инструмента сильно отличается от деталей машин.

Во многих случаях обработки фактическая поверхность фрикционного контакта находится близко к целевой поверхности, что существенно изменяет характер процесса трения. Трение в процессе резания возникает при очень высоких удельных давлениях (3000 МПа) и температурах (1000°C для твердосплавных инструментов и 600°C для высокоскоростных инструментов). Из-за неоднородности физико-химических условий на поверхности контакта между инструментом и заготовкой, силы трения также неоднородны и могут возникать, как при пластично-упругих, так и при упругих контактах.

Также одним из факторов, оказывающих воздействие на металлообработку, является сила сдвига, которая состоит из следующих противоположных сил [1]:

1. Упругая и пластическая деформация выступов на поверхности инструмента и заготовки.
2. Смятие мягких поверхностей под воздействием жестких выпуклых поверхностей. При этом могут быть преодолены следующие силы: упругая и пластическая деформация поверхности инструмента, "смещение" мягкой поверхности твердыми выступами, защемление и срез выступов.
3. Индивидуальные взаимодействия между контактными поверхностями.

Назначение смазочно-охлаждающих жидкостей состоит в том, чтобы разделить поверхности контакта со смазочной пленкой и предотвра-

тить процесс образования износа и диффузии. Пленка на поверхности режущего инструмента должна уменьшать коэффициент трения. Трение между инструментом и заготовкой должно быть преобразовано в трение между пленкой и заготовкой или пленкой и ее слоями.

Смазочная пленка, образующаяся на поверхности режущего инструмента, должна выдерживать высокие нормальные нагрузки, прочно прилипать к поверхности металла и сохранять свои свойства при высоких температурах, в зависимости от характеристик процесса [2]. Существует три типа смазочных материалов: жидкостная смазка, смазка на границе раздела фаз и смазка под высоким давлением. Жидкостная смазка уменьшает трение, разделяя поверхности скольжения жидкой пленкой. Жидкая пленка имеет очень низкое сопротивление сдвигу. Однако его поверхностная прочность и адгезия низкие.

В зонах металлообработки, обладающие высокими нагрузками и температурами, толщина жидкой пленки, рассчитанная для обычных ньютоновских жидкостей, составляет 106...108 раз меньше, чем средняя высота микроскопических частиц на поверхности износа, что указывает на то, что применение жидкостной смазки в условиях сдвига играет важную роль.

Жидкостная смазка оказывает воздействие на упругие и упругопластические контактные поверхности и снижение трения в кондукторных футеровках, например, при бурении. Реологический эффект, т.е. увеличение вязкости жидкости под давлением, усиливает способность гидродинамической смазки. Количество смазки зависит от характеристик пленки, адсорбированной на смазываемой поверхности. Толщина пленки варьируется от нескольких десятков до нескольких сотен ангстрем. Коэффициент трения при межфазной смазке выше, чем при жидкостной смазке, но пленка более устойчива к неблагоприятным условиям. Адсорбция наиболее активна, когда в качестве среды используется поверхностно-активные вещества. Различают адсорбированные, физические и химические пленки в зависимости от типа сил, удерживающих пленку на поверхности металла [3]. При физической адсорбции слабое электростатическое притяжение между атомами или молекулами ПАВ и твердым телом удерживает группу полярных молекул на поверхности [4]. Адсорбция зависит от формы, свойств и температуры материала адсорбента, а также от природы и кинетической энергии молекул в материале адсорбента. Естественная адсорбция наиболее сильна при низких температурах. На практике использование

физической адсорбции ограничено обработкой материалов с высокой теплопроводностью и относительно низкими условиями сдвига.

При хемосорбции происходит обмен электронами между адсорбентом и адсорбируемым веществом. В этом случае химические связи, образующиеся на поверхности твердого тела, намного прочнее физических. Хемосорбция характеризуется обратимостью. Это означает, что при определенных условиях продукт после десорбции первоначально возвращается обратно.

В процессе смазки на границе раздела фаз толщина пленки составляет менее нескольких десятков ангстрем и является пассивацией поверхностей первичных материалов во время операций резки. Основная функция пассивации заключается в предотвращении образования металлических связей между контактными поверхностями инструмента и заготовки, что улучшает сцепление и предотвращает диффузионный износ. Пассивация происходит за счет взаимодействия активных компонентов СОЖ (молекул, ионов и свободных радикалов) с инструментом, стружкой и новой поверхностью заготовки, которые постоянно образуются в процессе обработки. Поскольку плазма более проникаема, чем жидкость, механизмы пассивации наиболее важны в зоне пластического контакта вблизи режущей кромки, где проникновение эмульсии и образование жидких и твердых пленок менее вероятно. Пассивация задерживает,

но не предотвращает усталостный износ.

