

Э. Р. Бабаев (к.х.н., доц., в.н.с.)

СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ: СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Институт Химии присадок Национальной академии наук Азербайджана,
лаборатория «Защитные органические соединения»
AZ1029, Республика Азербайджан, г. Баку, Бейюшорское шоссе,
квартал 2062; e-mail: elbeibabaeve@yahoo.de

E. R. Babayev

CUTTING FLUIDS: PROPERTIES AND APPLICATIONS

*Institute of Chemistry of Additives of Azerbaijan National Academy of Sciences
2062 quater, AZ 1029, Baku, Azerbaijan Republic; e-mail: elbeibabaeve@yahoo.de*

Представлен обзор результатов научных исследований в области применения смазочно-охлаждающих жидкостей в процессах механической обработки. Показано, что эти жидкости играют очень важную роль в процессах сверления, фрезерования, токарной обработки, резки и других процессах. Рассмотрены основные типы СОЖ, а также преимущества и недостатки каждого типа СОЖ. Представлены основные методы нанесения СОЖ на поверхность обрабатываемого материала. Кроме того, представлены результаты собственных исследований автора, а также результаты испытаний, осуществленных в лаборатории ИХП НАНА. Показаны перспективы применения серу и азотсодержащих производных, а также их металлических комплексов в качестве компонентов СОЖ

Ключевые слова: методы нанесения СОЖ; механическая обработка; резка; смазка и охлаждение; смазочно-охлаждающие жидкости; фрезерование.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) применяются в процессе механической обработки (сверление, фрезерование, токарная обработка, резка и т. д.), используются для улучшения условий процесса резки и увеличения срока службы режущего инструмента. Основная функция СОЖ заключается в том, чтобы снизить выделение тепла в процессе обработки, а также значительно уменьшать трение между двумя объектами. СОЖ наносится на зону стружки при резании металлов. Основные свойства СОЖ:

- высокая теплопоглощающая способность;
- высокая температура воспламенения;
- не вызывает коррозии оборудования;
- безвредность в работе;

A review of the results of scientific research in the field of the use of cutting fluids in machining processes is presented. These fluids have been shown to play a very important role in drilling, milling, turning, cutting, and other processes. The main types of coolant are considered, as well as the advantages and disadvantages of each type of coolant. The main methods for applying coolant to the surface of the material being processed are presented. In addition, the results of the author's own research are presented, as well as the results of tests carried out in the ICP laboratory of ANAS. The prospects for the use of sulfur and nitrogen-containing derivatives, as well as their metal complexes as coolant components are shown.

Key words: coolant application methods; cutting; cutting fluids; lubrication and cooling; machining; milling.

- исключительно хорошие смазывающие свойства, что способствует уменьшению силы трения и снижению энергопотребления;
- высокая удельная теплоемкость, высокая теплопроводность и высокий коэффициент пленки;
- стабильность к окислению и разложению на воздухе;
- способность защищать изделие от коррозии и улучшать качество обработки поверхности;
- способность предотвращать образование наростов и вымывать стружку из зоны резания.

В основном на рынке доступны четыре различных типа СОЖ:

- 1) растворимое смазочно-охлаждающее масло;
- 2) чистое смазочно-охлаждающее масло;
- 3) синтетические охлаждающие жидкости;
- 4) твердые смазочные материалы.

Дата поступления 15.06.22

Рекомендуется выбирать высококачественные СОЖ, чтобы извлечь из них максимальную пользу. Правильный выбор СОЖ прежде всего зависит от разрезаемого материала и используемого инструмента, а также от выбора осуществляемой операции и от степени охлаждающего эффекта, необходимого для операций. Обычно для латуни лучше всего подходит сухая жидкость, для материалов на основе меди рекомендуется скипидар, для алюминия керосин является лучшим выбором СОЖ, для стали можно использовать любые типы СОЖ, для быстрорежущей и твердой стали или бронзы следует использовать чистую СОЖ или минеральное масло. В последние десятилетия часто обсуждалась пригодность использования СОЖ для охлаждения и смазки в процессах механической обработки ¹. Использование СОЖ обычно приводит к экономии инструментов, становится легче соблюдать жесткие допуски и сохранять свойства поверхности заготовки без повреждений. Существуют различные преимущества применения СОЖ, такие как увеличение срока службы инструмента, сокращение времени обработки и улучшение качества поверхности. Однако есть и недостатки СОЖ, такие как высокие затраты на хранение, подготовку, фильтрацию и переработку, загрязнение окружающей среды. Из-за проблем с окружающей средой и здоровьем были найдены некоторые альтернативы для минимизации расхода СОЖ при механической обработке. В процессах механической обработки были предложены различные методы, такие как нанесение распылением, сухая обработка и внутреннее охлаждение. Однако существуют также ситуации, когда необходимо использовать СОЖ, например, при изготовлении зубчатых ко-

лес, протяжке и хонинговании. В табл. 1 представлены различные свойства СОЖ ¹.

