

УДК 621.89.099.6, 532.135

М. А. Колбашов, В. Н. Латышев, М. С. Маршалов, В. В. Новиков, С. А. Сырбу

ВЛИЯНИЕ ПРИСАДОК ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ НА СВОЙСТВА РЕЖУЩИХ МАСЕЛ ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

INFLUENCE OF CHOLESTERIC LIQUID CRISTALS ADDITIVES ON CUTTING OILS PROPERTIES FOR METALWORKING

Ивановский государственный университет,
153025 Иваново, ул. Ермака, 39. E-mail: novikov-ww@mail.ru

Изучено влияние присадок некоторых жидкокристаллических производных холестерина на свойства стандартных режущих масел при обработке металлов. Установлено их положительное действие на технологические показатели процесса резания. Обсуждены проблемы практического использования.

Ключевые слова: *резание металлов, смазочно-охлаждающие технологические средства, жидкокристаллические соединения.*

Influence of the additives of some cholesteric liquid crystals on the properties of standard cutting oils for metalworking was studied. Their positive action reflect on the technological characteristics of the cutting process was observed. The problems of their practical use are discussed.

Key words: *cutting oils, metalworking, cholesteric liquid crystals.*

Введение

Известно, что присадки жидких кристаллов к смазочным маслам улучшают их противозадирные и противоизносные свойства масел при трении [1 – 4]. В предыдущей статье [5] нами была показана высокая эффективность некоторых присадок жидкокристаллических производных холестерина (ЖКСХ) в экспериментах по трению. В частности, было выявлено, что наилучшей способностью улучшать условия трения обладают холестерилловые эфиры, содержащие в своем составе атом хлора. По нашему предположению трибологическая активность данных присадок может быть связана со способностью в процессе трения распадаться на части с образованием свободных радикалов хлора и молекулярного остатка, которые химически реагируют с металлической поверхностью, образуя прочную защитную пленку. Известно, что смазочное действие смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) при обработке металлов тоже во многом определяется их способностью разлагаться по радикальным механизмам, образуя на поверхностях прочные хемосорбированные защитные смазочные пленки [6]. Применяя в качестве присадок к СОТС ЖКСХ, можно ожидать синергетического эффекта от применения присадок не только химически активных, но и способных структурно упорядочиваться в зоне контакта (рис. 1). Целью исследований была проверка эффективности хлорсодержащих присадок ЖКСХ при лезвийной обработке металлов.

Экспериментальные данные

На основе анализа предыдущих результатов были выбраны две присадки X-16 и X-25. Физико-химические свойства данных присадок приведены в табл. 1 [7]. Холестерилловый эфир олеиновой кислоты (X-16), как производное олеиновой кислоты, обладает сильными поверхностно-активными свойствами и его эффективность в качестве присадки к СОТС подтверждена работой В.А. Короткова [8]. Холестерилловый эфир *n-n*-хлорбензойной кислоты (X-25) как эффективная присадка показал себя в наших экспериментах на трение и износ [5]. Он содержит активный атом хлора, а также обладает повышенной температурой перехода в мезофазу и в изотропную жидкость по сравнению с другими мезогенами, что дает ему возможность сохранять свои свойства при повышенных температурах в условиях резания.

