

УДК 621.9.079:621.892

**В. А. Годлевский, В. В. Марков\***

**СИНЕРГИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНО-  
И ХИМИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ  
СОТС ДЛЯ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ**

**SYNERGIC INTERACTION OF SURFACE-  
AND CHEMICAL-ACTIVE COMPONENTS OF CUTTING FLUIDS**

Ивановский государственный университет, 153025 Иваново, ул. Ермака, 39

E-mail: [godl@yandex.ru](mailto:godl@yandex.ru)

\* Ивановский государственный энергетический университет,  
153003 Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34

*Предложена гипотеза о композитной структуре граничного смазочного слоя, образованного двумя компонентами смазочной среды: поверхностно- и химически активными. Показан пример такой оптимизированной смазочной системы, содержащей ПАВ и перекисные соединения, и оказавшейся эффективной при обработке резанием нержавеющей стали.*

*The hypothesis about composite structure of boundary lubrication layer, formed by two components of the lubricant: surface- and chemical-active was offered. The example of such optimized lubricant system, containing surfactant and peroxide substance which has appeared effective during cutting of stainless steel was demonstrated.*

**Ключевые слова:** *граничный смазочный слой, мезоморфизм, ПАВ, перекись, смазочно-охлаждающая жидкость, резание металлов.*

**Keywords:** *boundary lubrication layer, mesomorphism, surfactant, peroxide, cutting fluid, metal machining.*

Известны лишь два основных механизма трибологического действия присадок, в результате действия которых может образовываться граничный смазочный слой как при трении скольжения, так и в процессе обработки металла режущим инструментом: это физико-химический (адсорбционный) процесс и химическая поверхностная реакция [1]. В контексте этого общего представления об отличительных особенностях процесса резания (высокая температура и химическая активность свежесформированных поверхностей) многим исследователям представлялось, что химическая компонента в данном случае превалирует над физико-химической. Так, например, Уильямс и Тейбор пришли к выводу, что при резании (в отличие от простого скольжения) идеальная смазка должна иметь малый размер молекулы и высокую химическую активность [2]. В этом смысле действительно близкими к «идеалу» оказался четыреххлористый углерод и некоторые родственные ему низкомолекулярные хлорзамещенные продукты, проявляющие аномально высокую смазочную активность, в особенности при резании труднообрабатываемых материалов. Казалось бы, трудно было предположить, что при температуре в несколько сотен градусов Цельсия длинноцепочечная органическая молекула,

например, углеводорода или коллоидного ПАВ может обеспечивать сколь-нибудь устойчивый адсорбционный слой.

В то же время неоспоримым является тот факт, что не только углеводородные СОТС, но и растворы ПАВ, несомненно оказывают существенный смазочный эффект при достаточно интенсивных технологических режимах резания. И этот парадоксальный, на первый взгляд, эффект естественно объясняется той особенностью процесса физической адсорбции, что при повышении температуры адсорбционное равновесие в граничном смазочном слое устанавливается, хотя и на более низком уровне, но *быстрее*. Иллюстрацией для этого утверждения может служить изображение двух классических изотерм Ленгмюровской мономолекулярной адсорбции, которые получены в одинаковых условиях, но при различных температурах (рис. 1) [3]. Видно, что высокотемпературная кривая 2 при меньшем значении равновесного адсорбционного максимума имеет более крутой угол подъема ( $\alpha_2 > \alpha_1$ ).

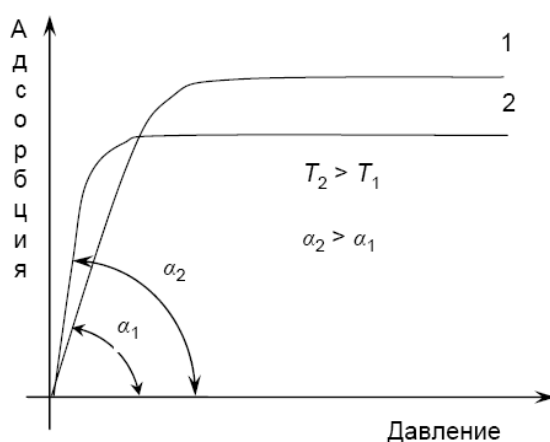


Рис. 1. Различие формы изотерм Ленгмюровской адсорбции, возникающее в результате повышения температуры процесса

Приведенные соображения справедливы еще и потому, что более быстрый адсорбционный процесс особенно важен для смазки в условиях резания, когда доступ среды в контактную зону затруднен, и эффективность смазочного действия в определяющей степени обусловлена кинетическим фактором проникновения смазочного материала в межповерхностную капиллярную сеть [4].