В работе ² отмечается, что СОЖ широко используются при резке металлов для выполнения двух основных функций – охлаждения и смазки. Наиболее распространенным методом нанесения СОЖ является охлаждение потоком или затоплением, при котором объем СОЖ подается в зону резания. Обильное использование СОЖ не только увеличивает стоимость производства, но и создает серьезную опасность для окружающей среды и здоровья. В этой работе была предпринята попытка уменьшить количество используемой СОЖ и оптимизировать параметры резания и параметры подачи жидкости при токарной обработке закаленной в масле безуглеродистой стали (OHNS) с минимальным применением СОЖ с использованием метода Тагучи. Оптимизированные результаты сравнивались с сухим точением и обычным мокрым точением при одинаковых условиях резания (табл. 2).

Применение СОЖ в области машиностроения имеет давнюю историю и играет жизненно важную роль в эффективности обработки и качестве поверхности деталей ³. Среди них на СОЖ на водной основе приходится более 90% потребления СОЖ. Однако длительная переработка СОЖ на водной основе может легко привести к износу, а размножение бактерий может привести к выходу из строя СОЖ, увеличению производственных затрат и даже поставить под угрозу здоровье рабочих. Традиционные бактерициды могли бы улучшить биологическую стабильность СОЖ, но они

Таблица 1

Свойства СОЖ на различной основе

Свойства	Минеральные масла	Эмульсии	Полусинтетические масла	Синтетические масла
Внешний вид	Нефтяные	Мутные	Полупрозрачные	Прозрачные
Смазка	Превосходная	Хорошая	Хорошая	Слабая
Охлаждение	Слабое	Хорошее	Хорошее	Превосходное
Удаление стружки	Умеренное	Умеренное	Умеренное	Умеренное
Коррозионный контроль	Отличный	Слабый	Хороший	Хороший
Микробиологический контроль	Отличный	Слабый	Хороший	Превосходный
Огнестойкость	Огнеопасные	Неопасные	Неопасные	Неопасные

Таблица 2

Сравнение показателей СОЖ при различных методах

Свойства	1-й уровень	2-й уровень	3-й уровень
Скорость резки, м/мин	128.64	148.44	168.23
Частота, обор.	0.04	0.06	0.08
Глубина резки, мм	0.5	0.75	1.0
Давление в инжекторе, Бар	50	75	100
Частота пульсации, удар/мин	500	700	900
Скорость применения СОЖ, мл/мин	3	6	9
Содержание СОЖ, %	10	20	30

токсичны для окружающей среды и не соответствуют тенденциям развития низкоуглеродного производства. Использование наноматериалов, комплексов переходных металлов и методов физической стерилизации бактериальной клеточной мембраны и генетического материала могут эффективно решить эту проблему. В этой работе впервые был проанализирован механизм действия добавок и микробных метаболитов, были обобщены механизм денатурации традиционных бактерицидов на целевом белке и влияние эффективности стерилизации, обсуждался механизм нарушения потенциала клеточной мембраны наноматериалами. Также были обобщены эффекты липофильности и атомного номера комплексов переходных металлов на проникновение через клеточную мембрану, а также рассмотрено влияние ультрафиолетовых лучей и озона на разрушение генетического материала бактерий. Авторы предложили классификацию СОЖ:

СОЖ на масляной основе			СОЖ на водной основе		
Животные масла	Растительные масла	Минеральные масла	Эмульсионные	Полусинтетические	Синтетические

В статье ⁴ рассматривается недавний прогресс и области применения СОЖ в традиционных процессах механической обработки. В дополнение к обзору различных традиционных и передовых методов охлаждения во время обработки, в работе также обсуждается использование минимального количества смазки (MQL) в нескольких типах для металлов, таких как сталь, алюминий, легированные и титановые сплавы. Из-за токсичности обычных СОЖ, что приводит к экологическим проблемам, растет спрос на экологически безопасные СОЖ. Поэтому натуральное растительное масло выбрано в качестве потенциальной замены в качестве экологически чистой СОЖ, отвечающей важным аспектам биоразлагаемости и устойчивости. Обсуждается также применение СОЖ на основе растительных масел по технологии MQL (схема 1).

СОЖ применяется по многим причинам при обработке заготовки, например, для увеличения срока службы инструмента, минимизации термической деформации заготовки, улучшения чистоты поверхности, смывания стружки с поверхности резания и т. д.