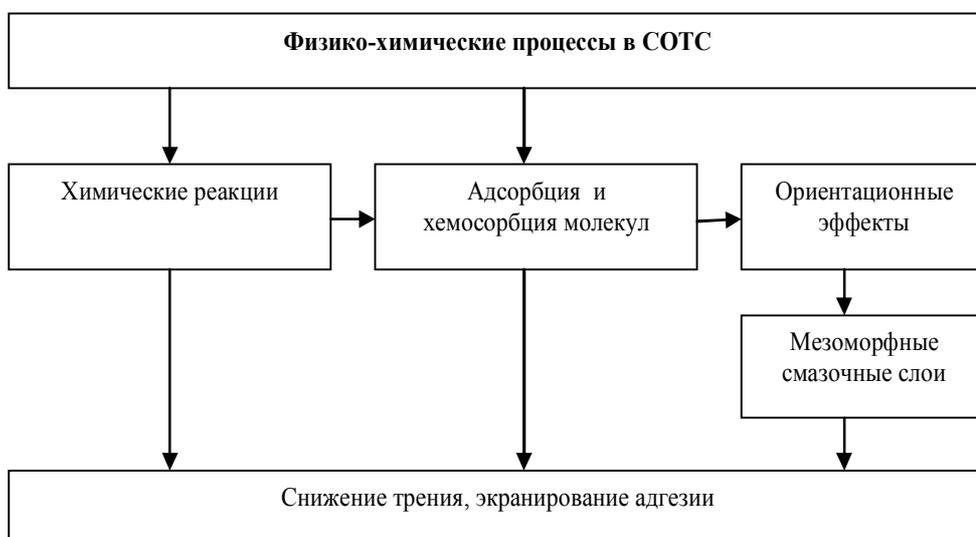


Рис. 1. Схема образования мезоморфного смазочного слоя на поверхностях трения

Таблица 1

Физико-химические свойства исследуемых присадок [7]

Промышленное наименование	Название соединения	Химическая формула	Температура плавления, °C	Температура превращений в мезоморфной фазе, °C	Температура превращения в изотропную жидкость, °C	Молекулярная масса
X-16	Холестерилловый эфир олеиновой кислоты	$C_{45}H_{78}O_2$	–	37,0 S→Ch	–	650
X-25	Холестерилловый эфир <i>n-n</i> -хлорбензойной кислоты	$C_{34}H_{49}ClO_2$	165,0	–	199,5 Ch→I	524

Таблица 2

Растворимость присадок X-16 и X-25 в базовых маслах

Базовое масло	Предельная концентрация присадки при 20 °С, мас. %	
	X-16	X-25
И-20А	Р	1,6
СП-4	Р	2,25
ГСВ-1	Р	1,75

Примечание: максимальная концентрация вводимых присадок ограничивалась 3 мас. %, Р – присадка растворима при максимальной концентрации

Для исследования были выбраны три вида базовых масел. Индустриальное масло И-20А выбрано потому, что оно является основой производства режущих масел. В его составе изначально отсутствуют иные присадки, поэтому триботехнические эффекты, связанные с введением изучаемых ЖКСХ, не искажаются под влиянием других активных присадок. Были также взяты два вида реальных режущих масел ГСВ и СП-4 с целью изучения возможности модификации их свойств за счет введения исследуемых присадок.

Исследуемые присадки растворялись в нагретом на водяной бане базовом масле при температуре 95...100 °С, а затем охлаждались до комнатной температуры. Установлено, что присадка X-16 полностью растворима в исходных маслах. Присадка X-25 лишь частично растворима (табл. 2). В связи с ограниченной растворимостью для обеспечения сопоставимости результатов в дальнейшем мы использовали растворы присадок в базовом масле одинаковой молярной концентрации – $2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/кг.

Исследование эффективности масел с присадками при резании проводилось на трибометрическом стенде на базе токарно-винторезного станка ТВ6 при сверлении. Режим резания: диаметр сверла Р6М5 5,3 мм, частота вращения – 120 об/мин (1,8 м/мин) и 710 об/мин (11,8 м/мин), подача – 0,08 мм/об. Образец обрабатываемого материала – полоса стали 12Х18Н10Т сечением 10×10 мм – закреплялся в тензометрической головке станка. Показания сигнала крутящего момента с тензометрической головки передавались через АЦП на персональный компьютер.