Смазка под высоким давлением происходит, когда атомы жидкости проникают в решетку металла и образуют химические пленки (например, оксиды, сульфиды, хлориды, фосфаты) на поверхности металла. Смазочная пленка, образующаяся под высоким давлением, необратима, поскольку внутренние связи продуктов химической реакции выше, чем у металла. Эти элементы образуют с металлом сложную пленку, которая снижает прочность на сдвиг и температуру плавления, уменьшает коэффициент трения и сокращает площадь контакта поверхности износа. Сформированный металлический слой представляет собой, слой между фактической поверхностью металла и физически адсорбированным слоем.

Смазывающая способность СОЖ определяется образованием смазочной пленки и скоростью ее изнашивания, ее составом, структурой, толщиной, свойствами и адгезией к металлу. На выбор состава смазочно-охлаждающей жидкости для различных операций обработки влияют инструмент и материал инструмента, температура и давление в точках контакта.

Максимальная температура, при которой сохраняются свойства теплоносителя (критическая температура), зависит от его состава. В таблице 1 приведены значения критической температуры для определенных составов охлаждающей жидкости.

Таблица 1

**Значения критичной температуры для компонентов СОЖ
Table 1. Critical temperature values for lubricant-cooling liquids**

Компоненты СОЖ	Температура, °С
Растительные масла	130
Животные жиры	123
Синтетические вещества	200
Присадки:	
Хлорсодержащие	500
Фосфорсодержащие	180
Серосодержащие	900

Образование смазочной пленки может оказывать отрицательный эффект. На это влияет:

Образование на поверхности пленки, которая прилипает к режущему инструменту.

В этих условиях трение не уменьшается, а увеличивается. Чрезмерное химическое взаимодействие компонентов окружающей среды или продуктов разложения с материалом инструмента, в результате чего образующаяся пленка легко отслаивается, что приводит к повышенному износу (чрезмерное поступление кислорода из атмосферы в зону трения).

Реакция пленкообразования сопровождающаяся значительным выделением тепла.

В условиях резания, образовавшиеся загрязнения на режущей кромке, оказывают защитное действие. Если образование пленки способствует удалению нагара, срок службы инструмента может сократиться.

Состав и продукты разложения среды вступающие в химическую реакцию с поверхностью заготовки и влияющие на ее характеристики.

Для эффективной работы смазочно-охлаждающих жидкостей должны быть соблюдены следующие условия:

- Необходимо добавить достаточное количество присадок;

- Реактивные компоненты СОЖ должны иметь структуру и состав, повышающие проникающую способность в зону резания;

- Высокая температура, создаваемая в процессе резки, для эффективного образования поверхностных соединений, но не настолько высокой, чтобы позволить этим соединениям разложиться или расплавиться;

- Скорость резки и реакции поверхности должны быть согласованы таким образом, чтобы реакция образования защитного слоя происходила своевременно.

Несмотря на существенные ограничения, межфазная смазка и смазка высокого давления являются эффективным средством повышения производительности в широком диапазоне условий резания и материалов заготовки.

Охлаждающий эффект смазочно-охлаждающих жидкостей снижает температуру инструмента и заготовки, уменьшая износ режущего инструмента и повышая точность и качество работы [5-6]. Для определения эффекта охлаждения необходимо знать источник тепла, тип распределения температуры поверхности и объем обрабатываемого инструмента и заготовки.

Источниками тепла в процессе резания является трение на основной поверхности до и после инструмента. Необходимо учитывать влияние источника тепла и СОЖ на температуру стружки и заготовки.

Максимальная температура стружки от трения увеличивается с ростом скорости резания и подачи. Глубина реза мало влияет на температуру стружки. За счет увеличения теплопроводности и теплоемкости обрабатываемого материала температура стружки снижается, способствуя отводу тепла от надрезочного слоя стружки в массу стружки [7]. Следует отметить, что общая температура повышается с увеличением скорости подачи, но процесс интенсификации уменьшается, т.е. более высокие скорости подачи имеют относительное преимущество.

Анализ глубины проникновения тепла в стружку показывает, что при увеличении скорости резания и уменьшения теплопроводности обрабатываемого материала, тепло трения все больше концентрируется в надрезочном слое.

