

Р. Г. Нигматуллин, В. Ю. Шолом, Л. Ш. Шустер, И. М. Нигматуллин

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ГЕОМОДИФИКАТОРАМИ ТРЕНИЯ

Установлено, что смазочные материалы (СМ) на окисленной масляной основе обладают более высокими смазочными свойствами по сравнению с обычными маслами. Применение окисленных СМ с геомодификаторами трения (ГМТ) формирует на железосодержащих поверхностях трения металлокерамическое покрытие (пленку), повышающее трибологические характеристики работы узла трения. Определен наиболее рациональный ремонтно-восстановительный состав (РВС). *Окисленная масляная основа; геомодификатор трения; ремонтно-восстановительный состав; смазочный материал*

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все большее применение в трибосопряжениях получают природные геомодификаторы трения (ГМТ) на базе серпентина. Анализ публикаций и патентов показывает, что при использовании смазочных материалов (СМ) с добавлением ГМТ типа серпентинов работоспособность трибосопряжений может значительно увеличиться. При этом потери энергии на преодоление трения могут снизиться на порядок, а износостойкость сопряженных деталей повыситься в 2–4 раза. Шероховатость металлических поверхностей трения может также снизиться в несколько раз и составить по Ra 0,03...0,05 мкм. При использовании СМ с ГМТ на поверхностях трущихся деталей формируется защитный металлокерамический слой толщиной до 20...30 мкм. Скорость формирования (наращивания) слоя пропорциональна локальным всплескам температуры и давлению на пятна фактического контакта. Формируется этот слой в первую очередь на изношенных участках сопряженных поверхностей, в результате чего происходит восстановление размеров и формы деталей. На этой особенности поведения ГМТ в трибосопряжениях основана ремонтно-восстановительная технология (РВС-технология), позволяющая производить ремонт деталей без разборки машин и без вывода их из эксплуатации [1, 2, 3].

Однако до настоящего времени недостаточно изучено влияние качества СМ (или масляных фракций), в которые добавляется ГМТ, на работоспособность трибосопряжений. Вместе с тем, известно [4] положительное влияние окисленных масляных фракций на смазывающую способность СМ. Объясняется это тем, что в про-

цессе окисления масла содержащиеся в нем соединения сульфидов превращаются в более термоустойчивые соединения – сульфоны [4].

Данная работа посвящена исследованию влияния добавок ГМТ в окисленные СМ на работоспособность трибосопряжений.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 (ГОСТ 9490-75) и на установке «демонстратор трения» [5], которая представляет собой переносную машину трения вращательного действия, содержащую пару трения «обойма-ролик» (рис. 1). На ЧМТ-1 определяли все показатели трения согласно международному стандарту ASTM D2782. На демонстраторе трения при изменяющейся нагрузке на рычаг 0,5–2,5 кг определяли износ обоймы и ролика, температуру СМ и величину тока, потребляемую электродвигателем привода установки.

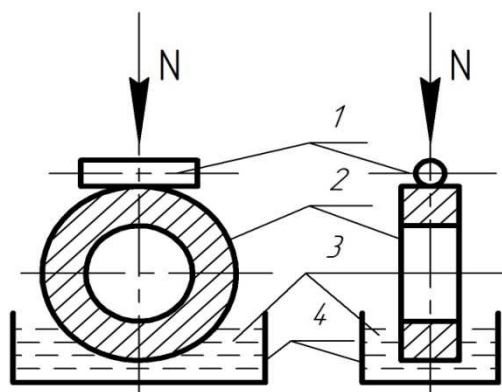


Рис. 1. Схема работа демонстратора трения:

1 – ролик; 2 – обойма;

3 – смазочный материал;

4 – смазочная ванна;  $N$  – сила прижима

В качестве СМ для испытаний использовали два вида масел – И-40 и КС-19. Данные масла являются базовыми основами многих моторных масел. В исследовании сравнивали результаты, полученные при использовании окисленных и не окисленных СМ.

Для приготовления ГМТ использовали природный минерал – серпентин, добываемый в республике Башкортостан. Подготовка серпентина к применению включала в себя: предварительное удаление абразивных и фрикционных составляющих (намагничиванием); сушку в печи; домол частиц серпентина в ступке до размеров 10...20 мкм. Затем подготовленный серпентин тщательно перемешивали с имеющимися окисленными образцами СМ, соблюдая требуемую концентрацию. Образовалась суспензия – ремонтно-восстановительный состав (РВС). На основании проведенных лабораторных экспериментов определены оптимальные значения концентрации компонентов состава (масс. %): серпентин – 0,3; кристаллизатор  $MnO_2$  – 0,05; СМ – остальное.

