

Н.Ю. Калиниченко, С.Е. Маркович, С.А. Калиниченко, Харьков, Украина

**АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ СОТС И НАНОМАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ПРИМЕНЕНИЮ В ТЕХНОЛОГИИ ПЛАНЕТАРНОГО ШЛИФОВАНИЯ**

В роботі проводиться огляд сучасних тенденцій застосування змащувально-охолоджувальних технологічних рідин (ЗОТР) з додаванням деяких домішок і наномодифікаторів при обробці деталей авіаційних двигунів із важко оброблювальних матеріалів. Наведені практичні результати застосування модифікованих ЗОТР, проведено опис механізму структуризації, а також обладнання для підготовки, активації і подачі ЗОТР у зону різання.

Ключові слова: змащувально-охолоджувальна технологічна рідина (ЗОТР), поверхнево-активна речовина (ПАВ), наночастка, присадка, планетарне шліфування, глибоке шліфування, абразивна обробка

В работе проводится обзор современных тенденций применения смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС) с добавлением различных добавок и наномодификаторов при обработке деталей авиационных двигателей из труднообрабатываемых материалов. Представлены практические результаты применения модифицированных СОТС, описан механизм структуризации, а так же оборудование для подготовки, активации и подачи СОТС в зону резания.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС), поверхностно-активные вещества (ПАВ), наночастица, присадка, планетарное шлифование, глубинное шлифование, абразивная обработка.

This paper represents review of modern trends in application of coolant fluids with addition of different additive nano particles during machining process of aviation parts, made of hard material. Results of modified coolant fluids practical application are presented. Mechanism of structurization of modified coolant fluids is described, as well as equipment for its preparation, activation and supply.

Keywords: cooling fluids, surfactant species, nanoparticle, addition agent, planetary grinding, creep-feed grinding, abrasive machining

**Введение**

В авиационном машиностроении к конструкционным материалам, используемым в авиационном двигателестроении предъявляются высокие эксплуатационные требования. Для достижения требуемой точности и показателей качества, увеличения износостойкости контактирующих поверхностей и снижения сил резания при абразивной обработке планетарно - шлифовальной головкой применяют различные СОТС, подаваемые в зону контакта.

**Постановка задачи и цель исследования**

Основная цель подачи СОТС в зону резания заключается в осуществлении смазывающего, моющего, охлаждающего и диспергирующего действия. Современные тенденции развития составов СОТС направлены преимущественно на реализацию в зоне резания жидкостного трения, т.е. скольжение поверхностей трения заготовок с абразивным инструментом заменяются

скольжением жидкости со своими реологическими свойствами. Однако в реальных условиях сплошность пленки всегда нарушается хотя бы в момент остановки и запуска процесса резания. В этом случае трение переходит в режим граничного.

**Решение проблемы**

В работе [1] проводились эксперименты с применением четырех видов СОТС: синтетическая жидкость Simtech 500 (5-% концентрации на водной основе), керосин, соевое масло и рабочая жидкость CANMIST (высокоочищенное масло на жироспиртовой основе). В качестве наномодификатора применялись нано - и микрочастицы дисульфида молибдена MoS<sub>2</sub> (рис.1) [1] величиной не более 100 нм совместно с эмульгаторами триглицеридом (на основе рапсового масла) и лецитином. В таблице 1 представлены составы экспериментальных СОТС [1].

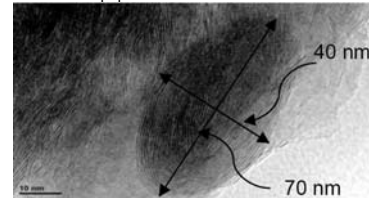


Рисунок 1 – Частица дисульфида молибдена MoS<sub>2</sub>

Таблица 1 – Составы применяемых в экспериментах СОЖ

	Базовая СОТС	Количество MoS <sub>2</sub> , %	Эмульгатор Лецитин, %
	Керосин	Без добавок	–
Низкой концентрации		2	10
Высокой концентрации		8	40
Соевое масло	Без добавок	–	–
	Низкой концентрации	2	10
	Высокой концентрации	8	40
Simtech	Без добавок	–	–
	Низкой концентрации	2	10
	Высокой концентрации	8	40