В качестве интегральной характеристики смазочной способности СОТС использовали работу резания. За критерий стойкости инструмента бралось время работы инструмента, за которое работа резания увеличивалась в 2 раза. Подача СОТС осуществлялась капельным методом с расходом 1 мл/мин. Шероховатость R_a измеряли на профилографе-профилометре «Абрис ПМ-7» с радиусом закругления иглы 5 мкм на базовой длине интегрирования – 0,8 мм.

В другой серии опытов были проведены модельные эксперименты по определению усадки стружки, изучению корней стружки, а исследование деформированных слоев после обработки проводилось на токарно-винторезном станке модели 16К20.

В качестве обрабатываемого материала использовалась сталь 45, в качестве режущего инструмента применялись упорно-проходные резцы из быстрорежущей стали Р6М5 (HRC 51-52). Выбор материала обусловлен высокой чувствительностью к нега-

тивными воздействиям среды. Геометрия резцов была выбрана согласно справочной литературе. При точении углеродистых сталей: $\varphi = 90^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\gamma = 20^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 6^\circ$. Режим резания: $v = 30$ м/мин (0,5 м/с), $S = 0,1$ мм/об., $t = 0,5$ мм. Подача СОТС осуществлялась капельным методом с расходом 1 мл/мин.

Методика изучения усадки стружки состояла в следующем. На заготовке диаметром 74,8 мм с противоположенных сторон прорезались два продольных паза шириной 5 мм и глубиной 6 мм. Таким образом, величина дуги окружности между пазами составила 112,49 мм. Коэффициент усадки стружки вычислялся по формуле:

$$K = l_0 / l_{стр},$$

где l_0 – длина среза (112,49 мм), $l_{стр}$ – длина стружки.

Корни стружки получались методом откидного резца, который отбрасывался в момент резания со скоростью, превышающей скорость резания. Структура корней изучалась методами металлографического анализа на металлографическом микроскопе МИМ-7.

Обсуждение результатов

Результаты экспериментов по влиянию присадок ЖКСХ на процесс сверления приведены в табл. 3. Обнаружено положительное влияние присадок ЖКСХ на процесс сверления материалов – снижение силовых параметров, уменьшение шероховатости поверхности, повышение стойкости инструмента.

Исследование влияния на работу резания показали, что при скорости 1,8 м/мин (0,03 м/с) работа резания снижается для чистого масла СП-4 на 15 % по сравнению с И-20А. Добавление присадки Х-16 снижает работу резания на 19 %. Добавление же присадки Х-25 снижает работу резания на 26 %.

Среднеарифметическое отклонение профиля R_a снижается для чистого СП-4 на 21 %, при добавлении присадки Х-16 – на 30 %, присадки Х-25 – на 36 %. Стойкость инструмента повышается на 42 % для СП-4, на 75 % – для СП-4+Х-16 и на 85 % – для СП-4+Х-25.

При увеличении скорости резания до 11,8 м/мин (0,2 м/с) эффективность присадок становится ниже. Работа резания снижается при использовании СП-4 на 4 %, при добавлении Х-16 на 7 %, при добавлении присадки Х-25 на 11 %. Шероховатость поверхности R_a снижается на 17 % для СП-4, на 20 % – для СП-4 + Х-16, на 24 % – для СП-4 + Х-25. Стойкость инструмента также увеличивается, но не на большую величину: при использовании СП-4 на 25 %, СП-4+Х-16 на 28 %, СП-4+Х-25 на 31 %.

При использовании в качестве базового СОТС ГСВ-1 эффективность оказывается выше по сравнению с СП-4. Исследование влияния на работу резания показали, что при скорости 1,8 м/мин (0,03 м/с) работа резания снижается для чистого масла ГСВ-1 на 18 % по сравнению с И-20А. Добавление присадки Х-16 снижает работу резания на 21 %. Добавление же присадки Х-25 снижает работу резания на 30 %.

Среднеарифметическое отклонение профиля R_a снижается для чистого ГСВ-1 на 26 %, при добавлении присадки Х-16 – на 32 %, присадки Х-25 – на 39 %. Стойкость инструмента повышается на 51 % для СП-4, на 82 % – для СП-4+Х-16 и на 90 % – для СП-4+Х-25.