Принимая во внимание вышесказанное, следует предположить, что и адсорбционный, и хемосорбционный механизмы, по-видимому, в широком диапазоне условий резания действуют одновременно. Но по мере повышения скорости резания (а, следовательно, и температуры) последний процесс становится все более преобладающим, пока не наступит некоторая критическая скорость, при которой действие любых смазок становится незначимым [5]. В этом случае можно заключить, что совместное использование в одной смазочной композиции поверхностно- и химически-активного компонентов позволит сделать СОТС более универсальной, и по крайней мере, расширит температурный диапазон ее технологической эффективности.

В настоящей работе была поставлена задача проверить высказанную выше гипотезу о совместном действии ПАВ и химически-активных присадок. Для этого сначала были выполнены сравнительные испытания различных ПАВ. Производили процесс то-

чения стали 12X18H10T резцом из твердого сплава ВК8 в среде растворов нескольких водных поверхностно-активных СОТС 5 %-й концентрации. Выбор обрабатываемого материала был predetermined тем, что в силу повышенной прочности и пластичности его обработка резанием затруднена, что требует применения специальных трибоактивных смазочных сред.

Точение производилось при следующих режимах резания: скорость резания  $v = 3,0 \dots 3,6$  м/с, подача  $s = 0,11 \dots 0,13$  мм/об., глубина резания  $t = 0,3 \dots 0,5$  мм. СОТС подавалась в зону резания в виде свободно падающей струи при расходе 300...500 мл/мин. Геометрия резцов была постоянной:  $\gamma = 9^\circ$ ;  $\alpha = 9^\circ$ ;  $\varphi = 90^\circ$ ;  $\varphi_1 = 9^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ . Проекция силы резания  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_z$  измеряли универсальным динамометром УДМ-600. Также измеряли величину размерного (радиального) износа за фиксированное время 600 с. Режим резания был достаточно интенсивен, чтобы рабочая температура процесса могла вести к разложению органического смазочного материала (около 500 °С).

Результаты, приведенные в таблице, показывают, что различие в природе ПАВ действительно имеют место. Эти различия статистически значимы (разница в эффекте в несколько раз превышает диапазон погрешности), и они подтверждают тот факт, что ПАВ действуют как смазочные агенты по-разному в силу различий молекулярного строения и, как следствие, — адсорбционной способности. Если бы эти вещества в результате термодеструкции потеряли молекулярную индивидуальность, то при распаде получились бы примерно одинаковые фрагменты, дававшие бы одинаковую трибологическую эффективность.

**Размерный износ резцов ВК8 за время 600 с при точении стали 12X18H10T в среде 5 %-х водных растворов ПАВ**

№ п/п	Наименование СОТС	$h_p$ , мкм	Погрешность эксперимента
1	Вода	128	± 12 мкм
2	Триамон	80	
3	Сульфорицинат Е	75	
4	БВ	100	
5	ОП-7	100	
6	ОП-10	85	
7	Синтамид-5	65	

В дальнейших экспериментах исследовали вопрос о совместном влиянии ПАВ и химически-активных присадок на смазочное действие СОТС. Хорошей моделью химически-активной присадки являются неорганические соединения перекисного типа. Молекулы простейших неорганических перекисей малы по размеру, имеют слабую связь активного элемента (кислорода) в молекулярной структуре, а кроме того – перспективны для практического применения с экологической точки зрения, поскольку кислород является в этом отношении самым благоприятным трибоактивным элементом (по сравнению с применяемыми в большинстве присадок хлором, серой и фосфором) [6].

В качестве исследуемых перекисных соединений были взяты перекись водорода  $H_2O_2$ , перекись магния  $MgO_2$ , перекись кальция  $CaO_2$  и перекись цинка  $ZnO_2$ . Концен-

трации перекисных соединений брались с учетом обеспечения равенства содержания в них активного компонента – перекисного кислорода.  $MgO_2$ ,  $CaO_2$  и  $ZnO_2$  в воде не растворимы, поэтому они испытывались только в составе раствора ПАВ, который способствует образованию устойчивых суспензий.

Примеры полученных зависимостей показаны на рис. 2 и 3. Рис. 2 показывает изменение компоненты силы резания  $P_x$  с ростом скорости резания. Эта компонента в наибольшей степени должна отражать смазочное действие СОТС, поскольку ее направление близко совпадает с направлением схода стружки, и поэтому изменение коэффициента трения стружки по передней поверхности резца находит отражение главным образом в этой компоненте силы.

