

УДК 621.321

**ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА МАСЛЯНЫХ КАПЕЛЬ
ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ И ТВЕРДОФАЗНЫХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ
МОДИФИКАТОРОВ НА ВЯЗКОСТЬ ЭМУЛЬСИЙ «МАСЛО В ВОДЕ»**

Кирилл Леонидович Сергеев

старший преподаватель

13nuke@mail.ru

Белорусский государственный аграрный технический университет

г. Минск, Беларусь

Аннотация. В статье осуществлен анализ научных источников по вопросу влияния размера масляных капель дисперсной фазы и твердофазных высокодисперсных модификаторов на вязкость эмульсий. Установлено, что уменьшение размера масляных капель дисперсной фазы и модифицирование водомасляной эмульсионной смазочно-охлаждающей жидкости высокодисперсными углеродными материалами приводит к повышению вязкости.

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

Несмотря на то, что на сегодняшний день присутствует многообразие различных способов изготовления и формирования поверхности деталей, основным остаётся обработка металлов резанием. Для того, чтобы получить продукцию высокого качества со стабильно высокой работоспособностью обрабатываемого инструмента нужно правильно подобрать смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). В последние годы возрос интерес к изучению вопросов повышения эффективности действия СОЖ на процессы резания за счет применения твердофазных высокодисперсных модификаторов. Наибольшее внимание уделяется модифицированию СОЖ углеродными материалами, в частности, углеродными нанотрубками и графитом. Влияние углеродных модификаторов на процессы резания связывается с их особыми физико-механическими свойствами. Закономерности и механизмы этого влияния до сих пор изучены недостаточно.

В процессе резания СОЖ оказывают смазывающее, охлаждающее, режущее и моющее действия [1–3]. Особенности проявления этих действий в значительной мере зависят от физико-химических свойств СОЖ, прежде всего, вязкости [4]. Учет вязкости необходим для определения возможности и целесообразности применения того или иного вида СОЖ для конкретных видов процессов резания, для решения задач, связанных с расчетом режимов резания, а также для проектирования металлорежущего оборудования и устройств подачи СОЖ. При этом следует принимать во внимание то, что характер влияния вязкости СОЖ на процесс резания может быть различным. Так, с увеличением вязкости увеличивается смазывающее действие СОЖ [5]. Высокая вязкость снижает вибрацию режущего инструмента [6]. Вместе с тем с повышением вязкости ухудшаются моющее, а также охлаждающее действия СОЖ. В частности, вязкость оказывает особенно сильное влияние на охлаждающее действие СОЖ в условиях конвективного теплообмена [2].

Вязкость водомасляных эмульсионных СОЖ зависит от ряда факторов. Обычно к числу таких факторов принято относить концентрацию дисперсной масляной фазы, а также температуру эмульсий [6–8]. Вместе с тем, результаты

ряда экспериментов, проводившихся с разными видами эмульсий, показывают, что вязкость эмульсий может также зависеть от их дисперсности, т.е. от размеров капель дисперсной фазы.

Так, согласно экспериментальным данным [9, 10], вязкость эмульсий увеличивается с уменьшением среднего размера капель; другими словами, вязкость тонких эмульсий (размер частиц 0,1–100 мкм) больше, чем соответствующих грубых (размер частиц более 100 мкм). Причем, указанный характер влияния дисперсности на вязкость имеет место как для прямых эмульсий – типа «масло в воде» (м/в), так и для обратных – типа «вода в масле» (в/м) [9].

Увеличение вязкости эмульсий с уменьшением размера капель также связывается с усилением гидродинамического взаимодействия между каплями, когда расстояние между каплями становится меньше [8, 9, 11]. В свою очередь, расстояние между каплями сокращается в процессе диспергирования эмульсий, приводящего не только к уменьшению размеров капель, но и к соответствующему увеличению концентрации капель. Известно [12], что в эмульсии, как в любой многофазной системе (суспензии, аэрозоли), существует два различных механизма взаимодействия капель. Первый механизм связан с силами, действующими непосредственно между каплями (примером тому может быть электростатическое взаимодействие, обусловленное наличием зарядов на поверхности капель). Второй механизм связан с взаимодействием капель через движение несущей фазы (дисперсионной среды): распределение скорости и давления жидкости вблизи какой-либо капли зависит от расположения других капель. Движение одной капли влияет на движение всех остальных, и наоборот. Такое взаимодействие называется гидродинамическим.

