

УДК 621.9, 665.765

Улучшение смазочной способности СОТС для металлообработки за счет присадок мезогенных соединений

В.В. Новиков¹, Е.Е. Нуждина¹, С.А. Сырбу¹, М.С. Маршалов², Р.Ю. Лисицын²

¹ФГБОУВПО «Ивановский государственный университет», Иваново, Российская Федерация

²ФГБОУВПО «Ивановский институт противопожарной службы МЧС России», Иваново, Российская Федерация

E-mail: novikov-ww@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Актуальность работы связана с проблемой замены токсичных присадок в смазочно-охлаждающих технологических средствах на менее токсичные и биоразлагаемые присадки без потери функциональных свойств этих средств. В настоящее время в научной литературе есть сведения о возможности применения в качестве таких присадок мезогенных соединений холестерина, но проблема требует дальнейшего изучения.

Материалы и методы: Протестировано большое количество составов СОТС с присадками мезогенных соединений холестерина на операции сверления отверстий.

Результаты: Приведены результаты экспериментальных исследований. Предложен критерий эффективности смазочного действия СОТС. Определены наиболее эффективные составы СОТС.

Выводы: Введение присадок мезогенных соединений холестерина к СОТС позволяет повысить смазочную способность составов и улучшить качество металлообработки.

Ключевые слова: металлообработка, сверление, качество поверхности, смазка, режущие масла, смазочно-охлаждающая жидкость, присадки, соединения холестерина, мезоморфизм, трибология.

Improving Lubricating Ability of Lubricating and Cooling Technological Substances for Metal Treatment due to Mesogenic Compounds Additions

V.V. Novikov¹, E.E. Nuzhdina¹, S.A. Syrbu¹, M.S. Marshalov², R.U. Lisitsyn²

¹ Ivanovo State University, Ivanovo, Russian Federation

² Ivanovo Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia, Ivanovo, Russian Federation

E-mail: novikov-ww@mail.ru

Abstract

Background: The actuality of the article is connected with the replacement problem of the toxic additions in the lubricating and cooling technological substances on less toxic and biodecomposable additions without losses of functional properties of these substances. At present time in scientific literature there is information about the possibility to apply the mesogenic cholesterol compounds as good additions. But the problem still requires the further research.

Materials and methods: The authors tested a large number of the lubricating and cooling technological substances structures with additions of cholesterol mesogenic compounds (MCC) while holes drilling.

Results: The authors carried out the experimental researches. The efficiency criterion of lubricity of the lubricating and cooling technological substances was suggested. The authors defined the most effective structures of the lubricating and cooling technological substances.

Conclusions: Implementation of the additions of cholesterol mesogenic compounds for the lubricating and cooling technological substances allows improving the lubricating ability of the structures and the quality of metal treatment.

Key words: metal treatment, drilling, surface quality, lubricant, cutting oil, lubricating fluid, additions, cholesterol compound, mesomorphism, tribology.

В современном энергетическом машиностроении большую роль играет качество обработки металлов. Улучшение процесса напрямую зависит от эффективности применяемых смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Одним из наиболее действенных способов их совершенствования является улучшение состава СОТС посредством введения в них различных по природе и химическому строению функциональных присадок. Общим недостатком применения функциональных присадок является в большинстве случаев их токсичность. Поэтому

большой интерес вызывает замещение их в составе СОТС экологически более безопасными аналогами. К таким альтернативным присадкам относятся мезогенные соединения холестерина (МСХ). Данные вещества являются нетоксичными, не обладают канцерогенным действием, полностью биоразлагаемы. Кроме того, благодаря своему химическому строению молекулы МСХ способны структурироваться в зонах трибологического контакта инструмента и обрабатываемой поверхности [1–4].

В последнее время были синтезированы соединения, имеющие высокие температуры термического разложения, что делает возможным применение их в процессах металлообработки. Высокая эффективность присадок МСХ, имеющих высокотемпературный диапазон мезоморфизма, была доказана в экспериментах по трению [5]. Также было выявлено, что наибольшей способностью улучшать условия трения обладают холестерилловые эфиры, содержащиеся в своем составе атом хлора. Анализ полученных результатов показал, что трибологическая активность данных присадок может быть связана со способностью в процессе трения распадаться на фрагменты с образованием свободных радикалов хлора и молекулярного остатка, которые иммобилизируются на металлической поверхности, образуя прочную защитную пленку [6].