Исследовано 8 образцов: И-40; И-40 окисленное; И-40 окисленное + серпен. (0,3 %); И-40 окисленное + серпен. (0,3 %) +  $MnO_2$  (0,05 %); КС-19; КС-19 окисленное; КС-19 окисленное + серпен. (0,3 %); КС-19 окисленное + серпен. (0,3 %) +  $MnO_2$  (0,05 %).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты испытаний образцов смазочных материалов на трибометрической установке приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что лучший результат по противоизносным свойствам для масляных основ у И-40 окисленное и КС-19 окисленное. Поэтому использовали эти масляные основы для приготовления ремонтно-восстановительных составов при проведении экспериментов.

На рис. 2 представлено изменение площади пятна износа от нагрузки в узле трения для различных смазочных материалов, из которого видно, что противоизносные свойства ремонтно-восстановительных составов значительно лучше, чем у масляных основ. С увеличением нагрузки наилучшие свойства показал ремонтно-восстановительный состав: масло КС-19 окисленное + серпентин (0,3 %) +  $MnO_2$  (0,05 %). Это свидетельствует о благоприятном влиянии рецептуры активных компонентов на эксплуатационные свойства ремонтно-восстановительного состава. Наилучший эффект от применения серпентина наблюдался при нагрузке

2 кг в узле трения (видна наибольшая разница в значениях между испытуемыми образцам), при большей нагрузке происходит заклинивание узла трения, поэтому дальнейшее испытания выполняли при нагрузке 2 кг.

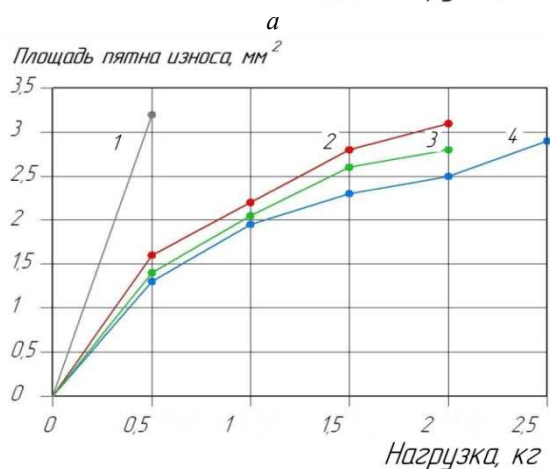
Таблица 1  
Результаты испытаний образцов смазочных материалов на трибометрической установке

Образцы смазочных материалов	Площадь пятна износа ( $S_{и}$ ) мм <sup>2</sup> после 15 мин работы				
	Нагрузка 0,5 кг	Нагрузка 1 кг	Нагрузка 1,5 кг	Нагрузка 2 кг	Нагрузка 2,5 кг
И-40	3,20	заклинило	–	–	–
И-40 окисл.	1,60	2,20	2,80	3,10	заклинило
И-40 окисл.+серпен.(0,3 %)	1,40	2,05	2,60	2,80	заклинило
И-40 окисл.+серпен. (0,3 %) + $MnO_2$ (0,05 %)	1,30	1,95	2,30	2,50	2,90
КС-19	2,85	3,10	заклинило	–	–
КС-19 окисл.	1,45	1,95	2,65	2,90	заклинило
КС-19 окисл.+серпен. (0,3 %)	1,21	1,65	1,85	2,10	заклинило
КС-19 окисл. + серпен. (0,3%)+ $MnO_2$ (0,05 %)	1,00	1,45	1,75	1,80	2,10

На рис. 3 представлено изменение температуры смазочного материала от времени испытания при нагрузке 2 кг в узле трения «обойма-ролик». При испытании масляной основы КС-19 окисленное без добавки наблюдали значительное повышение температуры данного смазочного материала.

При испытаниях с помощью амперметра, подключенного к сети электродвигателя, определяли величину тока в обмотке статора электродвигателя, которая пропорциональна силе трения в месте контакта обоймы и ролика [6].