Эксперименты проводились на плоскошлифовальном станке Chevalier Model Smart-B818 электрокорундовым кругом 32A46-HVBER, скорость круга 30 м/с, глубина резания 0,010 мм, продольная подача 2400 мм/мин, материал заготовки – ковкий чугун 100-70-02, твердостью 48...52 HRC. В результате проведенных экспериментов, с помощью профилометра Taylor Hobson Taylorsurf были определены зависимости: шероховатость обработанной поверхности вдоль и поперек направления обработки и коэффициент шлифования K<sub>ш</sub> от процентного содержания нано- и микрочастиц в общем объеме СОТС, а так же от концентрации самой СОТС (рис. 2, 3, 4, 5) [1].

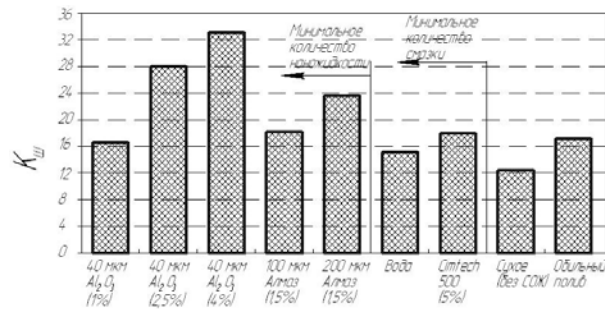


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента шлифования от содержания нано- микрочастиц в СОТС

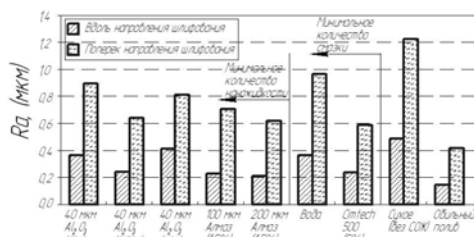


Рисунок 3 – Результаты полученных шероховатостей в продольном и поперечном направлениях от концентрации нано- и микрочастиц в СОТС

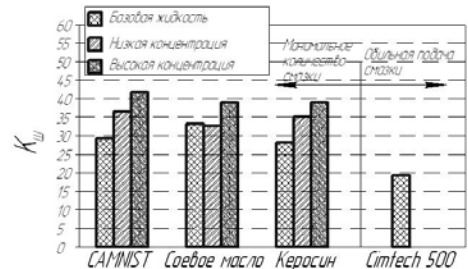


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента шлифования от концентрации СОТС и способа ее подачи

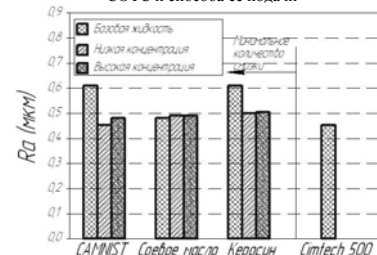


Рисунок 5 – Результаты полученных шероховатостей от концентрации СОТС и способа ее подачи

В исследовательской работе [2] в качестве добавок к СОЖ предлагаются серо-, хлор-, фосфор и азотсодержащие органические соединения. Большое внимание уделяется применению присадок алкилфенольного типа, например, 2,6-ди-третбутил-4-метилфенол (нонол), 4,4-метиленис (4-метил-6-трет.бутилфенол) - НГ-2246 и т.д., а также различным серосодержащим присадкам. Среди алкилзамещенных фенолов эффективным функциональным действием, в особенности, ингибирующим, обладают экранированные фенолы. Серосодержащие присадки представляют интерес благодаря сочетанию антиокислительных, противозадирных и антикоррозионных свойств с хорошей растворимостью в масле. В своей работе автор [2] предлагает в качестве присадки к масляным СОЖ использовать синтетизованную на основе доступных промышленных продуктов (фенол, стирол) присадку - 4-гидрокси-3,5-ди-α-метилбензилмеркаптофенол. Синтетизованное соединение обладает вы-

сокими ингибирующими, причем ингибирующий эффект проявляется уже при низких концентрациях в маслах (0,1-1%), а также антикоррозионными свойствами.

