

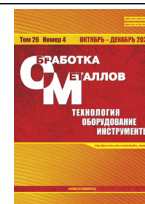
НГТУ



НЭТИ

Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Исследование влияния гибридных наножидкостей на растительной основе на производительность обработки при токарной обработке с минимальным количеством СОЖ

Джаввади Эшвара Маниканта^{1,а}, Нитин Амбхор^{2,б,*}, Сонал Шамкувар^{3,с},
Навин Кумар Гураджала^{4,д}, Санта Рао Дакарпу^{5,е}

¹ Женский инженерный колледж Шри Вишну (А), Бхимаварам, Андхра-Прадеш, 534202, Индия

² Технологический институт Вишвакармы, Махараштра, Пуна 411037, Индия

³ Институт информационных технологий Вишвакармы, Махараштра, Пуна – 411048, Индия

⁴ Инженерно-технологический колледж CMR, Хайдарабад, Телангана, 501401, Индия

⁵ Вишакский инженерно-технологический институт, Нарава, Вишакхапатнам, 530027, Индия

^а  <https://orcid.org/0000-0002-0881-4899>,  manijem66@gmail.com; ^б  <https://orcid.org/0000-0001-8468-8057>,  nitin.ambhore@viit.ac.in;

^с  <https://orcid.org/0000-0001-7633-0813>,  sonal.shamkuwar@viit.ac.in; ^д  <https://orcid.org/0000-0003-0829-7622>,  naveenkumargurrijala84@gmail.com;

^е  <https://orcid.org/0000-0001-7679-7448>,  dsantharao@gmail.com

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.895

История статьи:

Поступила: 07 августа 2024

Рецензирование: 21 августа 2024

Принята к печати: 17 сентября 2024

Доступно онлайн: 15 декабря 2024

Ключевые слова:

Наножидкость

Смазывание

Эффективность механической обработки

Токарная обработка

АННОТАЦИЯ

Введение. Гибридные наножидкости на растительной основе приобретают все большее значение в контексте токарной обработки с минимальным количеством СОЖ (MQL) в связи с их улучшенными смазочными свойствами и экологическими преимуществами. Эти наножидкости, в состав которых обычно входят растительные масла и наночастицы, такие как графит или диоксид титана, повышают производительность обработки за счет снижения трения и сил резания, что приводит к повышению качества обработанной поверхности и срока службы инструмента. **Цель работы.** Твердосплавные инструменты с покрытием широко используются для обработки нержавеющей стали марки SS 304 благодаря их износостойкости и способности выдерживать высокие температуры. Целью данной работы является оценка эффективности обработки при точении стали марки SS 304 при различных концентрациях гибридных наножидкостей. **Методы исследования.** В этом исследовании предпринята попытка использования гибридных наночастиц оксида меди / оксида алюминия ($\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$), смешанных с кукурузным маслом. В общей сложности было разработано шесть гибридных смазочно-охлаждающих жидкостей объемом 100 мл с различной массовой концентрацией (0,4 %, 0,8 %, 1,2 %, 1,6 %, 2 %, 2,4 %), и были исследованы их характеристики при работе со сталью SS 304. **Результаты и обсуждение.** Результаты показали, что при увеличении массовой концентрации теплофизические свойства улучшаются. Кроме того, показано, что трение уменьшается при увеличении концентрации частиц до 1,6 масс. %. При концентрации 1,6 масс. % гибридная наноСОЖ $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ показала лучшие эксплуатационные характеристики. В этом исследовании также приводится сравнение с сухим точением. Наибольший износ инструмента наблюдается при сухом точении, за ним следует точение с использованием кукурузного масла. Наблюдается снижение усилия резания на 32 %. Шероховатость поверхности при использовании гибридной наноСОЖ $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ снижается на 27,7 %. Однако при использовании гибридной наножидкости (2,4 %) наблюдается низкий износ инструмента. В данном исследовании рассматривается возможность использования гибридных наножидкостей на растительной основе при токарной обработке с минимальным количеством СОЖ.

Для цитирования: Исследование влияния гибридных наножидкостей на растительной основе на производительность обработки при токарной обработке с минимальным количеством СОЖ / Д.Э. Маниканта, Н. Амбхор, С. Шамкувар, Н.К. Гураджала, С.Р. Дакарпу // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 6–18. – DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.4-6-18.

*Адрес для переписки

Амбхор Нитин, к.т.н., доцент

Технологический институт Вишвакармы,

Пуна 411037, Махараштра, Индия

Тел.: +91-2026950441, e-mail: nitin.ambhore@viit.ac.in

Введение

При механической обработке в зоне резания выделяется большое количество тепла и возникает трение, что снижает производительность [1]. Поэтому требуются эффективные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) и способы ввода смазки между трущимися поверхностями. Смазочно-охлаждающие жидкости помогают поддерживать низкую температуру в зоне контакта инструмента с обрабатываемой деталью [2, 3]. В какой-то степени традиционные методы охлаждения и смазочно-охлаждающие жидкости служат этой цели, но интенсивное использование обычных СОЖ приводит к загрязнению окружающей среды, а также они токсичны для человека [4]. Сухая механическая обработка является альтернативой традиционному охлаждению для обеспечения чистоты операций резки металла без каких-либо проблем с окружающей средой и здоровьем работников [5–7]. Некоторые исследователи проводили резку металла в сухих условиях и обнаружили положительные результаты в отношении производительности обработки. Однако в большинстве случаев сухая обработка с большой глубиной резания и высокими скоростями не может быть предпочтительным методом, поскольку обработка в таких условиях снижает срок службы инструмента [8–9]. С учетом вышесказанного потенциальный метод токарной обработки с минимальным количеством СОЖ (MQL) направлен на снижение расхода смазочно-охлаждающей жидкости. При этом способе в зону обработки подается небольшое количество смазочно-охлаждающей жидкости. Как правило, базовые жидкости обладают хорошими смазывающими свойствами, но низкая охлаждающая способность ограничивает их использование при высокоскоростных операциях резания с использованием MQL. В настоящее время наноразмерные частицы комбинируются с традиционными жидкостями для повышения производительности [10–13].

Сонг и др. [14] добавили в обычную СОЖ многослойные углеродные нанотрубки и обнаружили улучшение теплопроводности на 200 %. Услуер и др. [15] исследовали влияние гибридной наножиidкости при MQL-точении. Результаты показали, что наиболее существенное влияние на силу резания и силу осевого давления оказы-

вала скорость подачи (86,8 и 65 % соответственно), а наибольшее влияние на температуру резания оказывали условия резания (93,2 %). Сенкан и др. [16] добавили наночастицы диоксида кремния (SiO_2) в подсолнечное масло и использовали получившуюся гибридную наноСОЖ при токарной обработке стали AISI 304. Результаты показали, что шероховатость поверхности сильно зависит от скорости подачи. Метод охлаждения оказал существенное влияние на температуру в зоне резания и износ инструмента.