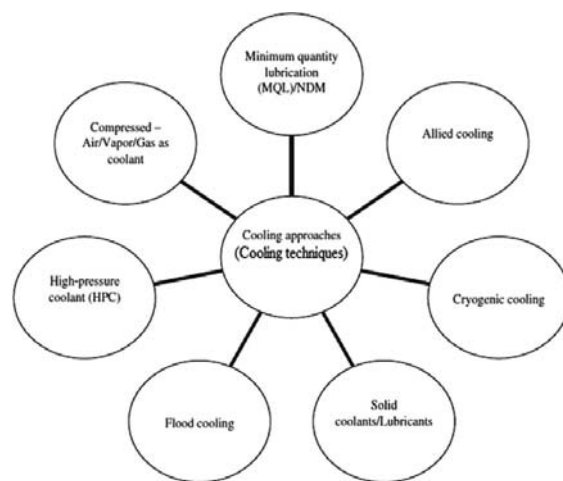


Схема 1. Различные типы СОЖ и их свойства

Следовательно, выбор подходящей СОЖ для конкретного применения механической обработки становится важным для повышения эффективности и результативности производственного процесса. Выбор СОЖ является сложной процедурой, так как решение зависит от многих сложных взаимодействий, включая обрабатываемость используемого материала, строгость эксплуатации, материал режущего инструмента, металлургическую, химическую совместимость и совместимость с человеком, надежность и стабильность жидкости, а также стоимость. В работе ⁵ модель принятия решений разработана на основе метода развертывания функции качества с целью реагирования на сложный характер проблемы выбора СОЖ и облегчения разумного выбора СОЖ из полного списка доступных альтернатив. В первом примере HD-CUTSOL признана наиболее подходящей СОЖ для сверления отверстий в титановом сплаве инструментом из карбида вольфрама, а во втором примере для выполнения операции хонингования сплава нержавеющей стали инструментом из кубического нитрида бора CF5 показала себя как лучшая хонинговальная жидкость. Внедрение этой модели приведет к снижению затрат за счет снижения потребности в рабочей силе, повышения эффективности рабочей силы и эффективного использования информации.

Сообщается ⁶, что тип СОЖ и методы их нанесения смазочно имеют решающее значение в процессе механической обработки. Тепловыделение и температура в зоне резания из-за трения на границе раздела инструмент/стружка и инструмент/заготовка являются значительными параметрами, влияющими на износ инструмента, его стойкость, целостность поверхности, механизм образования стружки и, следовательно, на качество обработки. Хорошее понимание типа СОЖ и

способов их подачи в зону резания значительно снижает тепловыделение и температуру в процессе обработки, повышает срок службы инструмента и целостность поверхности. Расходы, связанные с расходом охлаждающей жидкости, и связанные с этим проблемы со здоровьем с воздействием СОЖ и растущим стремлением к достижению экологической устойчивости в производстве приводят к пересмотру роли этих жидкостей и количественной оценке их пользы. В этой работе представлен обзор СОЖ и различных альтернативных методов их применения, таких как сухая резка, охлаждение под высоким давлением (НРС), минимальное количество смазки (MQL) и криогенное охлаждение хорошо представлены. Эти методы в значительной степени минимизировали количество СОЖ, используемых при механической обработке, обеспечивая при этом аналогичные или даже лучшие характеристики резания по сравнению с мокрым способом охлаждения.

Благодаря разработке новых конструкционных материалов и высокоскоростной резке, СОЖ приобретает все более важную роль в механической обработке⁷. Как правило, использование СОЖ может снизить температуру резания, уменьшить трение между инструментом и заготовкой, продлить срок службы инструмента и повысить эффективность обработки и качество поверхности. Эти эффекты связаны с основными функциями СОЖ – охлаждение, смазка, защита от коррозии и очистка. Согласно обзору исследований СОЖ, применяемых в процессе резки металлов, имеющиеся исследования в основном были сосредоточены на стратегиях применения и способности проникновения, производительности обработки, новых типах экологически чистых СОЖ и качестве предварительно обработанной поверхности. В этой статье также предполагается, что влияние СОЖ на качество и производительность обрабатываемой поверхности станет важным направлением исследований. Существует проблема соответствия между СОЖ и материалами заготовки. Дальнейшие исследования влияния СОЖ на обрабатываемую поверхность должны включать физико-химический механизм СОЖ, механизм действия на свежее обработанную поверхность в процессе механической обработки, механизм действия в период длительной службы, стабильность состава и физико-химические свойства и метод оценки эффективности использования СОЖ.

Механическая обработка является одним из наиболее широко используемых методов в промышленности^{8,9}. В связи с этим, СОЖ играют важную роль в минимизации производственного времени, затрат и энергии при различных опера-

циях механической обработки. В работах^{8,9} проиллюстрированы некоторые вопросы, связанные с использованием наножидкостей, исследовано влияние параметров резания, таких как сила резания, шероховатость поверхности, температура обработки и воздействие окружающей среды. Рассмотрены виды наночастиц, материалов инструментов и заготовок, а также процессы обработки (шлифование, токарная обработка, фрезерование и сверление).

В работе¹⁰ сообщается, что обычные СОЖ, такие как жидкости на масляной и водной основе, применялись в обрабатывающей промышленности для смазки и охлаждения зоны резания. Эти обычные СОЖ имеют негативные последствия для окружающей среды и здоровья человека. Смазка минимальным количеством (MQL) с биоразлагаемыми маслами является проверенной альтернативой заливочной охлаждающей жидкости и обычным смазочным материалам. Она обеспечивает соответствующие шаги для снижения потребления жидкости в процессах резки металла; при этом снижается и скорость теплопередачи из зоны резания. С развитием нанотехнологий свойства жидкостей могут быть улучшены за счет добавления наночастиц в базовую жидкость. Применимость жидкостей в качестве хладагентов в основном обусловлена их повышенными теплофизическими свойствами, обусловленными включением наночастиц. В последнее десятилетие многие исследователи сообщают об улучшении теплофизических свойств СОЖ при включении в нее керамических и металлических наночастиц. Тем не менее, многие исследования в этой области все еще необходимы для преодоления стабильности и проводимости. Между тем, новый класс наножидкостей, обозначенных как гибридные наножидкости, был модернизирован с улучшенными термическими свойствами и стабильностью для повышения скорости теплопередачи, необходимой для механической обработки.

