Тип статьи: научная
УДК 621.321
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-82-87

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРА МАСЛЯНЫХ КАПЕЛЬ, КОНЦЕНТРАЦИИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ И ВВЕДЕНИЯ ТВЕРДОФАЗНЫХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ

Кирилл Леонидович Сергеев [1], ***Михаил Михайлович Дечко*** [2]
[1] *Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь*
[2] *ОАО «ЛМЗ Универсал», г. Солигорск, Республика Беларусь*
[1] 13nuke@mail.ru
[2] mdechko@rambler.ru

Автор ответственный за переписку: Сергеев Кирилл Леонидович, 13nuke@mail.ru
Corresponding author: Sergeev Kirill, 13nuke@mail.ru

Реферат. *Одним из путей увеличения производительности обработки и обеспечения высокого качества обработанной поверхности является правильный выбор и использование смазочно-охлаждающих жидкостей. Решение задач повышения эффективности реализовывалось путем выбора состава смазочно-охлаждающих жидкости, которая была приготовлена на основе отходов, образующихся в процессе производства масложировой продукции. Это обеспечит снижение экологической нагрузки на систему окружающей среды. Также большое внимание в последнее время уделяется оценке действия смазочно-охлаждающих жидкостей модифицированных углеродными материалами, в частности, углеродными нанотрубками и графитом. Из-за особенностей их физико-механических свойств, углеродные модификаторы оказывают влияние на процессы резания, и закономерности этого влияния до сих пор изучены недостаточно. В данной статье продолжено исследование изменения вязкости водомасляной эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости от варьирования размера масляных капель, концентрации дисперсной фазы и введения твердофазных высокодисперсных модификаторов. Установлено, что уменьшение размера масляных капель, повышение концентрации дисперсной фазы и модифицирование водомасляной эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости высокодисперсными углеродными материалами приводят к увеличению вязкости.*

Ключевые слова: *вязкость, смазочно-охлаждающая жидкость, дисперсность, концентрация, модификатор, ультразвук.*

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS FOR CORROSION PROTECTION

Kirill Sergeev [1], ***Mihail Dechko*** [2]
[1] *Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, Republic of Belarus*
[2] *JSC "LMZ Universal", Soligorsk, Republic of Belarus*
[1] *13nuke@mail.ru*
[2] *mdechko@rambler.ru*

Abstract. *One of the ways to increase processing productivity and ensure high quality of the treated surface is the correct choice and use of lubricants and coolants. The solution to the problems of increasing efficiency was implemented by choosing the compositions of lubricants and coolants, which were prepared based on fat-and-oil waste products. This will ensure a reduction in the environmental burden on the environmental system. Also, the greatest attention has recently been paid to evaluating the*

effect of lubricants modified with carbon materials, in particular, carbon nanotubes and graphite. Due to the particular features of their physical and mechanical properties, carbon modifiers have an impact on cutting processes and rules of the impact have not been sufficiently studied so far. This article continues the study of changes in the viscosity of a water-oil emulsion coolant from varying the oil droplets size, the dispersed phase concentration and the introduction of solid-phase highly dispersed modifiers. It was found that reducing the size of oil droplets, increasing the concentration of the dispersed phase and modifying the water-oil emulsion coolant with highly dispersed carbon materials lead to an increase in viscosity.

Keywords: *viscosity, lubricant cooling liquid, dispersion, concentration, modifier, ultrasound*.

Для цитирования: Сергеев К.Л., Дечко М.М. Исследование изменения вязкости смазочно-охлаждающей жидкости в зависимости от размера масляных капель, концентрации дисперсной фазы и введения твердофазных высокодисперсных модификаторов // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 64, № 4. С. 82-87. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-82-87.

For citation: Sergeev K., Dechko M. Joint effect of oil droplet size, dispersed phase concentration and solid-phase highly dispersed modifiers on the viscosity of the emulsion coolant // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 64(4): 82-87. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-82-87.

Введение. В результате проведенного литературного анализа было выявлено, что на вязкость существенно будет влиять размер масляных капель и частиц твердофазных высокодисперсных модификаторов. Закономерности данного влияния могут проявляться по-разному для различных видов эмульсий и вводимого материала [1]. Особый интерес представляет исследование влияния масляных капель и частиц твердофазных высокодисперсных модификаторов на вязкость водомасляных эмульсионных смазочно-охлаждающий жидкостей (СОЖ). Результаты ранее проведенных экспериментальных исследований подтверждают, что увеличение дисперсности и введение модификаторов в состав СОЖ вызывает повышение эффективности процесса резания металлов [2–3].