Нгок и др. [17] исследовали эффективность гибридной наножиidкости $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MoS}_2$ и мононаножиidкостей Al_2O_3 и MoS_2 при точении закаленных деталей из стали 90CrSi в условиях MQL. Результаты показали, что наблюдалась более низкая температура резания, а шероховатость поверхности и сила резания были меньше. Джунанкар и др. [18] исследовали влияние наножиidкости на основе растительного масла на токарную обработку подшипниковой стали в условиях MQL. Гибридная наножиidкость снижала шероховатость поверхности и температуру в зоне резания на 65 и 11 % соответственно.

Ибрагим и др. [19] исследовали влияние масла из рисовых отрубей на производительность обработки при точении стали AISI D3. Результаты экспериментов показали, что усилие резания снизилось на 18,48 %, износ инструмента – на 51,96 %, а шероховатость обработанной поверхности – на 12,84 %. Нгол [20] оценил эффективность механической обработки при точении стали 90CrSi в условиях MQL, добавляя наночастицы Al_2O_3 и MoS_2 в базовое жидкое соевое масло и эмульсию. Результаты показали, что точение в условиях MQL с наножиidкостью, изготовленной из MoS_2 , эмульсии и сои, могло значительно снизить силу резания.

Пасам и Неелам [21] изучали эффективность токарной обработки титановых сплавов с использованием гибридных смазочно-охлаждающих жидкостей на основе растительного масла. Разработанные СОЖ снижали силу и температуру резания, повышали микротвердость обрабатываемой поверхности и благоприятные остаточные напряжения. Усца [22] изучал эффективность механической обработки материала Dillimax 690T с использованием наножиidкости на основе нанокристаллов целлюлозы в условиях MQL. Согласно результатам испытаний, на-

блюдались значительные температура резания, шероховатость поверхности, износ инструмента и энергозатраты.

Сингх и др. [23] исследовали влияние концентрации наночастиц на токарную обработку хастеллоя C-276 в условиях MQL. Исследование показало, что более высокая концентрация наночастиц улучшила теплопроводность на 12,28 %, шероховатость поверхности – на 27,88 %, температуру – на 16,8 % и износ инструмента – на 22,5 %. Дас и др. [24] оценили эффективность обработки при точении стали AISI 4340 с использованием четырех различных составов наножидкостей в условиях MQL. Авторы обнаружили, что наножидкости CuO оказывают превосходное влияние на силу резания и износ инструмента. Бай и др. [25] оценили эффективность измельчения наножидкостей на основе Al_2O_3 и хлопкового масла в условиях MQL. Результаты показали, что шероховатость поверхности составляет 1,63 мкм при концентрации Al_2O_3 в хлопковом масле 0,5 масс. %.

Ученые пытались исследовать производительность обработки с использованием различных растительных масел, таких как подсолнечное, соевое и хлопковое. Однако производительность обработки с использованием кукурузного масла не была изучена. Целью этого исследования является использование гибридных наночастиц оксида меди и оксида алюминия (CuO/Al_2O_3) в сочетании с кукурузным маслом. В работе также исследовались теплофизические, антифрикционные и противоизносные свойства гибридных наножидкостей в различных концентрациях и их влияние на обработку стали SS 304.

Методы

Вначале приготовили смазочно-охлаждающую жидкость с использованием наночастиц CuO и Al_2O_3 диаметром 30 нм, поставляемых компанией Platomic Nanotech в Джаркханде, Индия. При смешивании кукурузного масла с наночастицами CuO и Al_2O_3 использовали соотношение 1:1,5. Для повышения стабильности в базовое масло добавили поверхностно-активное вещество додецилбензолсульфонат натрия (10 % наночастиц). Путем изменения массовой концентрации гибридных наночастиц в жидкости было создано в общей сложности шесть

гибридных СОЖ объемом 100 мл (0,4 %, 0,8 %, 1,2 %, 1,6 %, 2 % и 2,4 %). Однородную смесь получали путем перемешивания магнитной мешалкой в течение одного часа и ультразвуком в течение двух часов. Стабильность гибридной наножидкости оценивали с использованием традиционных методов осаждения. Все образцы гибридной наноСОЖ (HCF) были собраны в мерные банки объемом 10 мл и выдержаны в замороженном виде в течение 72 часов перед использованием. Удельная теплоемкость и теплопроводность были измерены с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии и анализатора Pro thermal соответственно. Для измерения вязкости разработанной наножидкости использовался реометр (производитель Anton Paar). Были проведены три независимых испытания, результаты которых были усреднены для определения вязкости. Для изучения трибологических свойств HCF проведены испытания методом «штифт – диск».

В кукурузном масле были исследованы различные массовые концентрации CuO/Al_2O_3 . Предпочтение отдано кукурузному маслу в качестве основы для приготовления наножидкостей из-за его доступности, экономичности и желаемых тепловых свойств. Кукурузное масло – это обычное растительное масло с хорошей термостабильностью и умеренной вязкостью, что делает его пригодным для диспергирования наночастиц и улучшения свойств теплопередачи в наножидкостях. В соответствии со стандартом ASTM G 99 во время испытания на трение были разрешены максимальные нагрузка 200 Н и скорость вращения 2000 об/мин. Для определения коэффициента трения с использованием схемы «штифт – диск» необходимо приложить штифт к вращающемуся диску в контролируемых условиях, чтобы измерить сопротивление трения между двумя поверхностями. Подход, использованный в этом исследовании, показан на рис. 1.

Для проведения экспериментов по токарной обработке использовали центровой токарный станок (Turn-master-35), показанный на рис. 2, со скоростью подачи приготовленных СОЖ (CuO/Al_2O_3) 10 мл/с. Заготовку из сплава SS 304 длиной 200 мм и диаметром 50 мм обрабатывали с помощью инструмента SNMG120408 NSU (твердосплавный с покрытием). Параметры