Известно, что смазочное действие смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) при обработке металлов тоже во многом определяется их способностью разлагаться по радикальному механизму, образуя на поверхностях прочные хемосорбированные защитные смазочные пленки [7, 8]. Применяя МСХ в качестве присадок к СОТС, можно ожидать синергического эффекта от применения не только химически активных присадок, но и способных структурно упорядочиваться в зоне контакта. Предварительные эксперименты по резанию с присадками МСХ подтвердили перспективность дальнейших исследований [9, 10].

Были проведены испытания по проверке способности присадок МСХ улучшать свойства СОТС на операции сверления. Для проведения исследований нами был разработан ряд экспериментальных составов СОТС. В качестве базовых масел, в которых растворялись исследуемые присадки, были использованы индустриальные масла И-20, а также готовое режущее масло ГСВ-1 (ТУ 0258-199-05744685-2003), которое применяется на производстве. ГСВ-1 предназначено для использования в качестве смазочно-охлаждающего технологического средства при резании конструкционных легированных и коррозионно-стойких сталей на операциях глубокого сверления, протягивания, резьбонарезания.

Данные базовые масла модифицировались введением присадок МСХ марок Х-16 ($C_{45}H_{78}O_2$), Х-18 ($C_{38}H_{66}O_2$), Х-25 ($C_{34}H_{49}ClO_2$), Х-26 ($C_{27}H_{45}Cl$), Х-37 ($C_{42}H_{66}O_3$), Х-68 ($C_{46}H_{74}O_3$). Присадки растворяли на водяной бане в базовом масле при температуре 95–100 °С. Содержание присадок в базовом масле варьировалось от 0 до 3 масс. %. Некоторые присадки показали ограниченную растворимость в базовом масле, поэтому их содер-

жание в СОТС было ограничено областью образования истинного раствора.

Сравнительные испытания смазочной способности СОТС проводились на стенде по схеме, предложенной в справочнике [11], на операции сверления. Режим обработки: скорость резания $v = 21,9$ м/мин (1040 об/мин), осевая нагрузка $P = 270$ Н. Используемый инструмент – сверла $\varnothing 6,7$ мм из быстрорежущей стали Р6М5. Подача СОТС осуществлялась капельным методом с расходом 1 мл/мин. Обрабатываемый материал – сталь Ст3 в виде полос 510×12×6 мм. Каждый опыт проводился не менее пяти раз, производилась статистическая обработка результатов. Погрешность измерений среднего значения момента резания не превышала 5 %, шероховатости – 7 %.

Образцы для исследований закреплялись в держателе на столике динамометра, который позволял определять крутящий момент, возникающий при сверлении и развертывании. Сигнал с датчиков динамометра поступал через АЦП на ПК и обрабатывался программой PowerGraph 3.0. В ходе эксперимента фиксировались несколько показателей процесса, а именно: средний крутящий момент при сверлении M ; частота колебаний сил резания F ; шероховатость поверхности отверстия R_a ; подача инструмента S ; время обработки T .

В качестве критерия эффективности χ было взято среднеарифметическое отношение этих показателей к показателям при сверлении без СОТС:

$$\chi_i = \frac{1}{5} \left(\frac{M_0}{M_i} + \frac{R_{a0}}{R_{ai}} + \frac{F_0}{F_i} + \frac{T_i}{T_0} + \frac{S_i}{S_0} \right),$$

где индекс 0 – значение параметра при сверлении без СОТС; индекс i – номер состава экспериментальной СОТС. Полученные результаты представлены в таблице.

Установлено, что введение в состав присадок МСХ улучшает смазочную способность базовой СОТС. Использование в качестве СОТС индустриального масла И-20А дает улучшение смазочного действия по сравнению с резанием без СОТС на 29 %. Введение присадок МСХ (состав 8) поднимает это значение до 72 %. Это существенно выше эффективности режущего масла СП-4 (состав 4) и приближается по характеристикам к химически активному режущему маслу ГСВ-1 (состав 6). Применение присадок МСХ в составе режущих масел СП-4 повышает их характеристики от 45 до 116 % (состав 18), а ГСВ-1 с 91 до 126 % (состав 21).