По мере увеличения подачи температура от деформации снижается. Скорость резания ока-

зывает лишь незначительное влияние на температуру деформации, так как более высокая скорость резания приводит к возрастанию тепловыделения, но и к соответственно более высокому сходу стружки.

Распределение тепла деформации между заготовкой и деталью важно для применения смазочно-охлаждающих жидкостей. По мере увеличения скорости резания, толщины реза и теплоемкости заготовки и уменьшения теплопроводности все большее количество тепла деформации выходит из заготовки. При низких скоростях 30–50 % тепла деформации может выделяться в заготовку для материалов с высокой теплопроводностью и мелкозернистых заготовок [8].

Тепло, выделяемое заготовкой, нагревает поверхностный слой заготовки и преобразуется в стружку. При низких скоростях и толщинах резания или при обработке заготовок большого диаметра дополнительный нагрев заготовки уменьшается, так как большая часть тепла деформации может выделяться в заготовке. При высоких скоростях резания, низкой теплопроводности, больших сечениях реза и малых размерах заготовок происходит значительный нагрев заготовки.

Для эффективного использования охлаждающего эффекта СОЖ необходимо проанализировать стоки тепла, образующуюся в процессе резания. Расчеты и эксперименты показывают, что охлаждение поверхности заготовки влияет на температуру резания только для очень тонких заготовок и при низких скоростях резания, в этом случае тепло от трения проникает в верхнюю часть заготовки, а охлаждающая жидкость успевает проникнуть из верхней части заготовки к поверхности контакта.

Охлаждение заготовок со стороны сопла возможно только вне зоны контакта между заготовкой и передней кромкой. Однако при фактической скорости резания такое охлаждение не снижает температуру в зоне контакта с поверхностью инструмента, поскольку скорость удаления стружки превышает скорость отвода тепла (охлаждения) [8]. В большинстве случаев охлаждение вокруг заготовки не снижает температуру контактной поверхности инструмента, поскольку тепло, выделяемое заготовкой, минимально. Поэтому основным источником охлаждения инструмента является теплообмен между охлаждающей жидкостью и самим инструментом.

Охлаждающая способность СОЖ зависит от теплофизических свойств СОЖ (теплопроводность, теплоемкость), скорости прокачки и свойств держателя инструмента. Теплофизические

свойства охлаждающей жидкости можно суммировать с помощью Ca , который является общим коэффициентом, описывающим свойства охлаждающей жидкости: при прочих равных условиях,

чем выше Ca , тем лучше охлаждающий эффект охлаждающей воды.

Значения этого коэффициента для основных хладагентов приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения Ca для основных видов СОЖ
Table 2. Ca values for the main lubricant-cooling liquids

Вид СОЖ	Ca
Водные растворы	0,0160...0,0191
Эмульсии	0,0120...0,0147
Масла	0,0014...0,0020

Приведенные выше данные показывают, что жидкости на масляной основе имеют значительно худшие характеристики охлаждения, чем водные растворы и эмульсии. Виды негативного влияния:

- Применение смазочно-охлаждающих жидкостей к твердосплавным инструментам при прерывистом резании (фрезерование, строгание) или при высоких скоростях резания (высокие температуры) может увеличить колебания температуры в зоне резания, что приводит к растрескиванию и повреждению твердого сплава.

- Интенсивное охлаждение заготовки обычно создает растягивающие напряжения в поверхностном слое заготовки, что влияет на эксплуатационные характеристики заготовки.

- Пониженная температура увеличивает силы резания. Использование СОЖ на некоторых операциях увеличивает износ инструмента, так как пределы функции износа переходят на более высокие скорости резания.

Под режущими и пластифицирующими действиями СОЖ определяется способностью технологической среды способствовать пластической деформации металла и разрушению сцепления заготовки при установке инструмента. Эти свойства повышают прочность инструмента и облегчают резание, позволяя обрабатывать сложные материалы с высокой производительностью. В основе проявления пластифицирующего и режущего действия СОЖ лежат следующие механизмы:

- Расклинивающий механизм: Проникая в мелкие трещины, образовавшиеся в процессе пластической деформации металла, СОЖ создает давление зажима и образует поверхностную пленку, которая затрудняет сварку мелких трещин.

- Внедренческий механизм: вводит определенные атомы из окружающей среды (например, азот, кислород, водород) в сеть обрабатываемого металла, упрочняя и делая обрабатываемый металл хрупким, уменьшая экстремальную пластическую деформацию и специальные надрезы до разрушения.