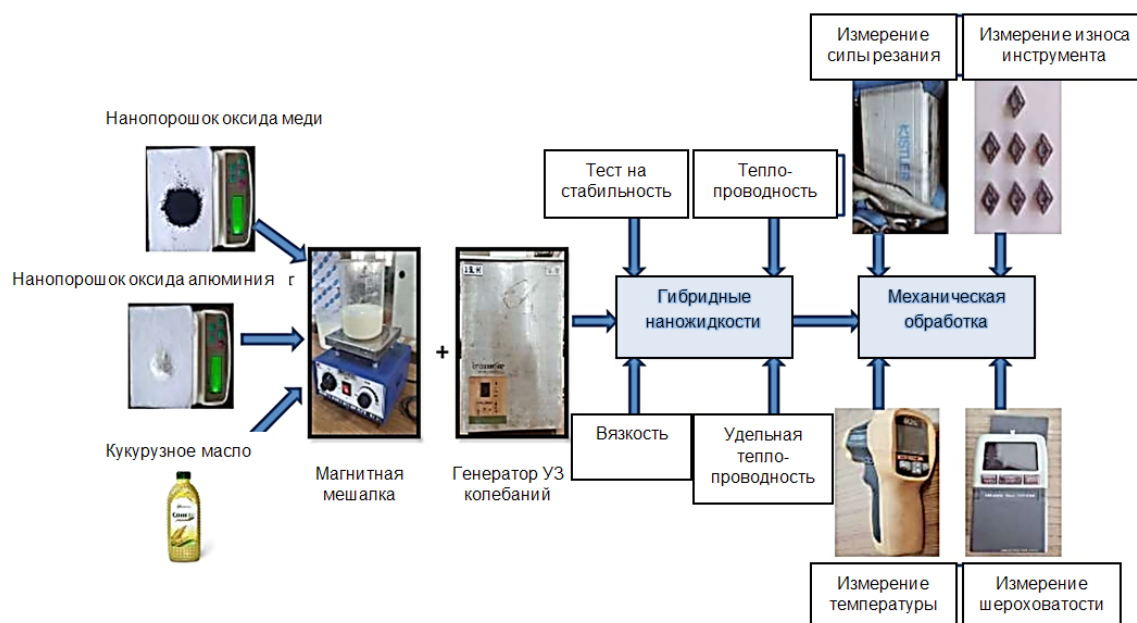


Рис. 1. Методология эксперимента

Fig. 1. Experimental methodology

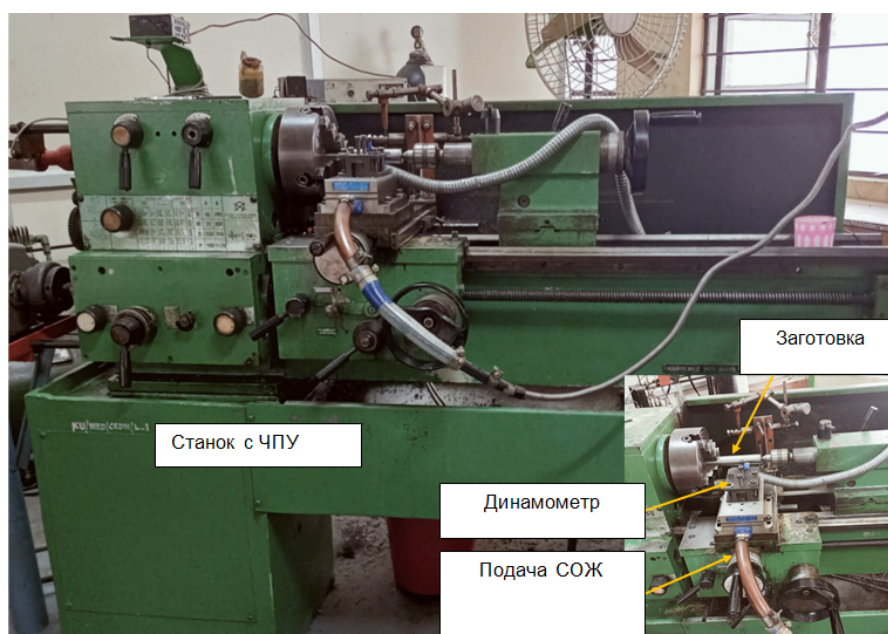


Рис. 2. Экспериментальная установка токарной обработки с минимальным количеством СОЖ

Fig. 2. Experimental setup for turning with MQL

резания были выбраны в соответствии с рекомендациями производителя для данного инструмента и заготовки. Подробная информация об экспериментальной установке приведена в табл. 1. Скорость резания, подача и глубина резания составляли соответственно 1000 об/мин, 90 мм/об, 0,15 мм; при обработке их поддерживали постоянными. В процессе токарной об-

работки силу резания, температуру на острие инструмента и чистоту обрабатываемой детали измеряли с помощью пьезоэлектрического динамометра, цифрового пирометра и прибора для определения шероховатости поверхности соответственно. Износ торца инструмента измеряли с помощью оптического микроскопа. В табл. 2 приведены параметры процесса и среда MQL.

Таблица 1

Table 1

Подробная информация об экспериментальной установке

Details of experimental setup

Параметр	Описание
Металлорежущий станок	Центровой токарный станок Turn-master-35 (изготовитель Kirloskar)
Материал заготовки	Сталь SS 304
Размер заготовки	Диаметр 50 мм, длина 200 мм
Патрон	PSBNR 2525M-12
Режущий инструмент	SNMG 120408 NSU (твердосплавный с покрытием)

Таблица 2

Table 2

Параметры процесса и среда MQL

Process parameters and MQL environment

Скорость (об/мин)	1000
Подача (мм/мин)	90
Глубина резания (мм)	0,3
Базовое масло	Кукурузное масло
ПАВ	SDBS
Концентрация ПАВ	10 (вес. % от наночастиц)
Наночастицы	Оксид меди/оксид алюминия ($\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$)
Гибридное соотношение	1:1,5
Массовая концентрация (%)	0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2; 2,4
СОЖ	Скорость подачи СОЖ (MQL) 10мл/сек
Измерение температуры	Цифровой пирометр
Измерение силы резания	Пьезоэлектрический динамометр Kistler 9257B
Измерение износа инструмента	Оптический микроскоп

Результаты и обсуждение

В этом исследовании путем визуального наблюдения была исследована стабильность гибридных наножидкостей $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ на основе кукурузного масла. После 96 часов подготовки образцов было замечено, что гибридные наножидкости $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ в соотношении 1:1,5 были наиболее стабильны при массовой доле 0,4 и 1,6. Увеличение концентрации привело к усилению агрегации, а следовательно, к снижению стабильности. Результаты испытания на стабильность гибридных наножидкостей $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ на основе кукурузного масла для различных весовых концентраций представлены на рис. 3.

На рис. 4, а показаны результаты определения вязкости при использовании различных концентраций гибридных наножидкостей $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Вязкость можно повысить, используя гибридные наночастицы помимо базового масла с концентрацией частиц 0,4–2,4 масс. %. Гибридная наножидкость $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ становится более вязкой в результате увеличения концентрации частиц в жидкости. Вязкость раствора снижается с повышением температуры. В результате снижения межмолекулярного сцепления между частицами при более высоких температурах вязкость становится менее значительной.