Следует отметить, что с изменением дисперсности изменяется агрегативная и, следовательно, седиментационная устойчивость эмульсий, а именно: более тонкая эмульсия является более стабильной, т.е. может более длительное время сохраняться в исходном состоянии, не подвергаясь агрегации и седиментации [9]. Данное обстоятельство надо принимать во внимание на

практике при приготовлении и использовании СОЖ, поскольку вязкость эмульсии уменьшается со старением, вызывающим огрубление эмульсии.

Можно предположить, что увеличение вязкости эмульсий связано с усилением взаимодействия между каплями, происходящего как по одному, так и по другому механизму. Причиной увеличения вязкости эмульсий с уменьшением размера капель также может быть изменение полидисперсности – ширины спектра распределения капель по размерам: чем меньше размеры капель, тем меньше полидисперсность (тонкие эмульсии являются более монодисперсными) [9, 10].

Возможно, что одной из причин повышения эффективности процесса резания с ростом дисперсности СОЖ является соответствующее изменение вязкости. Так, в работе [6] экспериментально исследовалась зависимость вязкости водомасляных эмульсионных СОЖ от условий их механического перемешивания. Исследования показали, что вязкость эмульсий падает с ростом интенсивности и длительности перемешивания. Причины такого изменения вязкости связываются в упомянутой работе с повышением дисперсности эмульсий в результате перемешивания. Однако при этом не приводятся корреляции между условиями перемешивания и размерами масляных капель, с одной стороны, и между размерами масляных капель и вязкостью эмульсий, с другой.

Вязкость СОЖ изменяется также под воздействием различных твердофазных высокодисперсных модификаторов, которые могут значительно улучшить производительность обработки, уменьшить износ инструмента, благоприятно повлиять на качество обработанной поверхности для различных видов обработки и т.д.

Так в работе [13] модификаторы на основе графита и дисульфида молибдена могут быть рекомендованы к применению в антифрикционных композитных материалах в качестве легирующей добавки. Применение ультрадисперсных порошков цветных металлов и сплавов (медь, цинк, бронза) в составе смазок может значительно увеличивать их трибологические

характеристики и способствовать большей работоспособности узла трения [14]. Влияние СОЖ с ультрадисперсными модификаторами Al и Mo также описаны в работе [15], где доказана их эффективность в уменьшении износа и сил резания.

Интерес к тому, как размер и концентрация частиц модификатора может влиять на вязкость технологических сред, появился у специалистов уже давно и на сегодняшний день уже установлено экспериментально и моделированием методом молекулярной динамики, что вязкость данных жидкостей существенно выше вязкости несущей жидкости. Кроме того, она зависит не только от концентрации частиц, но также от их размеров и выбранного материала [16–18].

Так вопрос о влиянии размеров частиц встречается в работе [19]. Установлено, что увеличение коэффициента вязкости связано с ростом размера наночастиц TiO_2 . Но в данных экспериментах не контролировалось распределение частиц по размерам и возможное дальнейшее агломерирование. Статья [20] посвящена изучению вязкости жидкости на основе воды с наночастицами Al_2O_3 . Там также отмечается увеличение вязкости от роста наночастиц. В ней тоже совсем не приводятся данные о распределении наночастиц в жидкости по размерам. Также под вопросом остается контроль температуры, которая варьировалась в определенном интервале, что тоже может привести к изменению коэффициента вязкости на несколько процентов.

Но уже в работе [21] отмечается увеличение вязкости от уменьшения размера частиц; весьма подробно описана зависимость коэффициента вязкости наножидкости на основе воды с частицами SiC. Были рассмотрены наножидкости с различными средними размерами частиц и установлено, что максимальную вязкость имели уже наножидкости с наименьшими частицами, а минимальную – с наибольшими. Аналогичные результаты проведенных экспериментов получены в данном исследовании [22]: подробно описан механизм определения среднего размера частиц в жидкости и их распределение по размерам. Коэффициенты вязкости для всех рассматриваемых жидкостей на

основе этиленгликоля с частицами SiO_2 . отличаются и с уменьшением размера частиц растут. В данной работе подробно описано, что с увеличением концентрации частиц коэффициент вязкости существенно увеличивается.