В рамках данной работы были продолжены исследования по совместному влиянию размера масляных капель, концентрации дисперсной фазы и введенных в состав водомасляной эмульсионной СОЖ высокодисперсных углеродных материалов на изменение вязкости. При использовании оборудования по ультразвуковому (УЗ) диспергированию целенаправленно варьировали размеры масляных капель и концентрацию дисперсной фазы эмульсии СОЖ. Использовавшаяся концентрация модификатора оставалась неизменной.

Научная новизна проведенного экспериментального исследования состоит в том, что впервые рассмотрено изменение влияния ранее отмеченных факторов СОЖ на вязкость по схеме полного факторного эксперимента при полном контроле температуры исследуемой технологической среды. В результате проведенных экспериментов можно в дальнейшем предугадывать процессы изменения не только реологических, но и трибологических свойств исследуемых СОЖ.

Материалы и методы. Объектом исследований была СОЖ, которая ранее использовалась в экспериментах по изучению влияния дисперсности СОЖ на эффективность МАО [2]. В качестве модификаторов СОЖ использовали порошок углеродного наноматериала в виде конгломератов углеродных нанотрубок (УНТ) (синтезирован в НПП «Перспективные исследования и технологии», Беларусь) и порошок технического графита (ТГ) марки ГК-2 [2].

На основе модификаторов готовили водные суспензии, которые подвергали механическому перемешиванию и ультразвуковому (УЗ) диспергированию (использованное оборудование – УЗ диспергатор погружного типа (производство БГУИР, Беларусь)), после чего вводили в них концентрат эмульсии и полученные таким образом смеси суспензии и эмульсии вновь подвергали УЗ диспергированию до достижения определенных размеров компонентов дисперсных фаз. Параллельно (с целью получения сравнительных данных) подвергали УЗ диспергированию водные эмульсии, не содержащие модификаторов. Компьютерный микроскоп (производство ЧНПУП «Спектравтоматкомплекс», Беларусь) и программа AutoScan Studio 3.0 (производство

ЗАО «Спектроскопические системы», Беларусь) были предназначены для получения изображений капель дисперсной фазы и изучения структурных особенностей исследуемой СОЖ.

Образцы СОЖ объемом 150 мл заливали в стеклянный стакан (внутренний диаметр 58 мм и высота 80 мм). УЗ обработку осуществляли при частоте 22 кГц и выходной мощности генератора 40 Вт. Вязкость эмульсии СОЖ измеряли с помощью вискозиметра капиллярного типа ВПЖ-2 по стандартной методике – путем установления времени истечения определённого объёма жидкости через капилляр вискозиметра под действием силы тяжести. На основании полученных экспериментальных данных определяли расчетным путем значение кинематической вязкости. Число измерений вязкости составило 15. Значение температуры эмульсии СОЖ составляло 25±0,2˚С, т.к. в течение всех экспериментов проводился замер каждого из образцов технологической среды термометром ТР-101.

В качестве факторов, влияющих на вязкость, для получения регрессионной зависимости выбраны твердофазные высокодисперсные модификаторы, концентрация дисперсной фазы и размер масляных капель (таблица 1).

Варьирование управляющих факторов выполнено по схеме полного факторного эксперимента. Всего было приготовлено 12 пар образцов СОЖ с различными размерами масляных капель, в каждой из них 8 пар содержали модификаторы УНТ ($СОЖ_{УНТ}$) и технического графита ($СОЖ_{ТГ}$) с размерами частиц приблизительно в 2 мкм, 4 оставшиеся пары были без модификаторов ($СОЖ_{о}$). Содержание модификатора в СОЖ составляло 0,1 масс. %.

Таблица 1 – Исследуемые факторы и уровни их варьирования

Фактор	Натуральные значения	Нормированные значения
Модификатор	порошок углеродного наноматериала УНТ	–1
	порошок технического графита ТГ	+1
	без добавки	0
Концентрация дисперсной фазы, $C_{СОЖ}$, г/л	10	– 1
	30	–0,046
	50	0,398
	100	+1
Размер масляных капель, $R_{ср}$, мкм	1	–1
	3	0
	5	+1

Результаты и их обсуждение. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлена в соответствии с пособиями [4–6]. Адекватное уравнение регрессии в нормированных координатах, полученное на их основе с учетом статистической значимости коэффициентов, имеет вид:

$$Y = 0,9688 + 0,1617X_2 - 0,0066X_3 - 0,0105X_1X_2 - 0,0043X_2X_3 + 0,0106X_1^2 +$$
$$+ 0,0599X_2^2 - 0,0195X_2^3 + 0,0101X_1X_2^3,$$

где $X_1 = 0$ для СОЖ без модификатора; $X_1 = –1$ для СОЖ с УНТ 0,1 масс. %; $X_1 = 1$ для СОЖ с ТГ 0,1 масс. %;

$$X_2 = \frac{C_{СОЖ} - 55}{45}$$ – концентрация дисперсной фазы СОЖ;

$$X_3 = \frac{R_{ср}}{2} - 1,5$$ – размер капель СОЖ.