На рис. 4, б показано влияние температуры на теплопроводность. На рис. 4, б также пока-

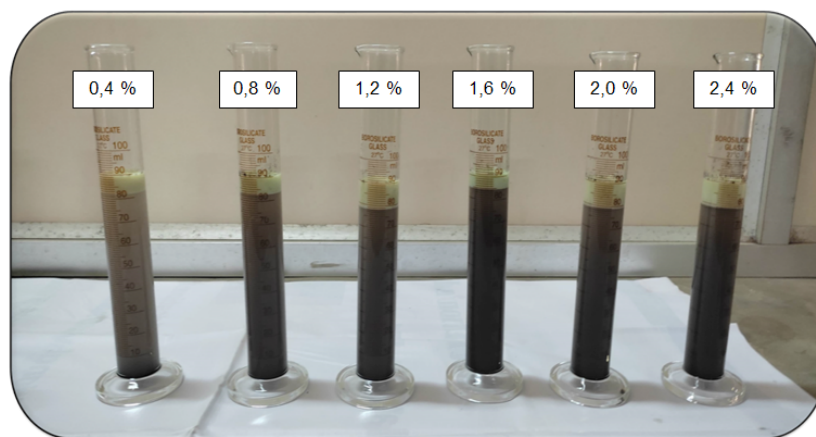


Рис. 3. Результаты 96-часового седиментационного эксперимента

Fig. 3. Results of a 96-hour sedimentation test

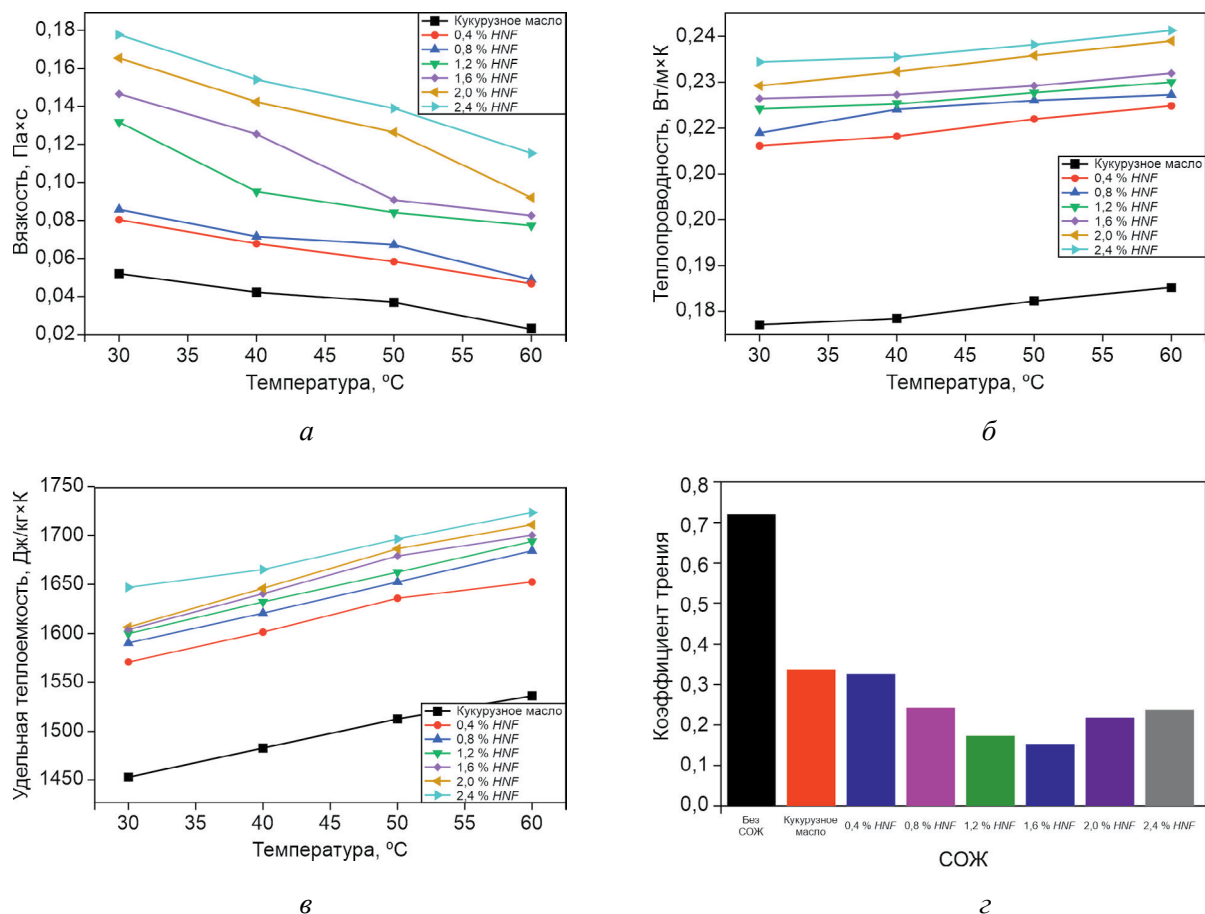


Рис. 4. Вязкость (а); теплопроводность (б); удельная теплоемкость (в); коэффициент трения (г)

Fig. 4. Viscosity (a); thermal conductivity (б); specific heat (в); coefficient of friction (г)

зано, что теплопроводность материала улучшилась благодаря добавлению наночастиц за счет броуновского движения и огромной площади поверхности наножидкостей.

На рис. 4, в показано, что экспериментальные значения удельной теплоемкости $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$

HCF увеличиваются при повышении концентрации частиц (в процентах по массе). Удельная теплоемкость увеличивается при повышении концентрации наночастиц и температуры. При концентрации наночастиц 2,4 масс. % удельная теплоемкость гибридной смазочно-охлажда-

ющей жидкости $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ на 11,86 % выше, чем у базового масла. Возможно, это объясняется высокой стабильностью НСФ. Теплопроводность и удельная теплоемкость НСФ были улучшены, что позволяет им более эффективно отводить тепло. Трибологические свойства гибридных наножидкостей можно оценить, используя схему трения «штифт – диск». Благодаря смешиванию гибридных наночастиц оксида меди и оксида алюминия с кукурузным маслом между штифтом и диском образуется тонкая трибопленка. Толщина пленки и полученный результат становятся больше при увеличении количества наночастиц до определенного соотношения.

На рис. 4, *з* показана закономерность уменьшения коэффициента трения до 1,6 масс. %, а затем наблюдается закономерность увеличения коэффициента трения после 1,6 масс. %. После увеличения до 1,6 масс. % коэффициент трения пропорционален содержанию наночастиц, это свидетельствует о том, что смазочные свойства разработанной смазочно-охлаждающей жидкости в конечном итоге снижаются. Причиной является скопление наночастиц, наблюдаемое в результате осаждения. Минимальный коэффициент трения, равный 0,124, наблюдается при содержании 1,6 масс. % гибридных наножидкостей CuO и Al_2O_3 .

В условиях непрерывного резания электрический динамометр с пьезодатчиком, установленный на токарном станке, измерял силу резания в режиме реального времени. Измеренные силы резания показаны на рис. 5, *а* для различных условий смазки. Стабильно низкие концентрации частиц снижают все силы, в то время как более высокие концентрации лишь незначительно увеличивают их.

При повышении концентрации наночастиц образуется плотный слой или взвесь, что увеличивает усилие резания. При содержании $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ в 1,6 масс. % сила резания снижается на 32 %. Это происходит за счет образования адгезивного покрытия между поверхностями скольжения благодаря слоистой наноразмерной структуре Al_2O_3 , которая также делает металлические поверхности более легко поглощающими. Это видно по коэффициенту трения на рис. 4, *з*. НСФ $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ также имеет более высокую вязкость, чем базовая жидкость. Толстая пленка, которая

образуется во время резки, в конечном итоге снижает давление резания на контактирующих поверхностях.