Таблица 3

**Характеристики процесса сверления 12Х18Н10Т
с использованием ЖКСХ**

СОТС	Скорость резания 1,8 м/мин (0,03 м/с)			Скорость резания 11,8 м/мин (0,2 м/с)		
	Работа резания $A_0, \text{МН}\cdot\text{м}$	$Ra_0,$ мкм	Стойкость $T_0, \text{мин}$	Работа резания $A_0, \text{МН}\cdot\text{м}$	$Ra_0, \text{мкм}$	Стойкость $T_0, \text{мин}$
И-20А	96,4	2,4	42	74,3	1,6	34
	A/A_0	Ra/Ra_0	T/T_0	A/A_0	Ra/Ra_0	T/T_0
И-20А	1	1	1	1	1	1
СП-4	0,85	0,79	1,42	0,96	0,83	1,25
СП-4 + Х-16	0,81	0,70	1,75	0,93	0,8	1,28
СП-4 + Х-25	0,74	0,64	1,85	0,89	0,76	1,31
ГСВ-1	0,82	0,74	1,51	0,94	0,82	1,36
ГСВ-1 + Х-16	0,79	0,68	1,82	0,91	0,76	1,41
ГСВ-1 + Х-25	0,70	0,61	1,90	0,86	0,74	1,45

При увеличении скорости резания до 11,8 м/мин (0,2 м/с) эффективность присадок становится ниже. Работа резания снижается при использовании ГСВ-1 по отношению к маслу И-20А на 6 %, при добавлении Х-16 – на 9 %, при добавлении присадки Х-25 – на 14 %. Шероховатость поверхности R_a снижается на 18 % для ГСВ-1, на 24 % – для ГСВ-1 + Х-16, на 26 % – для ГСВ-1 + Х-25. Стойкость инструмента также увеличивается при использовании ГСВ-1 на 36 %, ГСВ-1+Х-16 – на 41 %, ГСВ+Х-25 – на 45 %.

Анализ результатов на усадку стружки показывает, что применение ЖКСХ в составах стандартных СОТС позволяет снизить коэффициент продольной усадки стружки. На рис. 2 представлена гистограмма коэффициента продольной усадки стружки при использовании различных СОТС. Наибольшее значение коэффициента продольной усадки стружки получили при резании всухую. При использовании в качестве СОТС режущих масел с присадками ЖКСХ коэффициенты оказываются ниже, чем без присадок. Также при использовании в качестве СОТС режущих масел с присадками ЖКСХ, содержащих в своем составе атомы хлора, значение коэффициента усадки оказывается еще ниже. Для режущего масла СП-4 коэффициент усадки стружки снижается по отношению к резанию всухую на 7 %. При добавлении присадки ЖКСХ Х-16 коэффициент снижается на 14 %, а при добавлении хлорсодержащей присадки Х-25 коэффициент усадки стружки снижается на 25 %. При использовании режущего масла ГСВ-1 значение коэффициента усадки стружки ниже, чем при использовании СП-4. Так по отношению к резанию всухую, величина коэффициента усадки стружки снижается на 9 %, при добавлении присадки Х-16 – на 12 %, при добавлении присадки Х-25 – на 27 %.

