

УДК 621.923.048.6:621.922.34:621.981

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-9-13-18

Ю.Э. Рыжов, С.Л. Абрамова

## УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ФИНИШНОЙ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВНЫХ СОТС

Рассмотрены вопросы влияния смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) на формирование эксплуатационных свойств поверхностных слоев деталей машин в результате финишной алмазно-абразивной обработки. Металлообработка в отличие от трения металлов характеризуется более быстрым обновлением поверхностных слоев вследствие стружкообразования и, соответственно, меньшим временем модификации ювенильной поверхности металла под действием

внешней среды.

В ходе выполнения работы изучалось влияние ряда СОТС как на производительность финишной обработки высокопрочных сталей, так и на трибологические свойства обработанных поверхностей.

**Ключевые слова:** трибологические свойства, механическая обработка, адсорбция, спектроскопия, хонингование, доводка, ПАВ.

Yu.E. Ryzhov, S.L. Abramova

## MACHINERY OPERATIONAL PROPERTY CONTROL DURING DIAMOND-ABRASIVE FINISHING USING ACTIVE SOTS

There is carried out a number of experiments with the purpose of analyzing SOTS impact upon both finishing productivity, and physical-chemical state and tribological behavior of surfaces machined, and also a possibility for creation according to the results of the investigations carried out a relatively universal microemulsion SOTS based on existing in the Ukraine the line of oils, PAV, corrosion inhibitors, alloying additives etc.

As SOTS samples there were used both well-known compounds, for example, Camix, Nope Right (USA), and carbamide having in its structure boron, boron-phosphorus-containing additive, water-soluble phosphate, tributyl phosphate (oil-soluble), concen-

trate SOTS tribol, having in its structure compounds of boron, nitrogen and phosphorous; ethylic ether of fatty acids; methyl ether of colza oil; Sarkozyl-O having in its structure easily-decomposable chlorine compounds.

From the results obtained it is possible to draw a conclusion that during finishing in the environment of water-compatible SOTS an important role in the formation of the properties of the surface worked is played by hydrocarbon components and additives which contribute to the formation of the thinnest surface layers modified with carbon and oxygen.

**Key words:** tribological properties, machining, adsorption, spectroscopy, honing, smooth finish, PAV.

### Введение

Современные СОТС для механической обработки – сложные многокомпонентные системы, которые должны обладать целым комплексом свойств, необходимых для достижения качественного процесса металлообработки. СОТС должны обеспечивать оптимальную стойкость инструмента, эффективное охлаждение детали, заданное качество обрабатываемой поверхности, моющее и антикоррозионное действие.

Рациональный путь создания высокоэффективных СОТС заключается в глубоком изучении природы их действия пу-

тем научно-обоснованного выбора основы, введения в композицию присадок с необходимым комплексом химических и механических свойств. Для финишной обработки металлов могут применяться СОТС как на углеводородной, так и на водной основе. Учитывая экологические, санитарно-гигиенические аспекты, вопросы пожарной безопасности и существующий практический опыт, наиболее перспективна разработка водосмешиваемых полусинтетических и синтетических СОТС.

**Концепция предлагаемой методики и результаты исследований****Антифрикционные свойства СОТС.**

Исследования антифрикционного воздействия различных химических соединений на стальную поверхность представляют собой однофакторный эксперимент.

Данный эксперимент заключается во введении в базовый состав соединений, содержащих активные химические элементы и их комбинации. При этом установлено, что в зависимости от состава присадки в композиции поверхностный слой металла после обработки имеет различные антифрикционные свойства как по выдерживаемым нагрузкам, так и по коэффициенту трения. Установлено, что минимальный коэффициент трения соответствует применению фосфорсодержащих присадок в пределах 1,2–1,3%.

Соединения, содержащие кремний в составе СОТС, обеспечивают при сухом трении характеристики, подобные фосфатным соединениям. Однако они уступают фосфорсодержащим присадкам по крити-

ческим нагрузкам исследуемых поверхностей металла. Для присадок, содержащих одновременно бор и азот зависимость от концентрации характеризуется наличием экстремума. Аналогичные зависимости установлены и для присадок, одновременно содержащих фосфор, серу и азот.

Для финишных операций рабочие жидкости должны обладать высоким антикоррозионным и моющим действием на поверхность. Моющее действие СОТС характеризуется степенью очистки обрабатываемой детали и инструмента от шлама.