На температуру резания может влиять тепло, выделяющееся на границе раздела стружка-инструмент. Для определения температуры НСФ $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ использовали цифровой пирометр. На рис. 5, *б* показаны различные условия смазки, оказывающие влияние на температуру резания. Температура резания была значительно снижена при использовании гибридной наножидкости $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Снижение температуры резания может быть достигнуто при концентрации оксидов меди и алюминия до 2,4 %. По сравнению с другими концентрациями образец, содержащий 1,6 масс. % $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, имеет самую низкую температуру резания (67 °С). Гибридная наноСОЖ с содержанием $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,6 масс. % снижает температуру резания на 43,4 % по сравнению с традиционной смазочно-охлаждающей жидкостью. Используя эту НСФ, можно повысить теплопроводность и коэффициент теплопередачи наноСОЖ $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ для снижения температуры в зоне резания.

Эффективность смазочно-охлаждающих жидкостей определяется их способностью снижать шероховатость поверхности заготовки. На рис. 5, *в* показана измеренная шероховатость поверхности. С увеличением концентрации наночастиц значение шероховатости (R_a) уменьшается с 5,4 до 1,6 %, а затем увеличивается по мере увеличения концентрации. Это может быть результатом агрегации наночастиц. Шероховатость поверхности (R_a) при использовании НСФ $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ снижается на 27,7 и 23,8 % соответственно по сравнению с сухим резанием и резанием при использовании базового масла в качестве СОЖ. Из-за минимального сопротивления сдвигу между инструментом и обрабатываемой деталью, обусловленного сродством инструмента к металлическим поверхностям, трение между ними сведено к минимуму.

Измерение износа по задней поверхности резца помогает прогнозировать оставшийся срок службы режущего инструмента. Измеряя износ по задней поверхности резца, операторы могут отслеживать состояние инструмента в режиме реального времени. Можно увеличить срок службы инструмента, уменьшив его износ. На рис. 5, *б* показано исследование износа ин-

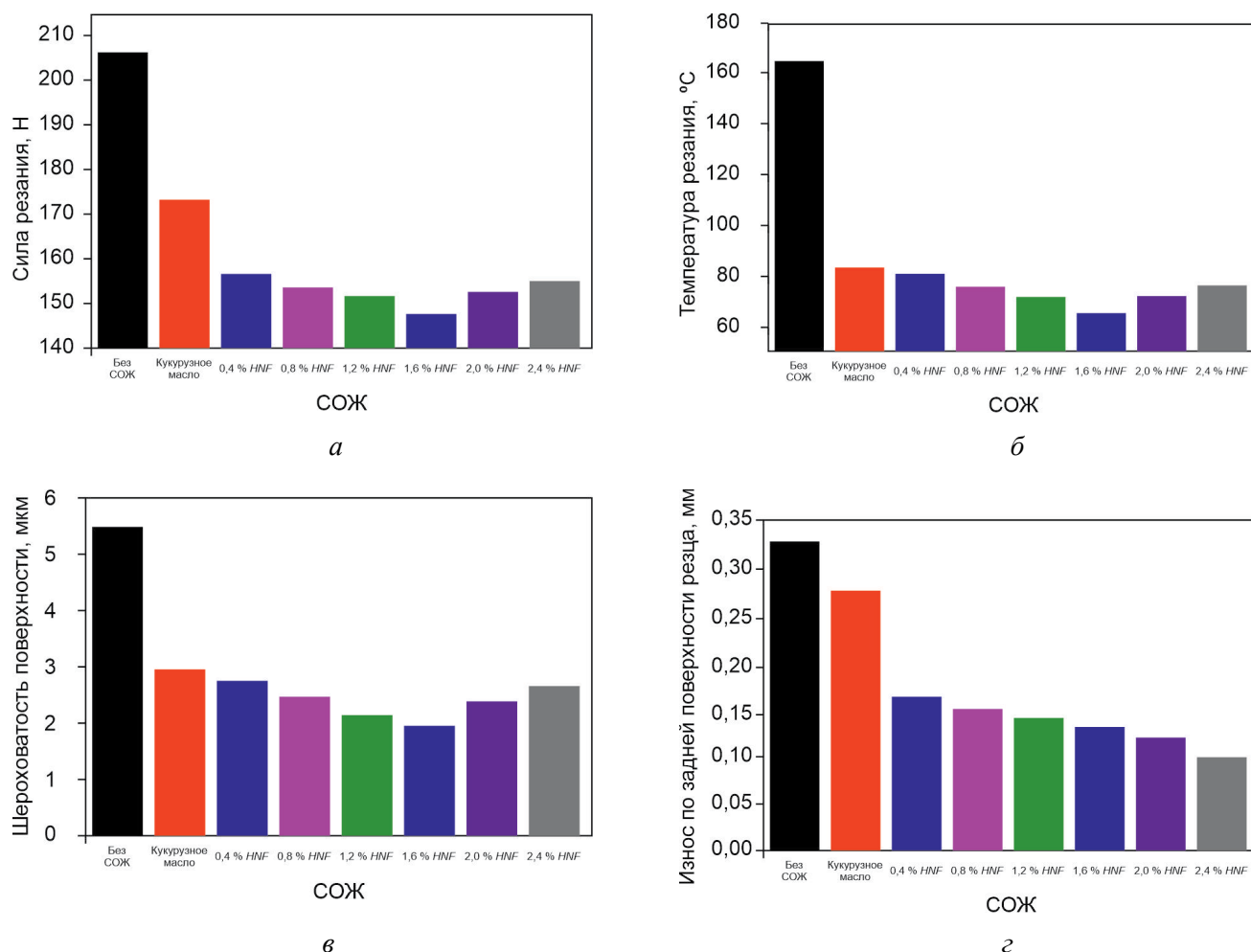


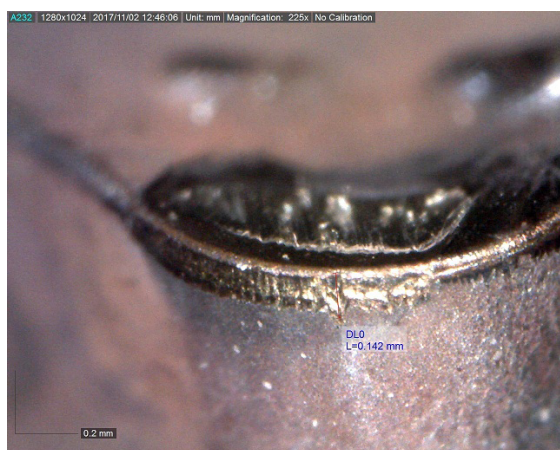
Рис. 5. Влияние состава наноСОЖ на силу резания (а); температуру резания (б); шероховатость поверхности (в); износ по задней поверхности резца (г)

Fig. 5. The effect of the composition of the coating on cutting force (a); cutting temperature (б); surface roughness (в); tool flank wear (г)

струмента при различных условиях смазки. На рис. 6, а, б показан износ инструмента при 2%-й гибридной наножидкости и 0,8%-й гибридной наножидкости соответственно. Благодаря использованию кукурузного масла с более высоким содержанием $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, чем в базовом масле, значительно снижается износ рабочей поверхности инструмента. Меньшее трение означает меньшее нагревание и меньший износ инструмента, что является положительным моментом. В результате между обрабатываемой деталью и инструментом образуется очень тонкий слой. В качестве альтернативы снижение износа рабочей поверхности инструмента может быть обусловлено синергетическим сочетанием шарикоподшипниковых свойств наночастиц CuO и Al_2O_3 .