Механизм уменьшения свободной энергии. В основе этого явления лежит эффект Ребиндера - ряд явлений, при которых поверхностная энергия твердого тела уменьшается в результате физико-химических процессов на поверхности, что приводит к изменению механических свойств твердого тела. Физический смысл этих явлений заключается в следующем. При разрушении твердого тела обнаруживаются и восстанавливаются внутренние связи. Если эти связи могут быть частично отклонены для взаимодействия с атомами в более легкой внешней среде, то эти связи ослабляются и скорость их разрушения ускоряется. Активная внешняя поверхностная среда благоприятствует миграции дислокаций, которые являются сутью пластической деформации.

Обязательным условием для возникновения эффекта Ребиндера является сходство химического состава и структуры внешней среды и тела с трещиной. Плавление металла удовлетворяет этому условию. В зависимости от условий резания эффект Ребиндера проявляется в различных степенях и формах, таких как ускоренная пластическая деформация, возникновение хрупкости и самопроизвольное рассеивание на коллоидные частицы. Одним из наиболее важных методов защиты от коррозии при использовании хладагентов является добавление различных присадок и ингибиторов коррозии для повышения щелочности хладагента и снижения его склонности к окислению [9].

Основным механизмом защиты от коррозии охлаждающих жидкостей на масляной основе является их способность покрывать или смачивать защитную пленку на поверхности инструментов и компонентов, образуя физический барьер для электрохимических реакций, происходящих в процессе коррозии. По мере увеличения скорости обработки и твердости металла ухудшаются смачивающие и проникающие свойства смазочно-охлаждающих жидкостей на масляной основе, что приводит к снижению защиты от коррозии.

Это может быть компенсировано использованием эмульгированной охлаждающей жидкости. Эмульсионные охлаждающие жидкости сочетают в себе охлаждающие свойства воды и смазывающие свойства масла [10].

Эмульсионные охлаждающие жидкости содержат алканоламины, сульфонаты масла, смазывающие вещества и жирные кислоты, которые обладают антикоррозионными свойствами и помогают поддерживать защитный слой, остающийся после испарения воды в эмульсии.

При использовании эмульсионных охлаждающих жидкостей концентрация рабочего масла должна поддерживаться в приемлемых пределах для сохранения защиты от коррозии. Необходимо также контролировать качество воды, используемой для производства охлаждающей жидкости, температуру и влажность лопастного потока, условия хранения охлаждающей жидкости, микробиологический баланс и наличие загрязняющих веществ, таких как гидравлическое масло или смазка. Защита от коррозии синтетических охлаждающих жидкостей на водной основе может быть достигнута путем добавления различных ингибиторов коррозии, состоящих из комбинации алканол-аминов и нитрита натрия. Однако образование нитрозаминов в результате такого сочетания считается вредным, поэтому использование нитрита натрия ограничено. Другие ингибиторы коррозии включают бораты и фосфаты в сочетании с алканоламинами и производными органических кислот. Главным условием использования ингибирующего эффекта этих добавок является контроль их концентрации и поддержание ее на определенном уровне. Также важно контролировать условия качества воды, необходимые для производства охлаждающей воды, такие как жесткость, температура и минеральная минерализация (содержание хлора и сульфатов). Частицы шлама и стружка, контактирующие с инструментом, могут увеличить износ поверхности. Недостаточное количество смазочно-охлаждающей жидкости может привести к налипанию и застреванию стружки, что приведет к поломке инструмента. Моющее действие особенно важно при чистовых операциях, сверлении глубоких отверстий, нарезании глухих отверстий и т.д.

Моющее действие СОЖ заключается в непрерывном удалении из зоны обработки - мелкой стружки, твердого металла, остатков от природы обрабатываемого материала и т.д. Механизм очищающего эффекта сложен, техническая среда должна обладать следующими свойствами [1].

Высокая поверхностная активность, т.е.

низкое поверхностное натяжение на границе раздела фаз, позволяет среде лучше смачивать твердые частицы. Способность образовывать вокруг частиц своеобразную оболочку, отделяющую их от твердой поверхности. В то же время эта оболочка должна быть достаточно гибкой и прочной, что определяет полимеризационную стабильность получаемой суспензии.