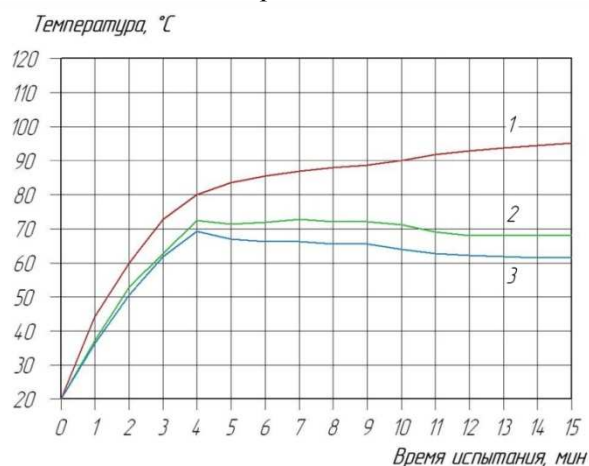
Снижение потребляемого электродвигателем тока свидетельствует о снижении силы трения в узле трения (рис. 4). На первых минутах испытаний характерно увеличение величины тока, что, очевидно, связано с приработкой контактных поверхностей. Увеличение величины тока в обмотке электродвигателя между 7 мин и 15 мин работы связано с угаром масла КС-19 окисленное без добавки и перегрев пары трения из-за отсутствия какого-либо защитного слоя на поверхностях трения.



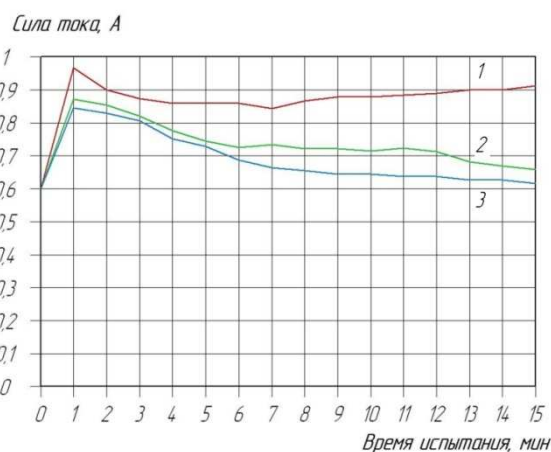
**Рис. 2.** Изменение площади пятна износа от нагрузки в узле трения (время каждого испытания 15 мин): 1 – И-40; 2 – И-40 окисл.; 3 – И-40 окисл.+серпен. (0,3%); 4 – И-40 окисл. + серпен. (0,3%) +  $MnO_2$  (0,05%); 1 – КС-19; 2 – КС-19 окисл.; 3 – КС-19 окисл. + серпен. (0,3 %); 4 – КС-19 окисл. + серпен. (0,3 %) +  $MnO_2$  (0,05 %)

Испытания ремонтно-восстановительных составов показали иную картину, подтверждающую образование модифицирующего слоя на поверхностях трения, обладающего антифрикционными и противоизносными свойствами, что подтверждается снижением температу-

ры смазочного материала и силы трения, а также снижением износа ролика.



**Рис. 3.** Изменение температуры смазочного материала от времени испытания (нагрузка 2 кг): 1 – КС-19 окисл.; 2 – КС-19 окисл. + серпен. (0,3 %); 3 – КС-19 окисл. + серпен. (0,3 %) +  $MnO_2$  (0,05 %)



**Рис. 4.** Изменение величины тока в обмотке электродвигателя от времени испытания (нагрузка 2 кг): 1 – КС-19 окисл.; 2 – КС-19 окисл. + серпен. (0,3 %); 3 – КС-19 окисл. + серпен. (0,3 %)

Замер микротвердости поверхности ролика проводили с помощью микротвердомера ПМТ-3 (по методу Виккерса ГОСТ 2999-75) до и после проведения испытаний образцов смазочных материалов на трибометрической установке «демонстратор износа» (нагрузка на пару трения «обойма-ролик» – 2 кг; время испытания – 15 мин). Исходя из предыдущих опытов, выбрали лучший РВС (окисленные СМ И-40 и КС-19 с серпентинитом и с катализатором) и для сравнения окисленные СМ без ГМТ (которые не образуют металлокерамическое покрытие).