Техника минимального количества смазки (MQL) привлекла значительное внимание в процессах механической обработки для снижения нагрузок на окружающую среду, вызванных использованием обычных СОЖ¹¹. В последнее время наножидкости находят широкое применение в области машиностроения из-за их превосходных характеристик смазывания и рассеивания тепла. В данной статье исследуется использование наножидкости в режиме MQL для улучшения характеристик шлифования сплава Ti-6Al-4V. В работе методом экспериментального планирования Тагучи была создана модель второго порядка для прогнозирования шлифовальных усилий и шероховатости поверхности. Различные концентрации

наножидкостей Al_2O_3 на водной основе применялись в операции шлифования с помощью установки MQL, разработанной в компании, и результаты сравнивались с результатами обычного хладагента и чистой воды. Экспериментальные результаты показали, что силы шлифования значительно снижались при использовании наножидкости для резки даже при низкой концентрации наночастиц, а чистота поверхности улучшалась при более высокой концентрации наночастиц.

Предлагаемые жидкости для нанорежущей жидкости помогают решить проблему отвода тепла при обработке труднообрабатываемых материалов, поскольку они обеспечивают высокую удельную теплопроводность по сравнению с базовыми смазочными материалами¹². Таким образом, для повышения эффективности охлаждения системы минимального количества смазки (MQL) используется несколько нанодобавок, поскольку ее теплоемкость намного ниже, чем при использовании охлаждающей жидкости заливающего типа. Метод MQL-наножидкости предлагает два основных преимущества: повышение производительности процесса обработки, поскольку используемые нанодобавки улучшают тепловые и фрикционные характеристики, и обеспечение более устойчивого процесса, поскольку в системах MQL используется оптимальное количество масла по сравнению со стратегией заливки СОЖ. В этом исследовании был реализован общий алгоритм оценки для определения оптимальных и устойчивых уровней параметров процесса при обработке Inconel 718 с MQL-наножидкостями. Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) и гамма-наночастицы оксида алюминия (Al_2O_3) использовались в качестве нанодобавок. Используемый алгоритм учитывает несколько реакций обработки, а также устойчивые метрики и индикаторы независимо от их критериев. Было обнаружено, что результаты алгоритма оценки согласуются с физическими выводами результатов проведенных экспериментов.

При точении труднообрабатываемой стали (SAE EV-8) применяются различные способы нанесения СОЖ^{13,14}. Полусинтетическая СОЖ наносилась с использованием традиционного метода, минимального количества СОЖ (MQCF) и распыления. Методом минимального количества также применялась смазка из растительного масла (MQL). После этого струя СОЖ под высоким давлением (3.0 МПа) была однократно применена в следующих областях: граница раздела стружка/инструмент; верхняя поверхность чипа; и контакта инструмента с заготовкой. Были использованы два других метода: промежуточный поток между

обычным нанесением и струей на границе раздела стружки и инструмента и, наконец, одновременное нанесение трех струй. Для проведения этих испытаний необходимо было установить систему высокого давления с поршневым насосом для создания струи СОЖ, трубкой Вентури для подачи жидкости (MQCF и MQL) и соплом для распыления СОЖ. Анализируемые выходные переменные включали стойкость инструмента, шероховатость поверхности, температуру режущего инструмента, силу резания, форму стружки, степень сжатия стружки и микроструктуру обработанного образца. Можно заметить, что стойкость инструмента увеличивается, а сила резания уменьшается при подаче струи СОЖ, в основном, когда она направлена на поверхность раздела стружка/инструмент. За исключением методов с использованием струйной жидкости, традиционный метод представляется более эффективным, чем другие методы низкого давления.

Воздействие смазочных материалов на окружающую среду является ключевым вопросом устойчивого производства. Даже если сухая резка может быть определена как конечная цель, смазка по-прежнему остается труднопреодолимым промышленным стандартом при обработке труднообрабатываемых сплавов. Чтобы уменьшить выбросы загрязняющих веществ и проблемы, связанные со здоровьем рабочих, на протяжении многих лет появлялись альтернативные системы, такие как минимальное количество смазки (MQL) или охлаждение (MQC). Это исследование направлено на изучение обрабатываемости сплава Ti-48Al-2Cr-2Nb (ат. %) при нанесении малых объемов СОЖ (воды и эмульсии) на область резания в виде точно дозированного капельного тумана. Результаты с точки зрения износа/срока службы инструмента, качества поверхности, расхода смазки и воздействия на окружающую среду обсуждаются со ссылкой на результаты MQL, мокрого и сухого резания. Экспериментальные данные показывают, что с точки зрения срока службы инструмента использование эмульсионного тумана является более выгодной стратегией по сравнению с MQL и сухой резкой. Кроме того, скорость потока и тип СОЖ являются переменными, существенно влияющими на производительность процесса¹⁵.

Минимальное количество смазки (MQL) занимает видное место среди экологически безопасных методов обработки¹⁶. Локальное охлаждение и смазка в нескольких местах направлена на повышение эффективности и дальнейшее снижение расхода СОЖ. В работе¹⁶ объединены стратегии использования СОЖ MQL в определенных местах по отношению к передней поверхности, боко-

вой поверхности и обратной стороне стружки. Проведен критический анализ СОЖ, стратегий охлаждения, параметров процесса и их влияния на качество. Представлены последние разработки и будущие направления в рамках гибридного метода смазки, гибридной СОЖ и численного моделирования.