Закключение

В этом исследовании наножидкости на основе кукурузного масла с добавлением $\text{CuO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ в различных концентрациях были получены и протестированы на эффективность токарной обработки. Были исследованы сила резания, шероховатость поверхности и износ инструмента. Результаты показывают, что использование гибридных наножидкостей в условиях MQL может улучшить производительность обработки стали SS 304. Во всех испытаниях HCF $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ с массовой долей 0,4 и 1,6 % показали незначительное осаждение. Такие свойства смазочно-охлаждающей жидкости с добавлением $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, как удельная теплоемкость, вязкость и теплопроводность, улучшаются за счет увеличения концентрации частиц и температуры. Раз-



а



б

Рис. 6. Износ инструмента при использовании 2%-й гибридной наножидкости (а); износ инструмента при использовании 0,8%-й гибридной наножидкости (б)

Fig. 6. Tool wear when using 2 % hybrid nanofluid (a); tool wear when using 0.8 % hybrid nanofluid (б)

работанная смазочно-охлаждающая жидкость снижает коэффициент трения по сравнению с сухим точением и использованием в качестве СОЖ базового масла в концентрации 1,6 масс. %. Наибольший износ инструмента наблюдается при сухом точении, за ним следует точение с использованием кукурузного масла. При концентрации 1,6 масс. % гибридная наноСОЖ $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ снижает усилие резания, температуру и улучшает качество поверхности. При использовании гибридной наножидкости с содержанием наножидкости 2,4 % по массе наблюдается низкий износ инструмента.

Список литературы

1. Performance investigations for sustainability assessment of Hastelloy C-276 under different machining environments / G. Singh, V. Aggarwal, S. Singh, B. Singh, S. Sharma, J. Singh, C. Li, G. Królczyk, A. Kumar, S.M. Eldin // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9 (3). – DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13933.
2. Bedi S.S., Behera G.C., Datta S. Effects of cutting speed on MQL machining performance of AISI 304 stainless steel using uncoated carbide insert: application potential of coconut oil and rice bran oil as cutting fluids // *Arabian Journal for Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 45. – P. 8877–8893. – DOI: 10.1007/s13369-020-04554-y.
3. Machining performance on SS304 using nontoxic, biodegradable vegetable-based cutting fluids / J.E. Eswara, B.N. Raju, C. Prasad, B.S.S.P. Sankar // *Chemical Data Collections*. – 2022. – Vol. 42. – DOI: 10.1016/j.cdc.2022.100961.
4. Ambhore N., Kamble D., Agrawal D. Experimental investigation of induced tool vibration in turning of hardened AISI52100 steel // *Journal of Vibration Engineering & Technologies*. – 2022. – Vol. 10. – P. 1679–1689. – DOI: 10.1007/s42417-022-00473-4.
5. Roles of new bio-based nanolubricants towards eco-friendly and improved machinability of Inconel 718 alloys / M.A.M. Ali, A.I. Azmi, M.N. Murad, M.Z.M. Zain, A.N.M. Khalil, N.A. Shuaib // *Tribology International*. – 2020. – Vol. 144. – DOI: 10.1016/j.triboint.2019.106106.
6. Singh G., Aggarwal V., Singh S. Critical review on ecological, economical and technological aspects of minimum quantity lubrication towards sustainable machining // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 271. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122185.
7. Kumar M.S., Krishna V.M. An investigation on turning AISI 1018 steel with hybrid biodegradable nanofluid/MQL incorporated with combinations of $\text{CuO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ nanoparticles // *Materails Today: Proceedings*. – 2020. – Vol. 24. – P. 1577–1584. – DOI: 10.1016/j.matpr.2020.04.478.
8. Zhang S., Li J.F., Wang Y.W. Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions // *Journal of Cleaner Production*. – 2012. – Vol. 32. – P. 81–87. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.03.014.
9. Rajaguru J., Arunachalam N. A comprehensive investigation on the effect of flood and MQL coolant on the machinability and stress corrosion cracking of super duplex stainless steel // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2019. – Vol. 276. – DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2019.116417.
10. Tefera A.G., Sinha D.K., Gupta G. Experimental investigation and optimization of cutting parameters



during dry turning process of copper alloy // *Journal of Engineering and Applied Science*. – 2023. – Vol. 70 (1). – P. 145. – DOI: 10.1186/s44147-023-00314-5.

11. Nune M.M.R., Chaganti P.K. Development, characterization, and evaluation of novel eco-friendly metal working fluid // *Measurement*. – 2019. – Vol. 137. – P. 401–416. – DOI: 10.1016/j.measurement.2019.01.066.

12. Optimizing sustainable machining processes: a comparative study of multi-objective optimization techniques for minimum quantity lubrication with natural material derivatives in turning SS304 / J.E. Manikanta, B.N. Raju, N. Ambhore, S. Santosh // *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. – 2024. – Vol. 18 (2). – P. 789–800. – DOI: 10.1007/s12008-023-01706-w.

13. Heat transfer efficiency of Al_2O_3 -MWCNT/thermal oil hybrid nanofluid as a cooling fluid in thermal and energy management applications: an experimental and theoretical investigation / A. Asadi, M. Asadi, A. Rezaniakolaei, L.A. Rosendahl, M. Afrand, S. Wongwises // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2017. – Vol. 117. – P. 474–486. – DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.036.

14. Surface integrity optimization of high speed dry milling UD-CF/PEEK based on specific cutting energy distribution mechanisms effected by impact and size effect / Y. Song, H. Cao, D. Qu, H. Yi, X. Kang, X. Huang, J. Zhou, C. Yan // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2022. – Vol. 79. – P. 731–744. – DOI: 10.1016/j.jmapro.2022.05.024.

15. Investigation on the effect of hybrid nanofluid in MQL condition in orthogonal turning and a sustainability assessment / E. Usluer, U. Emiroğlu, Y.F. Yapan, G. Kshitij, N. Khanna, M. Sarıkaya, A. Uysal // *Sustainable Materials and Technologies*. – 2023. – Vol. 36 (16). – P. e00618. – DOI: 10.1016/j.susmat.2023.e00618.

16. Evaluation of machining characteristics of SiO_2 doped vegetable based nanofluids with Taguchi approach in turning of AISI 304 steel / A.Ç. Şencan, Ş. Şirin, E.N.S. Saraç, B. Erdoğan, M.R. Koçak // *Tribology International*. – 2024. – Vol. 191. – DOI: 10.1016/j.triboint.2023.109122.