Для оценки эксплуатационно-технологических свойств исследуемый состав СОЖ ИХП-76 был испытан на станке ЗА64Д при шлифовании образцов из стали ШХ-15 и Р9Ф5 абразивным кругом ПП 150 × 12 × 32 характеристики 24А25С12К5. режим обработки: скорость вращения шлифовального круга - 40 м/с, время шлифования - 30 с. Оценку эффективности СОЖ определяли по критериям: сьем металла (в мм<sup>3</sup>), износ круга (в мм<sup>3</sup>) и шероховатость обработанной поверхности Ra (в мкм).

Наличие прижога на шлифованной поверхности и оценка состояния поверхности круга производилась с помощью микроскопа МБС-2. Результаты испытаний представлена в (табл. 2) [2].

Таблица 2 – Лабораторные экспресс-испытания СОЖ

Сталь	СОЖ	Нагрузка P <sub>н</sub> , МПа	Съем металла Q <sub>с</sub> , мм <sup>3</sup>	Износ круга Q <sub>к</sub> , мм <sup>3</sup>	Режущая способность круга v <sub>р</sub> , м/с	Расход абразивного инструм., г/мин	Коэф-т шлифования К	Касательная составляющая сила P <sub>т</sub> , Н	Шероховатость поверхности R <sub>а</sub> , мкм
Р9Ф5	ИХП-76	0,2	1,25	3,29	0,32	0,24	1,35	3,1	0,124
		0,1	1,12	2,20	0,29	0,16	1,82	2,4	0,085
	УК-РИ-НОЛ-14	0,2	1,19	3,84	0,31	0,28	1,11	3,1	
		0,1	1,10	2,93	0,28	0,21	1,33	2,7	0,120
	МР-10	0,2	1,22	2,47	0,32	0,18	1,76	2,9	0,115
		0,1	1,15	2,23	0,30	0,16	1,84	2,5	0,085
ШХ-15	ИХП-76	0,4	4,82	5,62	1,30	0,41	3,18	8,0	0,145
		0,3	4,63	5,62	1,25	0,40	3,12	6,4	0,125
	УК-РИ-НОЛ-14	0,4	5,10	5,62	1,37	0,41	3,30	7,8	
		0,3	4,71	5,75	1,27	0,42	2,96	4,9	0,160
	МР-10	0,4	4,90	4,93	1,32	0,36	3,62	8,1	0,210
		0,3	3,98	4,65	1,07	0,34	3,08	5,5	0,165

На основании выше приведенного, можно сформулировать решение каких задач для конкретного способа абразивной обработки должна способствовать модификация СОТС. Так, в условиях гидродинамического режима изменение объемных реологических свойств в сторону увеличения вязкости нежелательно, т.к. это повлечет за собой потерю расходуемой мощности. В то же время желательно изменение реологии в тонком приповерхностном слое

для увеличения устойчивости масляной пленки к деформационным изменениям в условиях растущего механического воздействия.

Согласно [3], введение антизадирной присадки существенно меняет качество трущейся поверхности. Это связано со способностью поверхностно-активных веществ (ПАВ) снижать время приработки в новом трибосопрежении и формировать в нем защитный расклинивающий слой. Однако с ростом нагрузки работоспособность ПАВ резко падает в силу его десорбции с трущихся поверхностей и возможной деструкции. Наличие наномодификатора позволяет в значительной степени повысить эффективную способность ПАВ, благодаря должной ориентировке ПАВ в сольватной оболочке и способности удерживать полимерные молекулы в зоне трибоконтакта, а так же способности н.м. к диссипации энергетических потоков в общий объем СОТС по фрактальной сетке, что существенно снижает деструктивные явления, как в масляной среде, так и в приповерхностных слоях трущихся поверхностей.

На основании полученных опытных данных, известных свойств н.м. и ПАВ которым относится антизадирная присадка С-5А возможно представить механизм, действия наноструктурированного СОТС, который поэтапно отражен на (рис. 6) [3].