Результаты испытаний на микротвердость приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Результаты испытаний на микротвердость

Образцы смазочных материалов	Микротвердомер ПМТ-3			
	до испытаний		после испытаний	
	Число твердости, HV	Число твердости, HRC	Число твердости, HV	Число твердости, HRC
И-40 окисл.	694	58	649	56
КС-19 окисл.	694	58	694	58
И-40 окисл. + серпен. (0,3 %) + MnO <sub>2</sub> (0,05 %)	694	58	746	59
КС-19 окисл. + серпен. (0,3 %) + MnO <sub>2</sub> (0,05 %)	694	58	803	61

Из табл. 2 видно увеличение микротвердости трущейся поверхности ролика при использовании образцов окисленных СМ с добавками ГМТ.

Так же для подтверждения образования металлокерамической пленки (покрытия) на поверхности трущихся пар при использовании СМ с добавками ГМТ выполнены испытания с определением изменения веса обоймы и ролика. Эти испытания проводили с заранее изношенными роликами для того, чтобы трение образцов происходило по площадке (во избежание точечного или линейного контакта). Для измерений использовали весы аналитические лабораторные 4 класса точности. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Для подтверждения того что, измененные веса обоймы и ролика связаны с образованием металлокерамического покрытия (пленки) дополнительные испытания проводили следующим образом: в начале пара трения работала в течение 15 мин со смазкой, затем с трущихся поверхностей она удалялась и работа узла трения осуществлялась без смазочного материала. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Увеличение веса обоймы и ролика (табл. 2), а также длительная работа узла трения без сма-

зочного материала (табл. 3) при использовании ремонтно-восстановительных составов с окисленным СМ и добавками ГМТ подтверждают образование металлокерамического покрытия (пленки) на поверхностях трения, повышающего износостойкость узла трения.

Таблица 3  
Изменение веса обоймы и ролика после проведения испытаний различных смазочных материалов (время испытания 15 мин)

Смазочный материал	Изменение веса обоймы, гр.	Изменение веса ролика, гр.
И-40 окисл.	-0,25	-0,15
КС-19 окисл.	-0,18	-0,10
И-40 окисл. + серпен. (0,3%) + MnO <sub>2</sub> (0,05 %)	+0,10	+0,02
КС-19 окисл. + серпен. (0,3 %) + MnO <sub>2</sub> (0,05 %)	+0,15	+0,04

Таблица 4  
Результаты работы узла трения «обойма-ролик» без смазочного материала после 15 минут работы со смазкой

Смазочный материал, использованный при предварительной работе узла трения	Время работа узла трения без смазочного материала
И-40 окисл.	32 сек
КС-19 окисл.	45 сек
И-40 окисл. + серпен. (0,3 %) + MnO <sub>2</sub> (0,05 %)	3 мин 43 сек
КС-19 окисл. + серпен. (0,3 %) + MnO <sub>2</sub> (0,05 %)	4 мин 19 сек

Результаты испытаний образцов смазочных материалов на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 приведены в табл. 5.

Гистограммы нагрузки сваривания и индекса задира для различных смазочных материалов представлены на рис. 5 и рис. 6 соответственно.

Полученные результаты подтверждают, что у окисленных СМ И-40 и КС-19 значительно лучше смазывающие свойства по сравнению с обычными масляными основами. Поэтому ремонтно-восстановительные составы, приготовленные на основе окисленных масел, показывают более высокие показатели качества работ узла трения. Кроме того, приведенные выше результаты испытаний свидетельствуют, что трибологические показатели ремонтно-восстановительных составов значительно лучше, чем у обычных СМ.

Таблица 5

## Результаты испытаний на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1

Образцы смазочных материалов	ЧМТ-1				
	Нагрузка сваривания ( $P_c$ ), Н	Показатель износа ( $D_{и1}$ ), мм (1000 Н; 10 сек)	Показатель износа ( $D_{и2}$ ), мм (400 Н; 1 час)	Критическая нагрузка ( $P_K$ ), Н	Индекс задира ( $I_3$ )
И-40	1260	2,67	0,90	500-630	20
И-40 окисл.	2370	1,50	0,70	800-1000	31
И-40 окисл.+серпен. (0,3 %)	2660	1,30	0,65	800-1000	34
И-40 окисл. + серпен.(0,3 %) + $MnO_2$ (0,05 %)	2660	1,10	0,60	800-1000	36
КС-19	1880	1,90	0,80	630-800	29
КС-19 окисл.	2990	0,60	0,65	800-1000	40
КС-19 окисл.+сепен. (0,3 %)	3350	0,43	0,55	800-1000	42
КС-19 окисл +серпен. (0,3 %) + $MnO_2$ (0,05 %)	3550	0,40	0,48	1000-1130	45