Можно предположить, что введение модифицированных высокодисперсных материалов в состав СОЖ способствует улучшению процесса «обволакивания» режущей кромки инструмента защитной пленкой. Это, в свою очередь, способствует появлению пластификации и приводит к уменьшению развития поверхностной энергии при обработке резанием, что отражается на снижении износа по передней и задней поверхности инструмента [23].

Для повышения дисперсности СОЖ и дробления частиц модификатора можно применять различные способы диспергирования, в частности, интенсивное перемешивание. Значительный диспергирующий эффект дает кавитация. До последнего времени для приготовления СОЖ в производственных условиях традиционно применялись гидродинамические кавитаторы, которые характеризуются сравнительно большой производительностью, но не обеспечивают достаточно высокой степени диспергирования. В данной работе диспергирование СОЖ проводили путем ультразвуковой обработки, способной обеспечивать довольно высокий диспергирующий эффект. Благодаря этому, в последние годы, в связи с развитием нанотехнологий, ультразвуковое диспергирование получает все большее распространение для приготовления различных видов наноэмульсий [24–26]. При этом в наноэмульсиях также наблюдается повышенная вязкость, хотя и отмечается, что она увеличивается в большей мере за счет увеличения концентрации дисперсной фазы, чем за счет уменьшения размеров капель [25].

Рассмотренное в вышеуказанных исследованиях влияние размера масляных капель и частиц твердофазных высокодисперсных модификаторов на вязкость эмульсий может иметь различный характер и проявляться в неодинаковой мере для разных видов эмульсий и вводимого материала. В этой связи особый интерес представляет исследование особенностей совместного

влияния размеров масляных капель и частиц твердофазных высокодисперсных модификаторов на вязкость водомасляных эмульсионных СОЖ. Это обусловлено тем, что увеличение дисперсности и введение твердофазных высокодисперсных модификаторов вызывают повышение эффективности процесса резания металлов, о чем свидетельствуют результаты экспериментальных исследований по магнитно-абразивной [1] и лезвийной обработках [27] с использованием водомасляных эмульсионных СОЖ, подвергнутых предварительно ультразвуковому (УЗ) диспергированию.

В дальнейшем в рамках данной работы будут проведены экспериментальные исследования влияния размера масляных капель дисперсной фазы, а также модифицирование высокодисперсными углеродными материалами водомасляной эмульсионной СОЖ на вязкость. Планируется размеры масляных капель и модификатора целенаправленно изменять в процессе УЗ диспергирования. По результатам проведенных экспериментов в дальнейшем можно судить об изменениях не только реологических, но и трибологических свойств водомасляных эмульсионных СОЖ.

Список литературы:

1. Толочко Н.К., Сергеев К.Л. Влияние дисперсности эмульсионной смазочно–охлаждающей жидкости на эффективность магнитно-абразивной обработки // Технология машиностроения. 2014. № 10. С. 31-35.
2. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. школа, 1974. 587 с.
3. Ящерицин, П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания: учебник. Минск: Новое знание, 2006. 512 с.
4. Чередниченко Г.И., Фройштетер Г.Б., Ступак П.М. Физико-химические и теплофизические свойства материалов. Л.: Химия, 1986. 224 с.
5. Виноградов Д.В. Применение смазочно–охлаждающих технологических средств при резании металлов: учеб. пособие. Ч.1: Функциональные действия. М.: Изд–во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 90 с.

6. Киселева Е.В. Разработка эффективной технологии приготовления смазочно-охлаждающей жидкости для обработки металлов // Вестник Ивановского гос. энерг. ун-та. 2010. Вып. 2. С. 1-4.

7. Rheology of emulsions. In: Emulsions: Fundamentals and applications in the petroleum industry / R. Pal [et al.] // American Chemical Society. 1992. Chap. 4. P. 31-170.

8. Almutairi S.H. Effect of droplet size on the behavior and characteristics of emulsified acid. Diss. D.Ph., Texas A&M University, 2008. 223 pp.

9. Pal R. Effect of Droplet Size on the Rheology of Emulsions // AIChE J. 1996. Vol. 42, Is. 11. P. 3181-3190.

10. Gallegos C., Franco J.M, Partal P. Rheology of food dispersions // Rheology Rev. 2004. P. 19-65.

11. Barnes H.A. Rheology of emulsions – A review // Colloids and Surfaces. 1994. Vol. 91. P. 89-95.

12. Пронькина Т.В. Моделирование гидродинамического взаимодействия и динамики капель составной эмульсии: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. Ханты-Мансийск, 2010. 121 с.