Влияние состава СОТС на показатели процесса при сверлении

№ состава	Вид СОТС	Концентрация МСХ С, масс. %	M_0 , Н*м	R_{a0} , мкм	T_0 , с	S_0 , мм/мин	F_0	χ_i
1	Без СОТС	–	1,021	5,72	26,1	29,3	0,886	1
Относительные показатели смазочного действия СОТС								
			M_0/M_i	R_{a0}/R_a	T_i/T_0	S_i/S_0	F_0/F_i	
Базовые СОТС								
2	И-20А	0	1,10	1,23	1,113	1,098	1,93	1,29
4	СП-4	0	1,14	1,39	1,164	1,401	2,15	1,45
6	ГСВ-1	0	1,40	1,49	1,253	1,139	4,35	1,93
СОТС на основе И-20А с присадками МСХ								
7	И-20А + Х-16	3	1,19	1,51	1,307	1,172	2,26	1,48708
8	И-20А + Х-25	1,5	1,27	1,44	1,352	1,218	3,33	1,72267
9	И-20А + Х-26	3	1,20	1,36	1,387	1,194	3,09	1,64574
10	И-20А + Х-37	1,5	1,24	1,41	1,322	1,15	2,95	1,615
11	И-20А + Х-68	1,25	1,17	1,33	1,28	1,118	2,06	1,39178
СОТС на основе режущих масел с присадками МСХ								
16	СП-4 + Х-16	3	1,20	1,59	1,452	1,28	4,027	1,91
17	СП-4 + Х-25	3	1,17	1,62	1,556	1,242	2,768	1,67
18	СП-4 + Х-26	2,5	1,26	1,53	1,525	1,294	5,211	2,16
19	СП-4 + Х-18	3	1,18	1,49	1,494	1,255	3,281	1,74
20	СП-4 + Х-68	2,25	1,24	1,44	1,398	1,194	2,53	1,56
21	ГСВ-1 + Х-26	2,1	1,43	1,64	1,63	1,28	5,3	2,26

Наибольший смазочный эффект достигнут при использовании хлорсодержащих присадок Х-25 и Х-26 (составы 8, 9, 18, 21). Но и другие присадки также обладают сильным смазочным действием и могут быть рекомендованы в качестве смазочных компонент к СОТС.

Таким образом, введение присадок МСХ к СОТС позволяет повысить смазочную способность составов и улучшить качество металлообработки.

Список литературы

1. **Справочник** по триботехнике / под общ. ред. М. Хебды и А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1990. – Т. 2. – 420 с.
2. **Жидкие** кристаллы в технике и медицине / С.Ф. Ермаков, В.Г. Родненков, Е.Д. Белоенко, Б.И. Купчинов. – Минск: ООО «Асар»; М.: ООО «ЧеРо», 2002. – 412 с.
3. **А.с. 601304 (СССР)**. Смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки металлов / Р.И. Карabanov, В.Н. Латышев, И.Г. Чистякова, В.М. Чайковский. Оpubл. в Б.И. 1978. № 13.
4. **Топлива**, смазочные материалы и технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / под ред. В.М. Школьников. – М.: Изд. центр «Техинформ», 1999. – 596 с.
5. **Трибологические** свойства некоторых жидкокристаллических соединений холестерилла / М.А. Колбашов, В.Н. Латышев, В.В. Новиков, С.А. Сырбу // Трение и износ. – 2009. Т. 20. – № 6. – С. 564–567.
6. **О механизме** смазочного действия соединений холестерилла с химически активными латеральными заместителями / В.В. Новиков, В.Н. Латышев, С.А. Сырбу, М.А. Колбашов // Тезисы докладов на конференции Поликомтриб-2011, Гомель, Беларусь 27–30 июня 2011 года. – Гомель, 2011. – С. 162–163.
7. **Латышев В.Н.** Повышение эффективности СОЖ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 65 с.
8. **Латышев В.Н.** Трибология резания. Кн. 1: Фрикционные процессы при резании металлов / Иван. гос. ун-т. – Иваново, 2009. – 108 с.

9. **Колбашов М.А.** Повышение стойкости быстрорежущего инструмента и улучшение качества обработанной поверхности при резании за счет применения СОТС с присадками жидкокристаллических соединений: дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, 2010.

10. **Novikov V.V., Latyshev V.N., Marshalov M.S., Nuzhdina E.E., Kolbashov M.A.** Properties of Cutting Oils with Additives of Liquid Crystals // Journal of Friction and Wear. – 2011. – Vol. 32. – No. 6. – P. 452–456.