Анализ коэффициентов регрессии показывает, что наиболее влияющим фактором является концентрация дисперсной фазы СОЖ. Причем эта зависимость существенно нелинейная и адекватно аппроксимируется полиномом 3-й степени, коэффициенты которого зависят от выбранного материала твердофазного высокодисперсного модификатора. Размер масляных капель в исследованном диапазоне – фактор, менее влияющий на вязкость эмульсии. Уменьшение размера масляных капель увеличивает вязкость в среднем на 3 %.

Для иллюстрации влияния управляющих факторов на вязкость построены графики изолиний уровней вязкости в координатах $C_{СОЖ}$-$R_{ср}$ для различных составов СОЖ (рисунок 1). Сравнение графиков для двух твердофазных высокодисперсных модификаторов (рисунок 1: а и б) показывает, что их влияние одинаково в диапазоне концентраций дисперсной фазы 40–100 г/л. В диапазоне концентраций дисперсной фазы 10–40 г/л вязкость СОЖ с ТГ модификатором немного превосходит остальные исследованные составы.

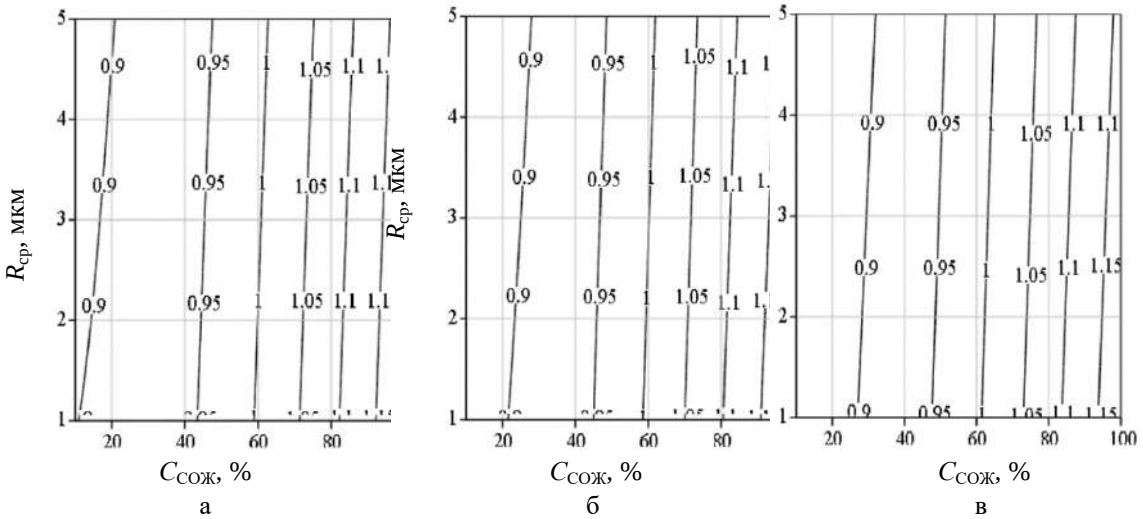

Рисунок 1 – Зависимость вязкости от управляющих факторов для СОЖ различного состава: *а* – СОЖ с ТГ; *б* – СОЖ с УНТ; *в* – СОЖ без модификатора

В связи с тем, что в результате анализа полученных зависимостей наиболее влияющим фактором является концентрация дисперсной фазы СОЖ, то нужно разобраться, как влияют и другие исследуемые факторы на качество обработанной поверхности с учетом увеличения вязкости.

Для начала нужно установить взаимосвязь между полученными результатами по вязкости и шероховатости, значения которой приведены в вышеуказанных работах [2, 3]. Для этого следует разобраться в самих действиях СОЖ. Разделить различные эффекты действий СОЖ весьма проблематично, так как в одних случаях они могут проявляться как и положительно, так и отрицательно в зависимости от наименования операции, режимов резания, от технологических особенностей обрабатываемого материала и т.д. На наш взгляд, главными действиями, которые могут связать полученные результаты по вязкости на будущем формировании качества обработанной поверхности является режущее для магнитно-абразивной обработки и смазывающее – для лезвийной обработки.