17. Machinability assessment of hybrid nano cutting oil for minimum quantity lubrication (MQL) in hard turning of 90CrSi steel / T.B. Ngoc, T.M. Duc, N.M. Tuan, V.L. Hoang, T.T. Long // *Lubricants*. – 2023. – Vol. 11 (2). – P. 54. – DOI: 10.3390/lubricants11020054.

18. Junankar A.A., Yashpal Y., Purohit J.K. Experimental investigation to study the effect of synthesized and characterized monotype and hybrid nanofluids in minimum quantity lubrication assisted turning of bearing steel // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. – 2022. – Vol. 236 (9). – P. 1794–1813.

19. Evaluating the effect of minimum quantity lubrication during hard turning of AISI D3 steel using vegetable oil enriched with nano-additives / A.M.M. Ibrahim, M.A. Omer, S.R. Das, W. Li, M.S. Alsoufi, A. Elsheikh // *Alexandria Engineering Journal*. – 2022. – Vol. 61 (12). – P. 10925–10938.

20. Ngol M.T. Influence of technology parameters on the total cutting force in the hard turning process with NF MQL and NF MQCL method using nanofluids // *Tribology in Industry*. – 2023. – Vol. 44 (2). – P. 272–284. – DOI: 10.24874/ti.1453.02.23.05.

21. Pasam V.K., Neelam P. Effect of vegetable oil-based hybrid nano-cutting fluids on surface integrity of titanium alloy in machining process // *Smart and Sustainable Manufacturing Systems*. – 2020. – Vol. 4 (1). – P. 1–18.

22. Usca Ü.A. The effect of cellulose nanocrystal-based nanofluid on milling performance: an investigation of dillimax 690T // *Polymers*. – 2023. – Vol. 15 (23). – P. 4521. – DOI: 10.3390/polym15234521.

23. A novel study on the influence of graphene-based nanofluid concentrations on the response characteristics and surface-integrity of Hastelloy C-276 during minimum quantity lubrication / G. Singh, S. Sharma, A.H. Seikh, C. Li, Y. Zhang, S. Rajkumar, A. Kumar, R. Singh, S.M. Eldin // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9 (9). – P. e19175. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e19175.

24. Das A., Patel S.K., Das S.R. Performance comparison of vegetable oil based nanofluids towards machinability improvement in hard turning of HSLA steel using minimum quantity lubrication // *Mechanics & Industry*. – 2019. – Vol. 20 (5). – P. 506. – DOI: 10.1051/meca/2019036.

25. Tribological performance of different concentrations of Al_2O_3 nanofluids on minimum quantity lubrication milling / X. Bai, J. Jiang, C. Li, L. Dong, H.M. Ali, S. Sharma // *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. – 2023. – Vol. 36 (1). – P. 11.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Investigation of vegetable-based hybrid nanofluids on machining performance in MQL turning

Javvadi Eswara Manikanta^{1, a}, Nitin Ambhore^{2, b, *}, Sonal Shamkuwar^{3, c},
Naveen Kumar Gurajala^{4, d}, Santha Rao Dakarapu^{5, e}

¹ Department of Mechanical Engineering, Shri Vishnu Engineering College for Women (A), Bhimavaram, Andhra Pradesh, 534202, India

² Department of Mechanical Engineering, Vishwakarma Institute of Technology, SPPU, Maharashtra, Pune 411037, India

³ Department of Mechanical Engineering, Vishwakarma Institute of Information Technology, SPPU, Maharashtra, Pune 411048, India

⁴ Department of Mechanical Engineering, CMR College of Engineering and Technology, Hyderabad, Telangana, 501401, India

⁵ Department of Mechanical Engineering, Visakha Institute of Engineering and Technology, Narava, Visakhapatnam, 530027, India

^a <https://orcid.org/0000-0002-0881-4899>, manijem66@gmail.com; ^b <https://orcid.org/0000-0001-8468-8057>, nitin.ambhore@viit.ac.in;

^c <https://orcid.org/0000-0001-7633-0813>, sonal.shamkuwar@viit.ac.in; ^d <https://orcid.org/0000-0003-0829-7622>, naveenkumargurijala84@gmail.com;

^e <https://orcid.org/0000-0001-7679-7448>, dsantharao@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 07 August 2024

Revised: 21 August 2024

Accepted: 17 September 2024

Available online: 15 December 2024

Keywords:

Nanofluid

Lubrication

Machining Performance

Turning

ABSTRACT

Introduction. Vegetable-based hybrid nanofluids are increasingly important in the context of *Minimum Quantity Lubrication (MQL)* turning due to its enhanced lubrication properties and environmental benefits. These nanofluids, which typically combine vegetable oils with nanoparticles like graphite or titanium dioxide, improve machining performance by reducing friction and cutting forces, leading to better surface finish and tool life. **The purpose of the work.** Coated carbide tools are widely used for machining *SS 304* stainless steel due to its wear resistance and high temperature resistance. The purpose of the current work is to evaluate the machining performance of *SS 304* steel under different concentrations of hybrid nanofluids. **The methods of investigation.** In this study, an attempt was made to use copper oxide/aluminum oxide ($\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) hybrid nanoparticles mixed with corn oil. A total of six hybrid cutting fluids with 100 ml volume and different mass concentration (0.4 %, 0.8 %, 1.2 %, 1.6 %, 2 %, and 2.4 %) were developed and its performance on *SS 304* steel was investigated. **Results and discussion.** The finding revealed that with an increase in the mass concentration, the thermophysical properties improve. In addition, it is shown that friction decreases with an increase in the particle concentration to 1.6 wt. %. At a concentration of 1.6 wt. % of $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ hybrid cutting nanofluid showed the best performance characteristics. This study also provides a comparison with dry turning. The highest tool wear was observed in dry turning, followed by turning using corn oil. A 32 % reduction in cutting force is observed. The surface roughness when using $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ hybrid cutting nanofluid is reduced by 27.7 %. However, when using a hybrid nanofluid (2.4 % of $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$), low tool wear is observed. In this study, the possibility of using vegetable-based hybrid nanofluids for metal turning with a minimum amount of lubricant is considered.

For citation: Manikanta J.E., Ambhore N., Shamkuwar S., Gurajala N.K., Dakarapu S.R. Investigation of vegetable-based hybrid nanofluids on machining performance in MQL turning. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2024, vol. 26, no. 4, pp. 6–18. DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.4-6-18. (In Russian).

References

1. Singh G., Aggarwal V., Singh S., Singh B., Sharma S., Singh J., Li C., Królczyk G., Kumar A., Eldin S.M. Performance investigations for sustainability assessment of Hastelloy C-276 under different machining environments. *Heliyon*, 2023, vol. 9 (3). DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13933.