Процесс механической обработки твердых материалов, таких как титан и его сплавы, играет важную роль в разработке новых методов обработки, таких как режущие инструменты и покрытия, с целью повышения обрабатываемости этих материалов. Из-за плохих термических свойств титана режущий инструмент подвергается ускоренному износу, что влияет на срок службы инструмента¹⁷. В данной работе описано исследование использования твердой смазки при механической обработке Ti-6Al-4V на токарной операции. Использовался инструмент из цементированного карбида с покрытием TiAlN (PVD) (класс S15). Сухие испытания, испытания со смазкой и испытания со смазкой с содержанием твердых смазок 20% по массе: графитовая сетка 325 (средний размер частиц 40 мкм), графитовая сетка 625 (20 мкм) и дисульфид молибдена (MoS₂, 6 мкм). Выходными параметрами являются: стойкость инструмента, шероховатость поверхности, сила резания и межфазная температура (термопара инструмент/заготовка). Износ по задней поверхности инструмента – главная проблема при обработке титановых сплавов, был значительно снижен за счет действия твердых смазок. Экспериментальные результаты показали превосходство дисульфида молибдена по отношению к графиту в процессе токарной обработки: снижение износа инструмента, увеличение срока службы инструмента и улучшение шероховатости поверхности. Твердая смазка может быть жизнеспособной альтернативой сухому и мокрому точению. Таким образом, можно сделать вывод, что правильное применение твердых смазок при обработке сплава Ti-6Al-4V приводит к снижению износа инструмента, что может привести к повышению производительности.

Высокая температура, возникающая во время токарной обработки, часто приводит к ряду проблем, таких как большая зона термического влияния, высокий износ инструмента, изменение твердости и микроструктуры заготовки, пригорание и его последствия и микротрещины¹⁸. Применение СОЖ в традиционном методе в некоторой степени уменьшает вышеуказанные проблемы за счет охлаждения и смазки зоны резания. Но при этом скорость охлаждения невелика. По этой причине метод нанесения тумана стал центром внимания исследователей и техников в области меха-

нической обработки как альтернатива традиционному охлаждению потоком. Концепция распыления СОЖ ранее называлась «почти сухой» обработкой. Минимизация потребности в СОЖ приводит к экономической выгоде и экологичности обработки. В этой работе были предприняты попытки разработать устройство для распыления СОЖ при точении среднеуглеродистых сталей. Этот эксперимент предназначен для определения износа инструмента и повышения температуры во время точения среднеуглеродистой стали режущим инструментом из быстрорежущей стали при различной глубине резания и скоростях шпинделя, а также скоростях резания. Скорость подачи всегда постоянна. Вышеупомянутая методика была выполнена для условий сухой резки, нанесения СОЖ струей и туманом. Система распыления СОЖ позволила снизить среднюю температуру поверхности раздела стружка-инструмент до 40% по сравнению с обычной системой охлаждения потоком в зависимости от условий резания. Система распыления с использованием настоящей технологии существенно снизила износ по задней поверхности и, следовательно, увеличила срок службы инструмента.

Как известно, ускоренный износ инструмента и его поломка являются серьезными проблемами в процессах микрообработки, таких как микрофрезерование. Традиционные процессы охлаждения потоком не подходят для микрофрезерования из-за чрезмерной силы столкновения между потоком жидкости и инструментом, который достаточно велик, чтобы повлиять на точность процесса резания. В работе¹⁸ представлена система охлаждения и смазки на основе распыления, которая подает распыленные СОЖ к микрофрезерному инструменту за счет использования оригинальной конструкции сопла, основанной на двух ортогонально направленных потоках. Система и сопло используются для исследования относительной важности охлаждения и смазки при микрофрезеровании холоднокатаного алюминия 6061 T6 двухканавочной концевой фрезой диаметром 0.508 мм. Шесть режимов резания оцениваются экспериментально на основе сил резания и стойкости инструмента. Смазка исследуется при двух концентрациях (10 и 25 %) полусинтетической СОЖ. Охлаждение исследовано с использованием распыленной деионизированной воды, а также сухой резки с охлаждением, обеспечиваемым вихревой трубой Ранка-Хилша. В качестве контроля использовали сухую резку. Статистические испытания показали важность смазки по сравнению с охлаждением при механической обработке в микромасштабе, поскольку деионизированная вода

показала худшие результаты из всех проведенных испытаний. По результатам экспериментов дают-ся рекомендации по проектированию будущих систем охлаждения и смазки микрообработки.

Отходы и выбросы от процессов механической обработки оказывают негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека¹⁹, поэтому в последнее время возросло использование экологически безопасных систем охлаждения или смазки. Этанол является идеальной охлаждающей жидкостью для высокоскоростной обработки, поскольку его вязкость ниже, чем у охлаждающих жидкостей на масляной основе. Низкая температура испарения этанола делает его эффективным методом охлаждения, а также устраняет необходимость утилизации и переработки. Влияние различных методов охлаждения/смазывания (минимальное количество смазки (MQL), этанол и водомасляная эмульсия) на износ инструмента, шероховатость поверхности и образование заусенцев было исследовано при микрофрезеровании суперсплава Inconel 718. После испытаний на резку были проведены анализы с помощью 3D-профилометра и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) для определения шероховатости поверхности, механизма образования заусенцев и износа инструмента. Лучшее качество поверхности было получено в процессах резания в условиях MQL и в сухих условиях. Минимальный износ инструмента был получен в процессе резания с MQL. Уменьшение диаметра инструмента было на максимальном уровне в процессе резания этанолом. При оценке шероховатости поверхности метод с этанолом показал более стабильное состояние, чем процесс резания с использованием обычной СОЖ.