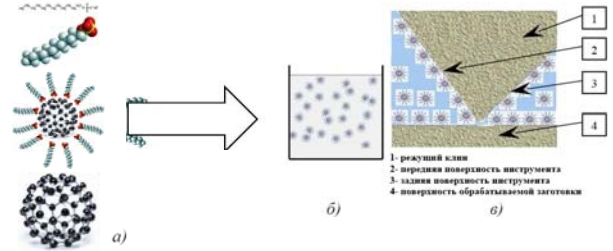


Рисунок 6 – Стадийный механизм наноструктуризации СОТС: а) формирование сольватной оболочки из полимера б) частицы н.м. сорбируют молекулы полимера предотвращая образование мицелл; в) сетка из частиц н.м. на поверхности детали и инструмента

Структуризация СОТС позволяет реализовать желаемые реологические режимы. В табл. 3 представлен обзор применяемых наночастиц для модификации СОТС [1].

Таблица 3 – Общий литературный обзор иностранных изданий изменения теплопроводности СОТС модифицированных наночастицами

Частица	Базовая жидкость	Средний размер частицы, нм	Доля в общем объеме, %	Прирост теплопроводности, %	
1	2	3	4	5	6
СОТС с металлическими наночастицами	Cu	Этиленгликоль	10	0,3	40
	Cu	Вода	100	7,5	78
	Fe	Этиленгликоль	10	0,55	18
	Au	Вода	10 - 20	0,026	21
	Ag	Вода	60 - 80	0,001	17
СОТС с неметаллическими наночастицами	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Вода	13	4,3	30
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Вода	33	4,3	15
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Вода	68	5	21
	CuO	Вода	36	5	60
	CuO	Вода	36	2,3	12
	CuO	Вода	50	0,4	17
	SiC	Вода	26	4,2	16
	TiO <sub>2</sub>	Вода	15	5	30
	МУН <sup>(1)</sup>	Синтетическое масло	Ø25×50	1	150%
СОТС с МУН	Децен/Этиленгликоль/Вода	Ø15×30	1	20 / 13 / 7	
	Вода	Ø100×70	0,6	38	

(<sup>1</sup>) многостенная углеродная нанотрубка

Следует отметить важную роль подготовки СОТС. Равномерное распределение по всему объему составных частей СОТС в значительной степени влияет на сам процесс обработки и на качество будущей поверхности. В работе [5] описывается получение гомогенных мелкодисперсных эмульсий нужного состава с минимальной трудоемкостью и малыми энергозатратами. В качестве исполнительной установки было предложено использование роторного двухкамерного диспергатора для кавитационной обработки жидких рабочих сред. Второе направление – активация СОЖ методами гидродинамической кавитации. Для этого используются специальные устройства непосредственно в станках. Автор [6] предложил способ повышения физико-химической активности СОТС за счет кавитационных насадок, закрепляемых на подающих шлангах (рис. 7) [6].

В результате проведенных экспериментов по обработке шлифованием жаропрочных сплавов с применением такой насадки наблюдалось снижение шероховатости на 0,2...0,3 мкм и остаточных напряжений на 60...90 МПа.

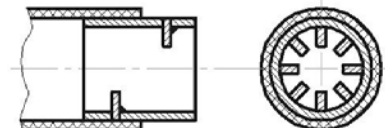


Рисунок 7 – Насадка для создания эффекта кавитации

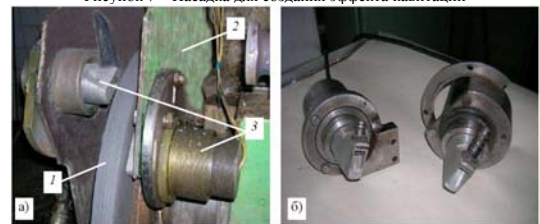


Рисунок 8 – Ультразвуковая техника подачи СОЖ в зону шлифования: а – фрагмент шлифовальной бабки круглошлифовального станка со смонтированными на ней насадками для подачи СОЖ; б – насадки для подачи СОЖ

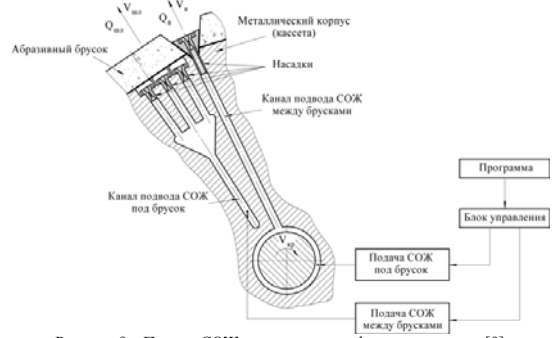


Рисунок 9 – Подвод СОЖ по каналам шлифовального круга [9]