11. **Смазочно-охлаждающие** технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. – М.: Машиностроение, 1995. – 496 с.

References

1. Hebdy, M., Chichinadze, A.V. *Spravochnik po tribotekhnike* [Reference book of Tribological Engineering]. Moscow, Mashinostroenie, 1990, vol. 2. 420 p.
2. Ermakov, S.F., Rodnenkov, V.G., Beloenco, E.D., Kupchinov, B.I. *Zhidkie kristally v tekhnike i meditsine* [Liquid Crystals in Engineering and Medicine]. Minsk, «Asar»; Moscow, «CheRo», 2002. 412 p.
3. Karabanov, R.I., Latyshev, V.N., Chistyakova, I.G., Chaykovskiy, V.M. *Smazochno-okhlazhdayushchaya zhidkost' dlya mekhanicheskoy obrabotki metallov* [Lubricating Fluid for Mechanical Treatment of Metals]. Avtorskoe svidetel'stvo, no. 601304 (USSR), 1978.
4. Shkolnikova, V.M. *Topliva, smazochnye materialy i tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie. Spravochnik* [Fuels, Lubricating Fluids, and Technical Liquids. Types and Application. Reference book. Editor V. M. Shkolnikov]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Tekhinform», 1999. 596 p.
5. Kolbashov, M.A., Latyshev, V.N., Novikov, V.V., Syrбу, S.A. *Trenie i iznos*, 2009, vol. 20, no. 6, pp. 564–567.
6. Novikov, V.V., Latyshev, V.N., Syrбу, S.A., Kolbashov, M.A. *O mekhanizme smazochnogo deystviya soedineniy kholsterina s khimicheskimi aktivnymi lateral'nymi zamestitel'nyami* [About Lubricating Mechanism of Cholesterol Compounds with Chemically Active Lateral Substitute]. *Tezisy докладov na konferentsii Polikomtrib-2011* [Reports' Points at the "Polikomtrib-2011" Conference]. Gomel', Belarus', 2011, pp. 162–163.

7. Latyshev, V.N. *Povyshenie effektivnosti SOZh* [Increasing the Efficiency of Lubricating Fluids]. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 65 p.

8. Latyshev, V.N. *Tribologiya rezaniya. Kniga 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Cutting Tribology: Book 1, Frictional Processes for Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy gosudarstvennyy universitet, 2009. 108 p.

9. Kolbashov, M.A. *Povyshenie stoykosti bystrorezhushchego instrumenta i uluchshenie kachestva obrabotannoy poverkhnosti pri rezanii za schet primeneniya sots s prisadkami zhidkokristallicheskiy soedineniy*. Diss. kand. tekhn. nauk [Increasing the Stability of Quick-Cutting Tools and Quality Improvement of

Treated Surface while Cutting due to Application of the lubricating and cooling technological substances with Liquid Crystals Additives. Thesis of Candidate of Engineering]. Ivanovo, 2010.

10. Novikov, V.V., Latyshev, V.N., Marshalov, M.S., Nuzhdina, E.E., Kolbashov, M.A. Properties of Cutting Oils with Additives of Liquid Crystals. *Journal of Friction and Wear*, 2011, vol. 32, no. 6, pp. 452–456.

11. Entelisa, S.G., Berlinera, E.M. *Smazochno-okhlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva dlya obrabotki metallov rezaniem. Spravochnik* [Lubricating and cooling technological substances for Metal Treatment by Cutting]. Moscow, Mashinostroenie, 1995. 496 p.

Новиков Виктор Владимирович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный университет»,
кандидат технических наук, доцент, начальник научно-исследовательского управления,
e-mail: novikov-ww@mail.ru

Нуждина Елена Евгеньевна,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный университет»,
младший научный сотрудник трибологического НОЦ,
e-mail: novikov-ww@mail.ru

Сырбу Светлана Александровна,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный университет»,
проректор по учебной работе, доктор химических наук, профессор,
телефон (4932) 30-08-01.

Маршалов Максим Сергеевич,

ФГБОУВПО «Ивановский институт противопожарной службы МЧС России»,
старший преподаватель кафедры физики и теплотехники,
e-mail: novikov-ww@mail.ru

Лисицын Роман Юрьевич,

ФГБОУВПО «Ивановский институт противопожарной службы МЧС России»,
преподаватель-методист факультета заочного обучения,
e-mail: novikov-ww@mail.ru