Микрофрезерование является одним из основных технологических процессов создания миниатюрных деталей, востребованных в настоящее время во многих отраслях промышленности²⁰. Как и в любых других процессах механической обработки, СОЖ используются для охлаждения и смазки во время микрофрезерования, хотя это может быть сложно из-за небольшой зоны резания. В этой работе исследуется влияние различных систем охлаждения и смазки, таких как сухая резка, влажная обработка и система минимального количества смазки, на такие характеристики, как качество поверхности и износ микроинструмента. В случае минимального количества смазки применяются два метода однофорсуночной и двухфорсуночной систем распыления, и их влияние на такие характеристики сравнивается друг с другом. Механические испытания проведены двухлезвийной микрофрезой диаметром 0.8 мм по титаново-

му сплаву Ti6Al4V. Результаты показали, что минимальное количество смазки эффективно как при охлаждении, так и при смазке, в то время как влажное нанесение не влияет на охлаждение. Наконец, использование минимального количества смазки приводит к меньшему износу инструмента и лучшему качеству поверхности по сравнению с сухими и влажными условиями, поэтому сопла с двумя соплами более выгодны при микрофрезеровании этого сплава.

В работе²¹ CCl_4 использовался в качестве смазки для обработки медных образцов. Установлено, что CCl_4 имеет много хороших эффектов при низкой скорости обработки, а также отсутствие эффекта при высокоскоростной резке. Так, потери на границе раздела стружки составили 0.005 м/с, коэффициент резания увеличился более чем на 23% и снижался до 7% при скорости резания 0.08 м/с, с другой стороны, угол трения уменьшался примерно с 37 до 11 % при увеличении скорости резания с 0.005 до 0.08 м/с.

Сообщается²², что современные процессы обработки сталкиваются с постоянным давлением затрат и высокими требованиями к качеству. Таким образом, отрасли должны постоянно выявлять возможности снижения производственных затрат, использовать экономические возможности и постоянно совершенствовать производственные процессы. Ключевая технология, представляющая возможности для экономии средств, связана с улучшением общей производительности операций резки и применения эффективных СОЖ.

В наших работах было показано, что расходы предприятия на закупку инструмента часто оказываются в несколько раз больше расходов на закупку СОЖ, что связано с высокой стоимостью сплавов металлов, используемых при изготовлении инструментов. Учитывая сказанное, повысив износостойкость инструментов и применяя высокотехнологические СОЖ, производство не только экономит, но и полностью окупает закупку самих СОЖ. Используя биостабильные СОЖ, которые могут работать годами, можно резко сократить статью расходов, связанных с процессом утилизации отработанных СОЖ. Кроме того, снижаются и расходы, связанные с приобретением второстепенных веществ: биоцидов, фунгицидов; промывок системы, пеногасителей и т.д., которые необходимы при использовании традиционных продуктов.

В Институте химии присадок Национальной Академии Наук Азербайджана проводятся систематические исследования в области разработки эффективных СОЖ на масляной, водной и эмульсионной основе, расширения их ассортимента

подбора сырья и компонентов для их производства, освоения опытно-промышленного производства этих продуктов, а также изучения принципов подбора высокоэффективных композиций СОЖ. Базовым компонентом для масляных СОЖ выбрано минеральное масло И-12, а в качестве компонентов СОЖ синтезирован ряд новых S-, P-, N-, Cl-, Me-содержащих производных ортозамещенных фенолов, β -арилкарбоновых кислот, тиофенолов, осерненные олигомеры этилена и пропилена фракций $C_{28}-C_{40}$ и $C_{18}-C_{27}$, а также нефтяные, полусинтетические, синтетические сульфонаты щелочноземельных металлов. С использованием синтезированных органических соединений в сочетании с различными типами товарных присадок в ИХП НАНА разработаны эффективные масляные СОЖ для обработки металлов резанием, в том числе для операций шлифования и алмазного хонингования деталей, которые по эксплуатационно-технологическим свойствам значительно превосходят широко применяемые образцы товарных СОЖ и не уступают лучшим зарубежным. Наиболее эффективные составы СОЖ ИХП-76, ИХП-100, ИХП-22 были испытаны при резании металлов. На основании результатов сравнительных испытаний СОЖ ИХП-76, ИХП-100, ИХП-22 рекомендуются к производственным испытаниям на операциях алмазного хонингования стальных деталей.

С целью замены ввозимых ранее в Республику Азербайджан масляных СОЖ серии МР с использованием меньшего количества синтезированных присадок различного функционального действия в ИХП НАНА разработаны новые композиции СОЖ на масляной основе, по эффективности не уступающие, а по ряду показателей и превосходящие их. Разработанные жидкости были испытаны на Бакинском заводе Бытовых Кондиционеров (БЗБК) при сверлении отверстий во втулке на автомате продольного точения, и некоторые из них (СОЖ ИХП-93 и СОЖ ИХП-94) были рекомендованы к использованию взамен товарных СОЖ МР-1у и МР-7, на ряде операций механической обработки деталей бытовых кондиционеров.