* Corresponding author

Ambhore Nitin, Ph.D. (Engineering), Assistant Professor
Vishwakarma Institute of Technology,
Pune - 411037, Maharashtra, India
Tel.: +91-2026950441, e-mail: nitin.ambhore@viit.ac.in

2. Bedi S.S., Behera G.C., Datta S. Effects of cutting speed on MQL machining performance of AISI 304 stainless steel using uncoated carbide insert: application potential of coconut oil and rice bran oil as cutting fluids. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2020, vol. 45, pp. 8877–8893. DOI: 10.1007/s13369-020-04554-y.
3. Eswara J.E., Raju B.N., Prasad C., Sankar B.S.S.P. Machining performance on SS304 using nontoxic, biodegradable vegetable-based cutting fluids. *Chemical Data Collections*, 2022, vol. 42. DOI: 10.1016/j.cdc.2022.100961.
4. Ambhore N., Kamble D., Agrawal D. Experimental investigation of induced tool vibration in turning of hardened AISI52100 steel. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 2022, vol. 10, pp. 1679–1689. DOI: 10.1007/s42417-022-00473-4.
5. Ali M.A.M., Azmi A.I., Murad M.N., Zain M.Z.M., Khalil A.N.M., Shuaib N.A. Roles of new bio-based nanolubricants towards eco-friendly and improved machinability of Inconel 718 alloys. *Tribology International*, 2020, vol. 144. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.106106.
6. Singh G., Aggarwal V., Singh S. Critical review on ecological, economical and technological aspects of minimum quantity lubrication towards sustainable machining. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 271. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122185.
7. Kumar M.S., Krishna V.M. An investigation on turning AISI 1018 steel with hybrid biodegradeable nanofluid/ MQL incorporated with combinations of CuO-Al₂O₃ nanoparticles. *Materails Today: Proceedings*, 2020, vol. 24, pp. 1577–1584. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.04.478.
8. Zhang S., Li J.F., Wang Y.W. Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions. *Journal of Cleaner Production*, 2012, vol. 32, pp. 81–87. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.03.014.
9. Rajaguru J., Arunachalam N. A comprehensive investigation on the effect of flood and MQL coolant on the machinability and stress corrosion cracking of super duplex stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 2020, vol. 276. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2019.116417.
10. Tefera A.G., Sinha D.K., Gupta G. Experimental investigation and optimization of cutting parameters during dry turning process of copper alloy. *Journal of Engineering and Applied Science*, 2023, vol. 70 (1), p. 145. DOI: 10.1186/s44147-023-00314-5.
11. Nune M.M.R., Chaganti P.K. Development, characterization, and evaluation of novel eco-friendly metal working fluid. *Measurement*, 2019, vol. 137, pp. 401–416. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.01.066.
12. Manikanta J.E., Raju B.N., Ambhore N., Santosh S. Optimizing sustainable machining processes: a comparative study of multi-objective optimization techniques for minimum quantity lubrication with natural material derivatives in turning SS304. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 2024, vol. 18 (2), pp. 789–800. DOI: 10.1007/s12008-023-01706-w.
13. Asadi A., Asadi M., Rezaniakolaei A., Rosendahl L.A., Afrand M., Wongwises S. Heat transfer efficiency of Al₂O₃-MWCNT/thermal oil hybrid nanofluid as a cooling fluid in thermal and energy management applications: an experimental and theoretical investigation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2017, vol. 117, pp. 474–486. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.036.
14. Song Y., Cao H., Qu D., Yi H., Kang X., Huang X., Zhou J., Yan C. Surface integrity optimization of high speed dry milling UD-CF/PEEK based on specific cutting energy distribution mechanisms effected by impact and size effect. *Journal of Manufacturing Processes*, 2022, vol. 79, pp. 731–744. DOI: 10.1016/j.jmapro.2022.05.024.
15. Usluer E., Emiroğlu U., Yapan Y.F., Kshitij G., Khanna N., Sarıkaya M., Uysal A. Investigation on the effect of hybrid nanofluid in MQL condition in orthogonal turning and a sustainability assessment. *Sustainable Materials and Technologies*, 2023, vol. 36 (16), p. e00618. DOI: 10.1016/j.susmat.2023.e00618.
16. Şencan A.Ç., Şirin Ş., Saraç E.N.S., Erdoğan B., Koçak M.R. Evaluation of machining characteristics of SiO₂ doped vegetable based nanofluids with Taguchi approach in turning of AISI 304 steel. *Tribology International*, 2024, vol. 191. DOI: 10.1016/j.triboint.2023.109122.
17. Ngoc T.B., Duc T.M., Tuan N.M., Hoang V.L., Long T.T. Machinability assessment of hybrid nano cutting oil for minimum quantity lubrication (MQL) in hard turning of 90CrSi steel. *Lubricants*, 2023, vol. 11 (2), p. 54. DOI: 10.3390/lubricants11020054.
18. Junankar A.A., Yashpal Y., Purohit J.K. Experimental investigation to study the effect of synthesized and characterized monotype and hybrid nanofluids in minimum quantity lubrication assisted turning of bearing steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 2022, vol. 236 (9), pp. 1794–1813.

19. Ibrahim A.M.M., Omer M.A., Das S.R., Li W., Alsoufi M.S., Elsheikh A. Evaluating the effect of minimum quantity lubrication during hard turning of AISI D3 steel using vegetable oil enriched with nano-additives. *Alexandria Engineering Journal*, 2022, vol. 61 (12), pp. 10925–10938.
20. Ngol M.T. Influence of technology parameters on the total cutting force in the hard turning process with NF MQL and NF MQCL method using nanofluids. *Tribology in Industry*, 2023, vol. 44 (2), pp. 272–284. DOI: 10.24874/ti.1453.02.23.05.
21. Pasam V.K., Neelam P. Effect of vegetable oil-based hybrid nano-cutting fluids on surface integrity of titanium alloy in machining process. *Smart and Sustainable Manufacturing Systems*, 2020, vol. 4 (1), pp. 1–18.
22. Usca Ü.A. The effect of cellulose nanocrystal-based nanofluid on milling performance: an investigation of dillimax 690T. *Polymers*, 2023, vol. 15 (23), p. 4521. DOI: 10.3390/polym15234521.
23. Singh G., Sharma S., Seikh A.H., Li C., Zhang Y., Rajkumar S., Kumar A., Singh R., Eldin S.M. A novel study on the influence of graphene-based nanofluid concentrations on the response characteristics and surface-integrity of Hastelloy C-276 during minimum quantity lubrication. *Heliyon*, 2023, vol. 9 (9), p. e19175. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e19175.
24. Das A., Patel S.K., Das S.R. Performance comparison of vegetable oil based nanofluids towards machinability improvement in hard turning of HSLA steel using minimum quantity lubrication. *Mechanics & Industry*, 2019, vol. 20 (5), p. 506. DOI: 10.1051/meca/2019036.
25. Bai X., Jiang J., Li C., Dong L., Ali H.M., Sharma S. Tribological performance of different concentrations of Al_2O_3 nanofluids on minimum quantity lubrication milling. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2023, vol. 36 (1), p. 11.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).