В табл. 1 приведены данные по моющему действию, антикоррозионным и смазочным свойствам 3 %-ных водных растворов некоторых неионогенных и анионоактивного ПАВ, где  $P_c, H$  – нагрузка сваривания,  $P_k, H$  – критическая нагрузка,  $I_3$  – индекс задира. Скорость коррозии стали Ст. 40 и моющее действие ПАВ изучались на приборе УИСК-1, смазочные свойства – на машине трения ЧШМ.

Таблица 1

Скорость коррозии стали Ст. 40, моющая способность и смазочные свойства ПАВ

№	ПАВ	Скорость коррозии Ст. 40, мм/год $\times 10^{-2}$	Моющая способность, %	Смазочные свойства по ГОСТ 9490–75		
				$P_c, H$	$P_k, H$	$I_3$
1	Синтанол АЛМ–10	7,20	45,0	1410	320	23,7
2	Синтанол АЦСЕ–12	7,00	34,0	1260	560	24,9
3	Синтанол ДС–10	11,20	52,0	1260	710	27,7
4	Синтамид–5	0,64	50,0	1190	750	33,7
5	Стеарокс–б	1,44	20,5	1330	800	41,2
6	Синакто–406*	0,32	28,5	1260	1000	46,3
7	Олеат триэтаноламина	0,32	17,0	1000	890	39,6
8	Неонол АФ–9–10	12,00	48,0	1330	425	35,7

\*Анионоактивная

Из приведенных в табл. 1 результатов видно, что высокой моющей способностью обладают неионогенные ПАВ, оксиэтилированные спирты, которые, однако, характеризуются невысокими антикоррозионными и смазывающими свойствами. Удовлетворительную моющую способность, антикоррозионные и смазывающие свойства имеют оксиэтилированные амиды. Оксиэтилированные кислоты так же, как и анионоактивные ПАВ, мыла и сульфаты, обладают низкой моющей спо-

собностью, но имеют значительно лучшие антикоррозионные и смазывающие свойства. Как правило, в композициях СОТС присутствуют анионоактивные ПАВ – мыла высших жирных кислот, которые несут ответственность за основные функциональные свойства СОТС, и неионогенные ПАВ. Последние выполняют вспомогательную функцию, улучшают некоторые свойства композиции, например стабильность к минерализованным водам и моющую способность [1].

**Механизм воздействия СОТС на обрабатываемую поверхность.** Проведен ряд экспериментов с целью изучения влияния ряда СОТС как на производительность финишной обработки, так и на физико-химическое состояние и трибологические свойства обработанных поверхностей, а также возможности создания по результатам проведенных исследований относительно универсальной микроэмульсионной СОТС на базе существующих в Украине ассортиментов масел, ПАВ, ингибиторов коррозии, легирующих присадок и др.

Образцами СОТС служили как известные составы, например, Камикс, None Right (США), так и карбамид, содержащий в своем составе бор, бор-фосфорсодержащая присадка, водорастворимый фосфат, трибутилфосфат (маслорастворимый), концентрат СОТС Трибол, имеющий в своем составе соединения бора, азота и фосфора; этиловый эфир солей жирных кислот; метиловый эфир рапсового масла; Саркозил-О, имеющий в своем составе легко разлагаемые соединения хлора.

Трибологические свойства поверхностей образцов после обработки изучали по методике УкрНИИ НП "МАСМА" при сухом трении в атмосфере воздуха на вибротрибометре Optimol SRV, применяя схему трения шар-плоскость. Применялись шары диаметром 12,7 мм (по ГОСТ 3722), изготовленные из стали ШХ15 твердостью HRC 62–64. Плоскостью служили поверхности обработанных образцов. Трение производилось при частоте возвратно-

поступательного движения шара 50 Гц и амплитуде колебания 1 мм. Пару трения нагружали, измеряя коэффициент трения  $f$  в течение 10 мин в диапазоне 10–50 Н, а далее – со скоростью 400 Н/мин до нагрузки сваривания  $F_{св}$ . По площади следа износа шара в момент сваривания  $S_{св}$  рассчитывали давление при сваривании пары  $P_{св} = F_{св}/S_{св}$ , что характеризует стойкость обработанной поверхности к схватыванию.