В настоящее время в лаборатории «Присадки к СОЖ» ИХП НАНА ведутся системные исследования по разработке более эффективных новых композиций СОЖ, улучшению их качеств путем применения присадок различного функционального назначения, изучению взаимосвязи между химическим составом, структурой и эффективностью отдельных компонентов СОЖ, их совместности в композициях; исследованию функциональных и эксплуатационных качеств; разработке технологии получения новых СОЖ, организации их промышленного производства и внедрения на машиностроительных заводах Республики Азербайджан.

Литература

1. Kivak M. Applications of cutting fluids on machining // 2-nd International Conference on Tribology «TurkeyTrib-18». – Turkey. – 126 p.
2. Deepak R., Johnson J., DevWins L. Optimization of Cutting Parameters and Fluid Application Parameters during Turning of OHNS Steel // *Procedia Engineering*. – 2014. – V.97. – Pp.172-177.
3. Tang L., Zhang Y., Changhe L. Biological Stability of Water-Based Cutting Fluids: Progress and Application // *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. – 2022. – V.35, №3. – Pp.2645-2651.
4. Wong G., Sumaiya I., Reddy M. Recent progress and evolution of coolant usages in conventional machining methods: a comprehensive review // *Inter. Journal Adv. Manuf. Technol.* – 2022. – V.119, №1-2. – Pp.3-40.
5. Prasad K., Chakraborty S. A Quality Function Deployment-Based Model for Cutting Fluid Selection // *Advances in Tribology*. – 2016. – V.1. – Pp.1-10.
6. Mane S., Kumar S. Cutting Fluids and Cutting Fluid Application Techniques in Machining: A Review // *International Journal of Scientific and Engineering Research*. – 2018. – V.9, №3. – Pp.60-63.
7. Yan P., Rong Y., Wang G. The effect of cutting fluids applied in metal cutting process // *Proceedings of the Institution of the Mechanical Engineers. Part B. Journal of Engineering Manufacture*. – 2016. – V.230, №1. – Pp.157-162.

References

1. Kivak M. [Applications of cutting fluids on machining]. 2-nd International Conference on Tribology, TurkeyTrib-18, Turkey, 126 p.
2. Deepak R., Johnson J., DevWins L. [Optimization of Cutting Parameters and Fluid Application Parameters during Turning of OHNS Steel]. *Procedia Engineering*, 2014, vol.97, pp.172-177.
3. Tang L., Zhang Y., Changhe L. [Biological Stability of Water-Based Cutting Fluids: Progress and Application]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2022, vol.35, no.3, pp.2645-2651.
4. Wong G., Sumaiya I., Reddy M. [Recent progress and evolution of coolant usages in conventional machining methods: a comprehensive review]. *Inter. Journal Adv. Manuf. Technol.*, 2022, vol.119, no.1-2, pp.3-40.
5. Prasad K., Chakraborty S. [A Quality Function Deployment-Based Model for Cutting Fluid Selection]. *Advances in Tribology*, 2016, vol.1, pp.1-10.
6. Mane S., Kumar S. [Cutting Fluids and Cutting Fluid Application Techniques in Machining: A Review]. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 2018, vol.9, no.3, pp.60-63.
7. Yan P., Rong Y., Wang G. [The effect of cutting fluids applied in metal cutting process]. *Proceedings of the Institution of the Mechanical Engineers. Part B. Journal of Engineering Manufacture*, 2016, vol.230, no.1, pp.157-162.