Одним из эффективных способов подачи СОТС непосредственно в зону резания является его транспортирование через капиллярно-пористое пространство шлифовального круга за счет воздействия модулированными ультразвуковыми колебаниями (УЗК) (рис.8) [7]. Автором [7] установлено, что модулированные колебания наиболее эффективно снижают гидравлическое сопротивление СОЖ в капиллярно-пористом пространстве, способствуя многократному увеличению полезного расхода жидкости непосредственно в зону обработки без увеличения ее общего расхода и усилению тем самым охлаждающего действия СОЖ.

Другое конструктивное решение было предложено для прерывистого сборного шлифовального круга [8]. В предложенной системе подачи СОЖ в зону резания (рис. 9) используется подвод ее по радиальным каналам кассеты сборного шлифовального круга. На выходе канала установлены насадки, обеспечивающие активацию СОЖ за счет гидродинамической кавитации. В дальнейшем активированная СОЖ через поры шлифовального круга поступает на его периферию.

#### *Выводы*

В условиях граничного трения структуризация СОТС наномодификаторами может способствовать решению еще большего числа проблем связанных как с формированием приповерхностной смазочной пленки, так и с пластификацией металлической поверхности трения при обработке планетарной шлифовальной головкой. Оказание активного воздействия на зону трения с помощью наномодификации возможно в силу особых физико-химических свойств нано- и микрочастиц. Их сорбционная активность способствует равномерному распределению полимера, выполняющего ту или иную роль в СОТС [4]. При этом для достижения максимального эффекта рекомендуется комбинировать прилагаемые технологические пути бездефектного шлифования поверхностей деталей авиационных двигателей.

**Список использованных источников:** 1. Bin Shen Minimum quantity lubrication grinding using nanofluids: Дис. канд. техн. наук. – Michigan, USA: The University of Michigan, 2008. – 185 с. 2. Мамедова П.Ш. Разработка и исследование эффективной смазочно-охлаждающей жидкости для механической обработки металлов / П.Ш. Мамедова // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал. – Вып. №1. – 2002 С.12-16. 3. Никитин В.А. Повышение износостойкости триботехнических узлов технологической системы при использовании наноструктурированных СОТС / В.А. Никитин, В.М. Петров, А.В. Федосов, Д.Г. Летенко // Инструмент и технологии. – 2008. – № 25. – С 146-150. 4. Петров Ю.В. Применение наноструктурированных смазочно – охлаждающих технологических сред для механической обработки резанием композиционных материалов / Ю.В.Петров// Студенческая научная весна. Машиностроительные технологии. – 2010. – С 15-18. 5. Фесенко А.В. Повышение эффективности шлифования при гидродинамической обработке СОЖ / А.В. Фесенко, Ю.Н. Любимый // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво: збірник статей Десятої всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. 26 - 30 жовтня 2010 р. / Уклад.: Д.В. Криворучко, В.О. Іванов. — Суми: СумДУ, 2010. — С. 117-122. 6. Бутенко В.И. Технологические средства, устройства и конструкции инструментов для бездефектного шлифования деталей машин / В.И. Бутенко, Е.С. Фоменко, А.Д. Кулиньский // Обработка материалов резанием. 2008. – №3 (45). – С 2-8. 7. Ковальнов В.Н. Повышение эффективности совмещенного шлифования с применением СОЖ путем термостабилизации зоны обработки / В.Н. Ковальнов// Дис. канд.техн. наук., специальность 05.03.01, 05.02.08 – Ульяновск: УГТУ, 2000. – 240 с. 8. Фесенко А.В. Повышение эффективности шлифования при активации и рациональном использовании СОЖ / А.В. Фесенко, Ю.Н. Любимый // Вестник Национального технического университета «ХПИ». 2010. – №41. – С 71-100.

*Поступила в редколлегию 13.04.2012*