Для того чтобы охлаждающая жидкость оказывала смазывающее, охлаждающее и промывочное действие, необходимым условием является проникновение жидкости в зону трения. Поскольку сдвиг в вакууме более затруднен, чем в других средах, среда всегда проникает в зону контакта, независимо от условий обработки. Проникновение может быть улучшено путем уменьшения размера атомов и молекул в среде, вязкости среды, а также путем увеличения смачиваемости, скорости и направления приближения. Смачивание жидкостями поверхностей деталей и инструментов необходимо для таких процессов, как смазка, охлаждение и очистка. Поэтому, если жидкость плохо смачивает поверхность, происходит кипение пленки.

В этом случае на твердой поверхности образуется паровая пленка, и теплопередача значительно снижается. Смачиваемость поверхности жидкостью зависит от материала твердого тела, микроструктуры поверхности и химического состава и структуры жидкости. Гладкая поверхность обладает лучшей смачиваемостью, чем поверхность с микроскопическими неровностями или трещинами. Степень смачиваемости оценивается поверхностным натяжением жидкости на границе раздела твердой и жидкой фазе.

Хорошая смачиваемость достигается при низких значениях поверхностного натяжения. Поверхностно-активные вещества в охлаждающей жидкости снижают поверхностное натяжение жидкости и улучшают смачиваемость. Значения поверхностного натяжения для некоторых жидкостей на границе раздела жидкость-воздух приведены в таблице 3. Удаление стружки и шлама зависит от гидравлической шероховатости W_s , т.е. вертикальной скорости частиц в жидкости. Параметр W_s может использоваться в качестве критерия для оценки формы частиц и зависит от таких характеристик, как размер частиц, материал, тип оборудования и вязкость СОЖ. В данном исследовании вязкость охлаждающей жидкости находилась в диапазоне $(1...10) \cdot 10^{-6}$ м²/с, при дальнейшем увеличении вязкости градиент $\Delta W_s/\Delta V$ изменение как стружки, так и шлама оказалось небольшим.

Значения поверхностного натяжения жидкостей
Table 3. Surface tension values for liquids

Жидкость	σ , мН/м	Жидкость	σ , мН/м
Вода	72,9	ИВНТИКС АБ-9-35	32,1
Глицерин	62,5	ИВНТИКС 3-15	31,3
Масло касторовое	36,4	Олеиновая кислота	28,6
ИВНТИКС АС-8-19	32,4	ИВНТИКС АП-5-43	26,3

Удаление стружки и шлама в зоне резания достигается с помощью гидравлически управляемой СОЖ, которая имеет ряд преимуществ перед механическими конвейерами, особенно при высокой скорости потока охлаждающей жидкости.

Исходя из вышеизложенного, ключевым моментом является то, что невозможно создать универсальный инструмент, одинаково подходящий для всех операций с различными металлами. Отчасти это связано с совершенно разными условиями обработки и требованиями к окружающей среде, а отчасти - с характером трения при резании. В операциях механической обработки очень важную роль играет тепловая энергия. При обработке возникает трение, из-за которого выделяется большое количество тепла. Это необходимо контролировать, а металлическую стружку необходимо удалять, чтобы обеспечить правильную форму, размер и хорошее качество поверхности заготовки. Одним из методов контроля является смазочно-охлаждающие жидкости. СОЖ позволяет эффективно отводить тепло из зоны резания, снижает температуру и коэффициент трения, тем

самым увеличивая срок службы инструмента и точность обработки, а также предотвращая поверхностное упрочнение и деформацию заготовки. Помимо смазки и охлаждения при металлообработке, СОЖ выполняют множество других важных функций. К ним относятся очистка металлической стружки и абразивной пыли, предотвращение коррозии производственных деталей, режущих инструментов и оборудования в целом, а также улучшение гигиены рабочего места.