Физико-химическое состояние поверхностных слоев стали и его изменение при обработке и трибологических исследованиях изучали методами электронной растровой микроскопии и Оже-спектроскопии с помощью Оже-спектрального микрозонда JAMP-10S. Глубинное распределение элементного состава поверхностных слоев определяли с помощью их ступенчатого распыления ионами  $Ag^+$  [2].

Исследования показали идентичность влияния СОТС на стали ШХ15 и 12Х1МФ, которое далее иллюстрируется на примере стали ШХ15.

Полученные для ряда СОТС характеристики приведены в табл. 2. Видно, и это подтверждается в целом, что масляный компонент СОТС как для углеводородных (керосин), так и водосмешиваемых СОТС (Камикс, None Right, модельные микроэмульсии) при оптимальной концентрации их водных растворов обеспечивает близкие значения величины  $P_c$ . Водные среды и присадки, в свою очередь, способствуют значительным изменениям величины  $P_k$ , слабо влияя на значения  $P_c$ .

Таблица 2

Смазочные свойства СОТС и их корреляция с производительностью алмазно-абразивной обработки на стенде стали ШХ15 и свойствами обработанной поверхности

Наименование СОТС*	Машина трения ЧМТ-1		$\Delta$ , мм	Машина трения Optimol SRV	
	$P_k$ , Н	$P_c$ , Н		$f^{**}$	$P_{св}$ , Н/мм <sup>2</sup>
Керосин	450	1260	0,05	0,47	95
None Right	750	1500	0,02	0,47	99
Камикс	1060	1330	0,05	0,43	109
Экспериментальная основа с присадками:					
№1. Дибутилфосфат	1190	1330	0,05	0,43	119
№2. Триполифосфат	1410	1500	0,09	0,39	123
№3. Фосан	1190	1260	0,09	0,40	123

\*Данные приводятся для оптимальных концентраций водных растворов СОТС (3–6% по массе), что соответствует примерно одинаковому содержанию присадок.

\*\*Значения коэффициента трения при нагрузке 40 Н.

Модельные микроэмульсии, имеющие в отличие от других СОТС большее содержание присадок по отношению к концентрации масляной базы, характеризуются большей производительностью обработки стали, более мелкодисперстным состоянием стальной стружки, отсутствием на обработанных поверхностях следов от предварительных проходов инструмента (рис. 1), меньшей их шероховатостью и лучшими трибологическими свойствами. Важными критериями подбора СОТС для оптимизации свойств обработанных стальных поверхностей могут быть величины  $P_k$  и  $P_k / P_c$ , характеризующие противозадир-

ное действие самих СОТС.

Оже-спектральные исследования выявили однотипный характер модификации поверхности сталей при обработке. Можно было бы предположить, что разнообразный компонентный состав модельных микроэмульсий должен приводить и к существенному отличию элементного состава обработанных поверхностей. Однако это не подтверждается экспериментально, так как во всех случаях поверхность стали при финишной обработке насыщалась практически только двумя элементами – кислородом и углеродом.