13. Исследование наноразмерных самосмазывающихся соединений дисульфида молибдена и графита / А.П. Краснов [и др.] // ПОЛИКОМТРИБ–2013: тез. докл. междунар. науч. -техн. конференции. Гомель 2013. С. 11.

14. Функциональные технологические смазочные материалы, структурированные нанопорошками цветных металлов, для повышения эффективности обработки деталей транспортных средств / Г.И. Шульга [и др.] // Вестник ДГТУ. 2011. Т. 11. № 10 (61). С. 1867-1873.

15. Влияние ультрадисперсных модификаторов технологических сред на силовые характеристики процесса течения конструкционных материалов / В.В. Скакун [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т. 14. № 6. С. 140-145.

16. Рудяк В.Я. Современное состояние исследований вязкости наножидкостей // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2015. Т. 10. Вып. 1. С. 5-22.

17. Рудяк В.Я., Димов С.В., Кузнецов В.В. О зависимости коэффициента вязкости наножидкости от размера частиц и температуры // Письма в журнал технической физики. 2013. Т. 39. Вып. 17. С. 53-60.

18. Экспериментальные данные о зависимости вязкости наножидкостей на основе воды и этиленгликоля от размера и материала частиц / В.Я. Рудяк [и др.] // Доклады Академии наук. 2016. Т. 467. № 3. С. 289-291.

19. Heat transfer and flow behavior of aqueous suspensions of TiO_2 nanoparticles (nano-fluids) flowing upward through a vertical pipe / Y. He [et al.] // Int. J. Heat Mass Transfer. 2007. Vol. 50. No. 11-12. P. 2272-2281.

20. Viscosity data for Al_2O_3 -water nanofluid-hysteresis: is heat transfer fer enhancement using nanofluids reliable? / C.T. Nguyen [et al.] // Int. J. Therm. Sci. 2008. Vol. 47. P. 103-111.

21. Particle size and interfacial effects on thermo-physical and heat transfer characteristics of water-based alpha-SiC nanofluids / E.V. Timofeeva [et al.] // Nanotechnology. 2010. Vol. 21. No. 21. P. 215703.

22. Rudyak V.Ya. Viscosity of nanofluids. Why it is not described by the classical theories // Advances in Nanoparticles. 2013. Vol. 2. P. 266-279.

23. Сойту Н.Ю. Повышение эффективности процессов сверления конструкционных материалов за счет наноструктурированных фуллеренсодержащих смазочно-охлаждающих технологических сред: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07. Саратов, 2010. 231 с.

24. Nanoemulsions: formation, structure, and physical properties / T.G. Mason [et al.] // J. Phys.: Condens. Matter. 2006. No 18. P. 635-666.

25. Highly stable concentrated nanoemulsions by the phase inversion composition method at elevated temperature / L. Yu [et al.] // Langmuir. 2012. No 28 (41). P. 14547–14552.

26. Ghosh V., Mukherjee A., Chandrasekaran N. Formulation and characterization of plant essential oil based nanoemulsion: evaluation of its larvicidal activity against aedes aegypti // Asian J. Chem. 2013. Vol. 25. P. 322-323.

27. 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. 30-32.

UDC 621.321

EFFECT OF OIL DROPLET SIZE DISPERSION PHASE AND SOLID-PHASE HIGH-DISPERSION MODIFIERS ON VISCOSITY OF OIL-IN-WATER EMULSIONS

Kirill L. Sergeev

senior lecturer

13nuke@mail.ru

Belarusian State Agrarian Technical University

Minsk, Belarus

Annotation. The article analyses scientific sources on the effect of the size of oil droplets of the dispersed phase and solid-phase finely dispersed modifiers on the viscosity of emulsions. It was found that reducing the size of the oil droplets of the dispersed phase and modifying the water-oil emulsion lubricating-cooling liquid with finely dispersed carbon materials leads to an increase in viscosity.

Key words: factor analysis, magnetic abrasive machining, principal component analysis, bearing rings.

Статья поступила в редакцию 28.10.2021; одобрена после рецензирования 30.11.2021; принята к публикации 10.12.2021.

The article was submitted 28.10.2021; approved after reviewing 30.11.2021; accepted for publication 10.12.2021.