8. Shokoohi Y., Shekarian E. Application of Nanofluids in Machining Processes – A Review // *Journal of Nanoscience and Technology*.– 2016.– V.2, №1– Pp.59-63
9. Lotfi B., Lioua K., Kaouthar G. Application of nanofluids as cutting fluids in machining operations: a brief review // *Applied Nanoscience*.– 2022.– V.2, №2.– Pp.342-349
10. Kumar M.C., Vasu V. Nanofluids Application for Cutting Fluids // Chapter in book *Advances in Sustainable Machining and Manufacturing Processes*.– 2022.– CRC Press.– 29 p.
11. Bhargavi A., Prashantha K. Application of Nano Cutting Fluid under Minimum Quantity Lubrication (MQL) Technique to Improve Grinding of Ti – 6Al – 4V Alloy // *International Journal of Engineering Research and Technology*.– 2015.– V.3, №19.– Pp.1-16.
12. Hegab H., Darras B., Kishawy A. Sustainability Assessment of Machining with Nano-Cutting Fluids // *Procedia Manufacturing*.– 2018.– V.26.– Pp.245-254.
13. Dayun X. Different Methods of Cutting Fluid Application on Turning of a Difficult-to-Machine Steel // *Advanced Material Research*.– 2012.– V.628.– Pp.476-481.
14. Sanchez L.F., Palma G., Marinescu I. Effect of different methods of cutting fluid application on turning of a difficult-to-machine steel (SAE EV-8) // *Proceedings of the Institution of the Mechanical Engineers. Part B. Journal of Engineering Manufacture*.– 2012.– V.227.– №2.– Pp.220-234.
15. Priarone P., Robiglio M., Settineri L. Effectiveness of Minimizing Cutting Fluid Use when Turning Difficult-to-cut Alloys // *Procedia CIRP*.– 2015.– V.29.– Pp.341-346.
16. Sharma A., Leuyen K., Banerjee N. A review on localised and multi-point aerosol application in minimum quantity lubrication machining // *International Journal of Precision Technology*.– 2020.– V.9, №2-3.– Pp.1-10.
17. Moura R., Silva M., Machado R. The effect of application of cutting fluid with solid lubricant in suspension during cutting of Ti-6Al-4V alloy // *Wear*.– 2015.– V.332-333.– Pp.762-771.
18. Neyala S., Wifvat V., Johnson S. Relative Effects of Cooling and Lubrication in Micro-Milling of Aluminum and the Design of Atomization Cooling and Lubrication Systems // *International Mechanical Engineering Congress and Exposition ASME-2012*.– California.– USA.– 2012.– Pp.113-115.
19. Askiantas K., Adem C. The effects of cooling/lubrication techniques on cutting performance in micro-milling of Inconel 718 superalloy // *Procedia CIRP*.– 2018.– V.77.– Pp.70-73.
20. Rezaei H., Sadeghi M.H., Khosroabadi H. Comparing Cooling and Lubricating Effects of Different Cutting Fluid Applications in Micromilling Process // *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*.– 2020.– V.52, №3.– Pp.149-152.
21. Ali Saleh A. Effect Of The Application Of Carbon Tetrachloride Lubricant To A Cutting Operation // *Journal of Engineering and Development*.– 2013.– V.17, №4.– Pp.114-125.
22. Bhirud N.L., Gawande R., Patil C. Alternative Techniques for Reducing the Use of Cutting Fluids // *International Journal for Research in Engineering Application and Management*.– 2016.– V.42, №3.– Pp.1-7.
8. Shokoohi Y., Shekarian E. [Application of Nanofluids in Machining Processes – A Review]. *Journal of Nanoscience and Technology*, 2016, vol.2, no.1, pp.59-63.
9. Lotfi B., Lioua K., Kaouthar G. [Application of nanofluids as cutting fluids in machining operations: a brief review]. *Applied Nanoscience*, 2022, vol.2, no.2, pp.342-349.
10. Kumar M.C., Vasu V. [Nanofluids Application for Cutting Fluids]. Chapter in book *Advances in Sustainable Machining and Manufacturing Processes*, 2022, CRC Press, 29 p.
11. Bhargavi A., Prashantha K. [Application of Nano Cutting Fluid under Minimum Quantity Lubrication (MQL) Technique to Improve Grinding of Ti - 6Al - 4V Alloy]. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2015, vol.3, no.19, pp.1-16.
12. Hegab H., Darras B., Kishawy A. [Sustainability Assessment of Machining with Nano-Cutting Fluids]. *Procedia Manufacturing*, 2018, vol.26, pp.245-254.
13. Dayun X. [Different Methods of Cutting Fluid Application on Turning of a Difficult-to-Machine Steel]. *Advanced Material Research*, 2012, vol.628, pp.476-481.
14. Sanchez L.F., Palma G., Marinescu I. [Effect of different methods of cutting fluid application on turning of a difficult-to-machine steel (SAE EV-8)]. *Proceedings of the Institution of the Mechanical Engineers. Part B. Journal of Engineering Manufacture*, 2012, vol.227, no.2, pp.220-234.
15. Priarone P., Robiglio M., Settineri L. [Effectiveness of Minimizing Cutting Fluid Use when Turning Difficult-to-cut Alloys]. *Procedia CIRP*, 2015, vol.29, pp.341-346.
16. Sharma A., Leuyen K., Banerjee N. [A review on localised and multi-point aerosol application in minimum quantity lubrication machining]. *International Journal of Precision Technology*, 2020, vol.9, no.2-3, pp.1-10.
17. Moura R., Silva M., Machado R. [The effect of application of cutting fluid with solid lubricant in suspension during cutting of Ti-6Al-4V alloy]. *Wear*, 2015, vol.332-333, pp.762-771.
18. Neyala S., Wifvat V., Johnson S. [Relative Effects of Cooling and Lubrication in Micro-Milling of Aluminum and the Design of Atomization Cooling and Lubrication Systems]. *International Mechanical Engineering Congress and Exposition ASME-2012*, California, USA, 2012, pp.113-115.
19. Askiantas K., Adem C. [The effects of cooling/lubrication techniques on cutting performance in micro-milling of Inconel 718 superalloy]. *Procedia CIRP*, 2018, vol.77, pp.70-73.
20. Rezaei H., Sadeghi M.H., Khosroabadi H. [Comparing Cooling and Lubricating Effects of Different Cutting Fluid Applications in Micromilling Process]. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, 2020, vol.52, no.3, pp.149-152.
21. Ali Saleh A. [Effect Of The Application Of Carbon Tetrachloride Lubricant To A Cutting Operation]. *Journal of Engineering and Development*, 2013, vol.17, no.4, pp.114-125.
22. Bhirud N.L., Gawande R., Patil C. [Alternative Techniques for Reducing the Use of Cutting Fluids]. *International Journal for Research in Engineering Application and Management*, 2016, vol.42, no.3, pp.1-7.