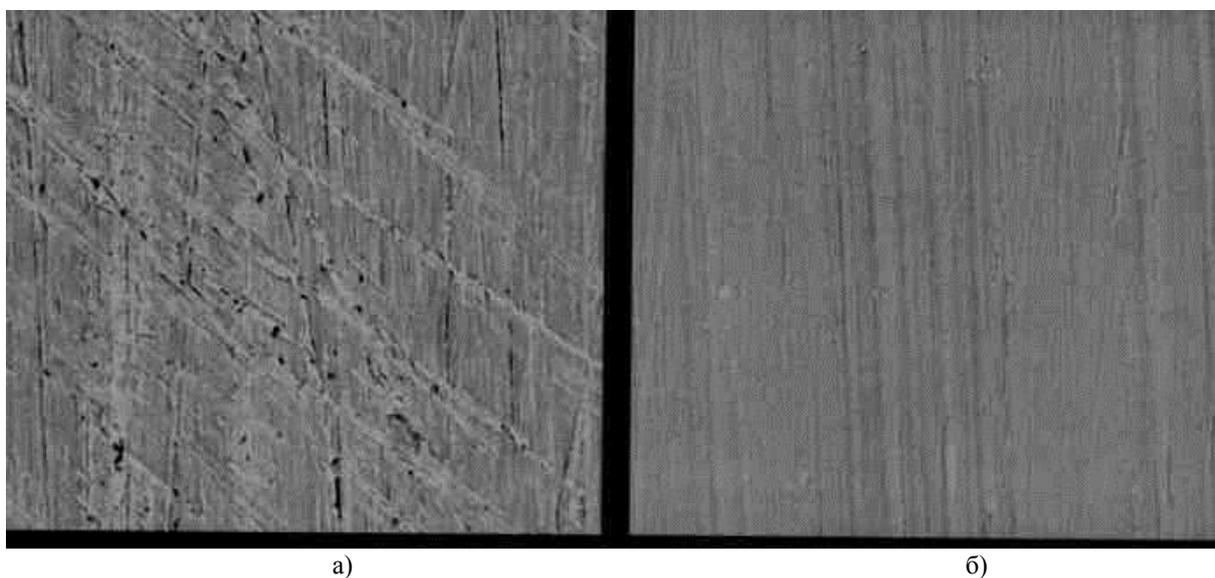


Рис. 1. Поверхность стали ШХ15 после алмазно-абразивной обработки в различных СОТС:  
а – керосин ( $P_k/P_c=0,36$ ;  $R_a=1,3$  мкм);  
б – экспериментальная СОТС №2 ( $P_k/P_c=0,94$ ;  $R_a=0,28$  мкм)

Углеродородные компоненты СОТС способствовали насыщению обработанных поверхностей углеродом, что предотвращало их окисление. При этом такие элементы СОТС, как фосфор, азот, бор не диффундировали в металл и не накапливались в количествах, больших 1 % (ат.) даже в адсорбционном слое. Сера при увеличении ее содержания в составе СОТС до 0,3 % по массе начинала одновременно с углеродом также диффундировать в сталь

на значительные глубины и непосредственно влиять на механические свойства ее поверхностных слоев. Но в отличие от длительного трения, когда сера имеет равномерный характер распределения с максимумом концентрации на поверхности 5–20 % (ат.), после финишной обработки ее атомы хаотично распределялись в поверхностных слоях лишь в микроконцентрациях, в диапазоне 0–0,5 % (ат.).

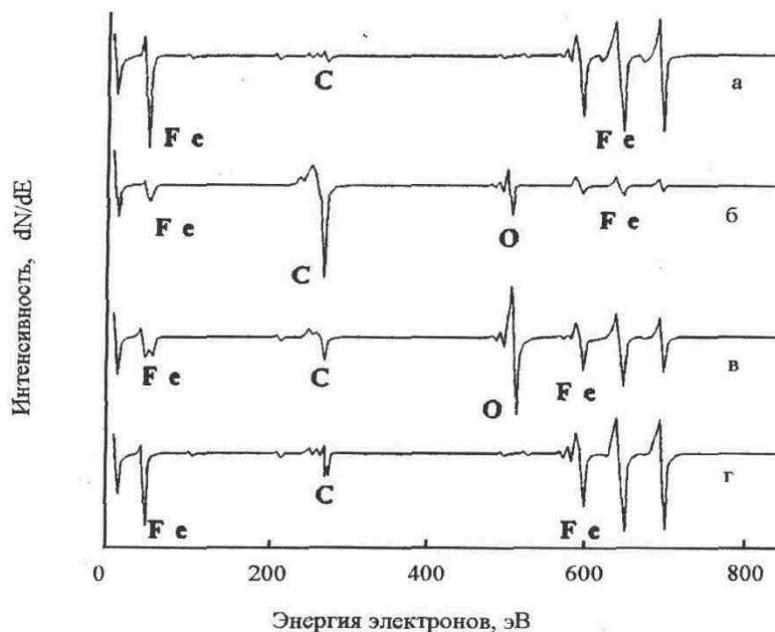


Рис. 2. Оже-спектры стали ШХ15 ювенильной поверхности в вакууме (а); адсорбционного (б), оксидного (в) и науглероженного (г) поверхностных слоев после обработки в экспериментальной СОТС № 2

По сравнению с ювенильной поверхностью стали (рис. 2а) на оже-спектре обработанного в СОТС образца (рис. 2б) превалирует по интенсивности линия углерода. После распыления адсорбированных углеводородов ионами  $Ag^+$  в течение 30 с обнаруживается слой оксида железа (рис. 2в). Этот поверхностный слой препятствует диффузии в объем стали элементов СОТС. Углерод, диффундируя через оксидный слой, теряет водородное окружение, которое он имеет в адсорбционном слое, и в подповерхностных микрообъемах (рис. 2г) образует карбидные структуры с железом и хромом (для хромосодержащих сталей), про что свидетельствует форма оже-линий углерода в различных подслоях.