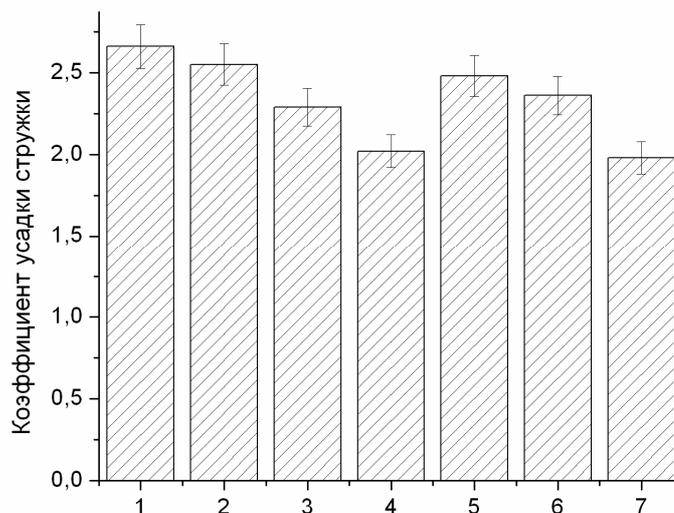


Рис. 2. Гистограмма продольной усадки стружки при точении стали 45:
 1 – всухую, 2 – СП-4, 3 – СП-4 + X-16, 4 – СП-4 + X-25, 5 – ГСВ-1,
 6 – ГСВ-1+X-16, 7 – ГСВ-1+X-25

Причиной изменения усадки стружки при воздействии СОТС является на наш взгляд изменение пластичности материала. Известно, что более пластичные материалы имеют большую степень поперечной усадки стружки, чем менее пластичные. Пластичность материала повышается с увеличением температуры в зоне резания. Чем выше температура, тем выше пластичность, тем выше коэффициент усадки стружки. Эффективная смазка уменьшает температуру за счет уменьшения теплоты, выделяемой при трении на передней и задней поверхностях резца, тем самым уменьшает усадку стружки. Таким образом, применение смазок с присадками X-25 и X-16 за счет эффективного смазочного действия позволяет снизить температуры в зоне резания. При этом хлорсодержащая присадка оказывается более эффективной.

Выводы

Эксперименты по использованию при металлообработке СОТС с присадками ЖКСХ подтвердили их высокую эффективность в качестве трибоактивных веществ. Отмечено снижение силовых параметров резания, уменьшение шероховатости поверхности, повышение стойкости инструмента, снижение коэффициента усадки стружки.

Подтвердилась рабочая гипотеза о более высокой эффективности хлорсодержащей присадки ЖКСХ X-25 по сравнению с присадкой X-16, не содержащей активных атомов.

Отмечено понижение эффективности СОТС с присадками ЖКСХ с повышением скорости обработки. Следовательно, данные СОТС можно рекомендовать для операций с малыми скоростями резания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы 2009–2010» (Грант 2.1.2.2194).



Список литературы

1. Справочник по триботехнике / под общ. ред. М. Хебды и А. В. Чичинадзе. М. : Машиностроение, 1990. Т. 2. 420 с.
2. Ермаков С. Ф., Родненков В. Г., Белоенко Е. Д., Купчинов Б. И. Жидкие кристаллы в технике и медицине. Мн. : ООО «Асар»; М. : ООО «ЧеРо», 2002. 412 с.
3. А.с. 601304 СССР. Смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки металлов / Р. И. Карабанов, В. Н. Латышев, И. Г. Чистякова, В. М. Чайковский. Оpubл. 1978, Б.И. № 13.
4. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости. Ассортимент и применение : справочник / под ред. В. М. Школьников. М. : Издат. центр «Техинформ», 1999. 596 с.
5. Колбашов М. А., Латышев В. Н., Новиков В. В., Сырбу С. А. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2009. Вып.1 (27). С. 78 – 85.
6. Латышев В. Н. Трибология резания. Кн. 1: Фрикционные процессы при резании металлов. Иваново : Иван. гос. ун-т, 2009. 108 с.
7. Demus D., Demus H., Zschke H. Flussige Kristalle in Tabellen. Leipzig. VEB Deut. Verlag, 1974. 356 с.
8. Коротков В. Б. Влияние мезогенных технологических сред на процесс резания медно-никелевых сплавов : дис. канд. техн. наук. Горький, 1982. 250 с.

Поступила в редакцию 18.06.2010 г.