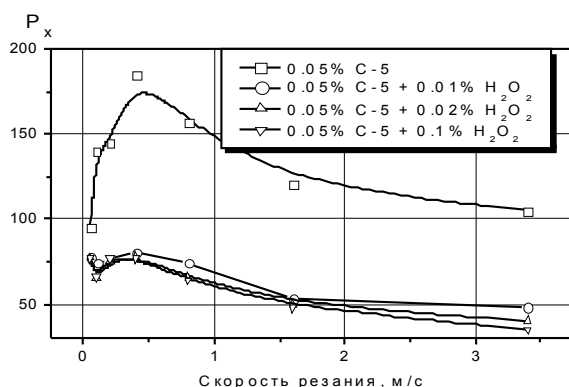


Рис. 2. Зависимость проекции силы резания  $P_x$  от скорости резания и концентрации присадки перекиси водорода в 0,05 %-м растворе ПАВ Синтаמיד-5

Из анализа графиков на рис. 2 можно сделать интересные заключения общего характера:

1. Относительно небольшая (0,2 % мас.) концентрация ПАВ Синтаמיד-5 (С-5) приводит к существенному (до двух раз) снижению силы. Это свидетельствует о том, что здесь имеет место не объемный, а именно поверхностный (адсорбционный) эффект.
2. За пределами зоны наростообразования на инструменте (свыше 0,5 м/с) с ростом скорости резания присадка ПАВ монотонно повышает эффективность. На этой кривой не видно перегиба, который существовал бы в случае, если бы при какой-либо критической скорости резания имел бы место резкий переход от физико-химического к химическому механизму образования смазочного слоя.
3. Введение перекиси водорода в очень небольшом количестве (0,01 %) также приводит к значительному трибологическому эффекту, что опять же свидетельствует о преобладании поверхностных реакций в смазочном процессе. Дальнейшее увеличение концентрации присадки (до 0,1 %), как и следует ожидать, прироста эффективности не дает.

Различие в действии перекисей различной природы (рис. 3) на главную силу резания  $P_z$  носит весьма выраженный характер. Перекиси кальция и цинка гораздо бо-

лее эффективны, чем перекиси водорода и магния. Причем различие, определяемое природой перекиси, более существенно, чем отклонения, вызванные изменением скорости резания. Здесь безусловно причина кроется в различной устойчивости оксидных смазочных слоев, образуемых различными перекисями.

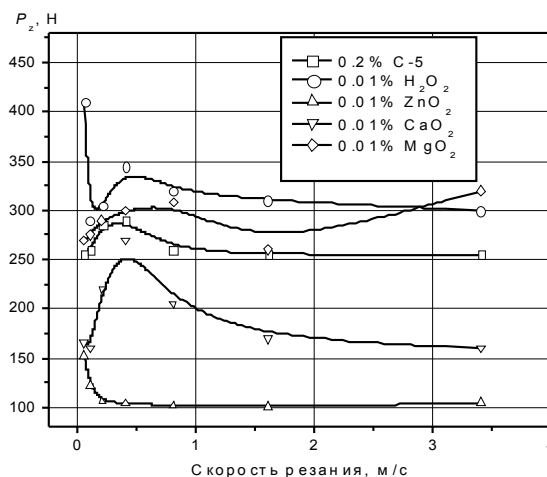


Рис. 3. Зависимость проекции силы резания  $P_z$  от скорости резания для присадок перекисей различной химической природы при точении стали 12X18H10T

### Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. ПАВ в исследованном диапазоне резания работает в соответствии с механизмом физической адсорбции, что можно объяснить тем обстоятельством, что несмотря на усиливающуюся с ростом скорости резания десорбцию, кинетика адсорбционного процесса становится более благоприятной для образования адсорбционного граничного смазочного слоя.
2. Химически-активные присадки перекисей хорошо совместимы с присадками ПАВ и действуют с последними синергически.
3. Для образования эффективного смазочного слоя достаточны концентрации исследованного типа присадок не более 0,2 % для ПАВ и не более 0,05 % для перекисей.
4. Строение молекул ПАВ и химическая природа перекиси являются значимыми факторами при оптимизации состава СОТС.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки РФ (грант № 2.1.2/4670).

### Список литературы

1. Смазочные материалы. Антифрикционные и противоизносные свойства: Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 224 с.
2. *Williams J. A., Tabor D.* // *Wear*. 1977. Vol. 43. № 3. P. 275 – 292.
3. *Адамсон А.* Физическая химия поверхностей / Пер. с англ. И. Г. Абидора; Под ред. З. М. Зорина, В. М. Муллера. М.: Мир, 1979. 568 с.
4. *Перцов Н. В.* // Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. Киев, 1986. С. 5 – 11.
5. *Годлевский В. А., Волков А. В., Латышев В. Н., Маурин Л. Н.* // Трение и износ. 1996. Т. 17. № 3. С. 345 – 351.
6. *Латышев В. Н.* Повышение эффективности СОЖ. М.: Машиностроение. 1985. 65 с.

*Поступила в редакцию 5.11.2008 г.*