Применение СОЖ в металлообработке позволяет повысить производительность оборудования, повысить точность и уменьшить шероховатость обработанных поверхностей, уменьшить количество отходов, улучшить условия труда и, в некоторых случаях, сократить количество технических операций.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Kiss N., Brenn G., Pucher H., et al., Formation of O/W emulsions by static mixers for pharmaceutical applications. *Chem. Eng. Sci.* 2011. №66 (21). P. 5084–5094.
2. Червяков В.М. Исследование процесса растворения серы в смеси масел в роторном аппарате. *Изв. ВУЗов. Химия и химич. технология.* 2006. Т. 49, Вып. 4. С. 95–97.
3. Кисель А.Г., Реченко Д.С., Попов А.Ю., Разжковский А.А. Влияние смазочно-охлаждающей жидкости на стойкость металлорежущего инструмента при токарной обработке. 2013. № 4 (20). С. 138–142.
4. Цымбалов А.С., Ларина А.И., Толстоухов С.А., Блиничев В.Н. Исследование влияния типа ПАВ и числа оборотов роторного диспергатора на стабильность эмульсий в системе масло – вода. *Российский химический журнал.* Том. LXIII, № 3–4. 2019. С. 86–90.
5. Цымбалов А.С. Влияние поверхностно-активных веществ на диспергирование и стабильность водомасляных эмульсий. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение.* 2018. №3 (55). С. 108–119.
6. Цымбалов А.С., Ларина А.И., Толстоухов С.А., Блиничев В.Н. Диспергирование состава масло – вода в роторно-кавитационной машине. *Российский химический журнал.* Том. LXII, №3–4, 2019. С. 91–96. DOI:10.6060/rcj.
1. Kiss N., Brenn G., Pucher H., et al., Formation of O/W emulsions by static mixers for pharmaceutical applications. *Chem. Eng. Sci.* 2011. N 66 (21). P. 5084-5094.
2. Chervyakov V.M.. Research of process of dissolution of sulphur in mixture of oils in rotary apparatus. *Izv. of Higher Universities. Chem. and Chemical Technology.* 2006. T. 49, V. 4. P. 95 - 97.
3. Kisel A.G., Rechenko D.S., Popov A.Yu., Razhkovsky A.A. Effect of coolant on the durability of metal-cutting tools for turning. 2013. N 4 (20). P. 138-142.
4. Tsymbalov A.S., Larina A.I., Tolstoukhov S.A., Blinichev V.N. Study of influence of surfactant type and rotor speed on emulsion stability in oil-water system. *Russian chemical magazine.* Vol. LXIII, N 3-4. 2019. P. 86-90.
5. Tsymbalov A.S. Influence of surfactants on dispersion and stability of water-oil emulsions. *Modern high technologies. Regional application.* 2018. N 3 (55). P. 108 - 119.
6. Tsymbalov A.S., Larina A.I., Tolstoukhov S.A., Blinichev V.N. Dispersion of oil-water composition in a rotary-cavitation machine. *Russian Chemical Journal.* Vol. LXII, N 3-4, 2019. P. 91-96. DOI:10.6060/rcj.

7. **Ларина А.И., Постникова И.В., Смирнов Д.В., Мельников А.А., Невский А.В.** Улучшение эксплуатационных характеристик эмульсий смазочно-охлаждающих жидкостей механической активацией. Надежность и долговечность машин и механизмов. С. 509–513.
8. **Ларина А.И.** Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на механическую металлообработку. Тезисы докладов Всероссийской школы-конференции молодых ученых «ДНИ НАУКИ В ИГХТУ» 2022. С. 354.
9. **Цымбалов А.С., Ларина А.И., Толстоухов С.А., Блиничев В.Н.** Кинетическая устойчивость стабилизированной водомасляной эмульсии при цикловом нагружении. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение.* 2020. № 4 (64). С. 90–97.
10. **Цымбалов А.С., Ларина А.И., Блиничев В.Н.** Исследование водомасляной эмульсии при трехрежимных оборотах роторно-кавитационного диспергатора с применением теплообменного аппарата. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение.* 2021. № 2 (66). С. 94–101. DOI: 10.6060/snt.20216602.00013
7. **Larina A.I., Postnikova I.V., Smirnov D.V., Melnikov A.A., Nevsky A.V.** Improvement of operational characteristics of lubricant-coolant emulsions by mechanical activation. Reliability and service life of machines and mechanisms. P. 509-513.
8. **Larina A.I.** Influence of oil-cooling liquids on mechanical machining. Theses of reports of All-Russia school-conference of young scientists "DAYS OF SCIENCE IN IGHTU" 2022. P. 354.
9. **Tsybalov A.S., Larina A.I., Tolstoukhov S.A., Blinichev V.N.** Kinetic stability of stabilized water-oil emulsion under cyclic loading. *Modern high technologies. Regional application.* 2020. N 4 (64). P. 90-97.
10. **Tsybalov A.S., Larina A.I., Blinichev V.N.** Investigation of water-oil emulsion at three-mode rotor-cavitational dispersant rotation with the use of heat-exchange apparatus. *Modern high technologies. Regional application.* 2021. N 2 (66). P. 94-101. DOI: 10.6060/snt.20216602.00013