Сера, фосфор, азот, бор, в зависимо-

сти от химического состояния и типа присадок, в составе которых они находятся, выполняют роль агентов, которые активируют или блокируют поверхность оксидного слоя и тем ускоряют или замедляют процессы науглероживания и окисления стали во время финишной обработки.

На базе проведенных исследований совместно с УкрНИИ НП "МАСМА", г. Киев, разработан состав универсальной микроэмульсионной СОТС Трибол (экспериментальный состав СОТС № 2 в табл. 2). Компоненты, входящие в эту СОТС, активно воздействуют на поверхность термообработанных сталей, эффективно повышая производительность их обработки и обеспечивая им повышенные трибологические свойства и задиростойкость.

### Заключение

Из полученных результатов можно сделать заключение, что при финишной обработке в среде водосмешиваемых СОТС важную роль в формировании свойств обработанной поверхности играют углеводородные компоненты и присадки, которые способствуют образованию наиболее тонких модифицированных угле-

родом и кислородом поверхностных слоев. Качество и износостойкость поверхности деталей улучшается одновременно с ростом производительности их обработки в присутствии микроэмульсионных СОТС с лучшими противозадирными свойствами, связанными с введением фосфатсодержащих присадок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- |   |   |
|---|---|
| <p>1. Рыжов, Ю.Э. Влияние моющей способности СОТС на финишную обработку конструкционных сталей / Ю.Э. Рыжов, В.Т. Процишин, О.А. Мишук, А.Е. Кобелянский // Инструментальный свет. – 2002. – №4 (16). – С. 12-14.</p> <p>1. Ryzhov, Yu.E. Impact of SOTS washing capacity upon structural steel finishing / Yu.E. Ryzhov, V.T. Protsishin, O.A. Mishchuk, A.E. Kobelyansky // <i>Tool Light</i>. – 2002. – 2002. – No.4(16). – pp. 12-14.</p> | <p>2. Процишин, В.Т. Влияние СОЖ на трибологические характеристики поверхности / В.Т. Процишин, Ю.Э. Рыжов, В.А. Полищук, О.А. Мишук // Наука производству. – 1999. – № 2. – С. 12-14.</p> <p>2. Protsishin, V.T. SOZh impact upon surface tribological properties / V.T. Protsishin, Yu.E. Ryzhov, V.A. Polishchuk, O.A. Mishchuk // <i>Science for Production</i>. – 1999. – No.2. – pp. 12-14.</p> |
|---|---|

Ссылка для цитирования:

Рыжов, Ю.Э. Управление эксплуатационными свойствами поверхности деталей машин при финишной алмазно-абразивной обработке с применением активных СОТС / Ю.Э. Рыжов, С.Л. Абрамова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. - № 9. – С. 13-18. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-9-13-18.

Статья поступила в редакцию 22.05.20.

Рецензент: д.т.н., профессор, Брянского государственного технического университета  
Киричек А.В.,

гл. редактор журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 31.08.20.

## Сведения об авторах:

**Рыжов Юрий Эдуардович**, к.т.н., ст. науч. сотрудник, Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина, тел. +38-050-661-74-74, e-mail: super.t-55@ukr.net.

**Абрамова Светлана Леонидовна**, вед. инженер, Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина, тел. +38-050-130-38-30, e-mail: pchelasp@ukr.net.

**Ryzhov Yury Eduardovich**, Can. Sc. Tech., Senior research assistant, Bakul Institute of Super-hard Materials, NAS of the Ukraine, Kiev, the Ukraine, phone: +38-050-661-74-74, e-mail: super.t-55@ukr.net.

**Abramova Svetlana Leonidovna**, Principal engineer, Bakul Institute of Super-hard Materials, NAS of the Ukraine, Kiev, the Ukraine, phone: +38-050-130-38-30, e-mail: pchelasp@ukr.net.