Так, в результате ранее проведенных исследований по магнитно-абразивной обработке было установлено, что применение водомасляной эмульсионной СОЖ с более высокой дисперсностью способствует уменьшению шероховатости поверхности. Это можно объяснить тем, что в механизме проникновения СОЖ на контактирующие поверхности главную роль играет не только концентрация дисперсной фазы, но и размер масляных капель. Чем меньше будут размеры капель масла, тем эффективнее будет осуществляться процессы проникновения дисперсной фазы в зону

контакта, а повышенная вязкость, зависящая от концентрации дисперсной фазы, способствует удержанию СОЖ на трущихся поверхностях.

В работе по лезвийной обработке было определено, что модифицирование СОЖ углеродными высокодисперсными материалами типа УНТ или ТГ вызывает дополнительное уменьшение шероховатости обрабатываемой поверхности по сравнению с использованием свежеприготовленной СОЖ, которую предварительно подвергали УЗ диспергированию. Можно предположить, что от повышения вязкости, зависящей от размера масляных капель и концентрации дисперсной фазы, увеличивается толщина смазочной пленки, что приводит к уменьшению коэффициента трения, что позволит снизить силы резания и, следовательно, повысить качество обработки. Введение в СОЖ высокодисперсных модификаторов также сокращает возможность контактирования трущихся поверхностей, воспринимая на себя большие контактные нагрузки в зоне обработки.

Заключение. Результаты проведенных исследований показывают, что вязкость водомасляных эмульсионных СОЖ наиболее существенно зависит от концентрации дисперсной фазы, размера масляных капель и введенных в состав водомасляной эмульсионной СОЖ твердофазных высокодисперсных модификаторов. Таким образом, изменяя размер масляных капель, материал модификатора и концентрацию дисперсной фазы, можно регулировать вязкость СОЖ в пределах ±17 % и, следовательно, изменять характер действия СОЖ на процесс резания.

Список источников

1. Сергеев К. Л. Влияние размера масляных капель дисперсной фазы и твердофазных высокодисперсных модификаторов на вязкость эмульсий «масло в воде» // Электронный журнал «Наука и образование». 2021. Том 4. № 4.

2. Толочко Н. К., Сергеев К. Л. Влияние дисперсности эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости на эффективность магнитно-абразивной обработки // Технология машиностроения. 2014. № 10. С. 31-35.

3. Толочко Н. К., Сергеев К. Л., Петрусик И. М. Влияние модифицирования СОЖ углеродными частицами на шероховатость обрабатываемой поверхности при лезвийной обработке // Техсервис-2021: материалы научно-технической конференции студентов и магистрантов. Минск. 2021. С. 30-31.

4. Монтгомери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных. Л. : Судостроение, 1980. 380 с.

5. Леонов А. Н., Дечко М. М., Ловкис В. Б. Основы научных исследований в примерах и задачах : учеб. пособие. Минск: БГАТУ, 2013. 133 с.

6. Леонов А. Н., Дечко М. М., Ловкис В. Б. Основы научных исследований и моделирования : учебн. пособие. Минск: БГАТУ, 2010. 276 с.

References

1. Sergeev K. L. Vliyanie razmera maslyanyh kapel' dispersnoj fazy i tverdofaznyh vysokodispersnyh modifikatorov na vyazkost' emul'sij «maslo v vode» // Elektronnyj zhurnal «Nauka i obrazovanie». 2021. Tom 4. № 4.

2. Tolochko N. K., Sergeev K. L. Vliyanie dispersnosti emul'sionnoj smazochno-ohlazhdayushchej zhidkosti na effektivnost' magnitno-abrazivnoj obrabotki // Tekhnologiya mashinostroeniya. 2014. № 10. S. 31-35.

3. Tolochko N. K., Sergeev K. L., Petrusik I. M. Vliyanie modificirovaniya SOZH uglerodnymi chasticami na sherohovatost' obrabatyvaemoj poverhnosti pri lezvijnoj obrabotke // Tekhservis-2021: materialy nauchno-tekhnicheskoj konferencii studentov i magistrantov. Minsk. 2021. S. 30-31.

4. Montgomeri D. K. Planirovanie eksperimenta i analiz dannyh. L.: Sudostroenie, 1980. 380 c.

5. Leonov A. N., Dechko M. M., Lovkis V. B. Osnovy nauchnyh issledovanij v primerah i zadachah: ucheb. posobie. Minsk: BGATU, 2013. 133 s.

6. Leonov A. N., Dechko M. M., Lovkis V. B. Osnovy nauchnyh issledovanij i modelirovaniya: uchebn. posobie. Minsk: BGATU, 2010. 276 s.

Информация об авторах
К.Л. Сергеев – старший преподаватель; М.М. Дечко – кандидат технических наук, доцент.
Information about the authors
K. Sergeev – Senior Lecturer; M. Dechko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 15.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 17.08.2023