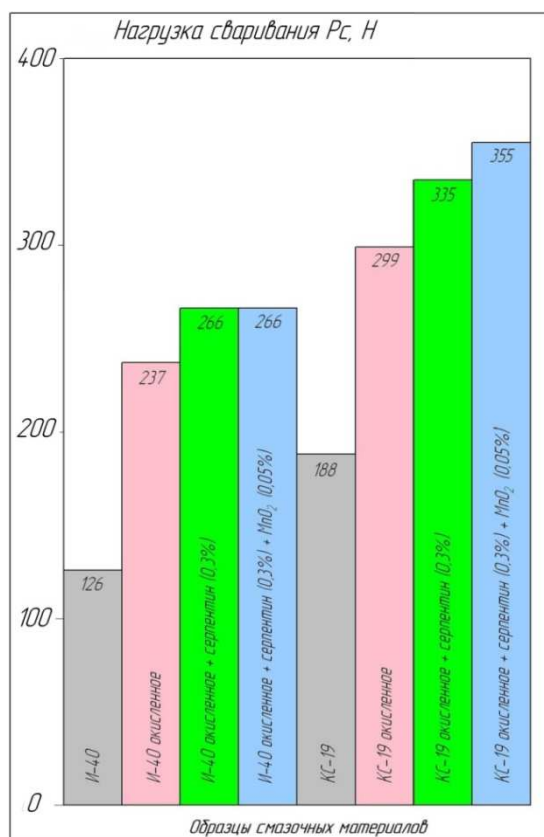


Рис. 5. Гистограмма нагрузки сваривания для различных смазочных материалов

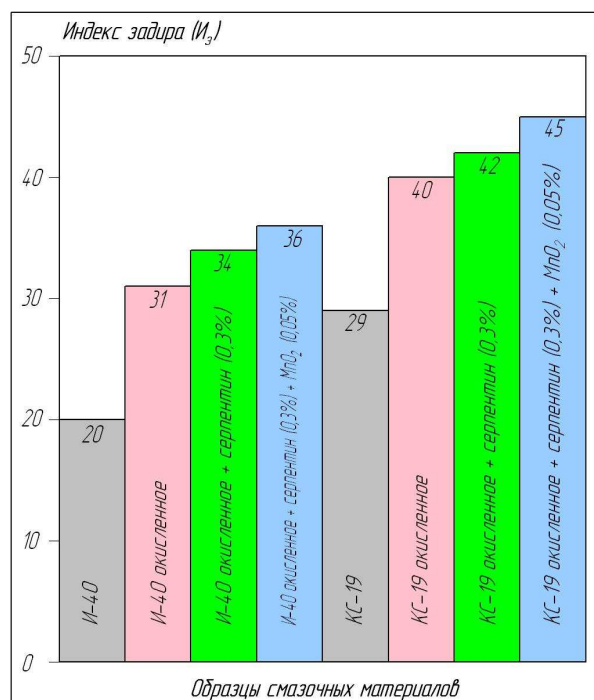


Рис. 6. Гистограмма индекса задира для различных смазочных материалов

### ВЫВОДЫ

При работе пар трения с применением СМ без добавки не обнаружено образования металлокерамического покрытия (пленки) на поверхностях трения. При работе пар трения с применением ремонтно-восстановительного состава на основе окисленного СМ обнаружено снижение температуры смазочного материала и силы трения, снижение износа, увеличение веса ролика и обоймы, увеличение их микротвердости, а также работой пар трения без смазочного материала значительное время (после предварительной работы с использованием СМ с добавками ГМТ (РВС)). Все это (а в особенности увеличение веса ролика и обоймы и их микротвердости) свидетельствует об образовании металлокерамического покрытия (пленки), обладающего антифрикционными и противоизносными свойствами.

Можно сделать вывод, что при добавлении в окисленный СМ серпентина на железосодержащих поверхностях трения образуется самоорганизующееся защитное металлокерамическое покрытие (пленка) характерное для избирательного переноса (эффекта безызносности).

Наибольшую работоспособность трибоспиряжений обеспечивает следующий ремонтно-восстановительный состав: масло КС-19 окисленное + серпентин (0,3 %) +  $MnO_2$  (0,05 %).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телух Д. М., Кузьмин В. Н., Усачев В. В. Использование слоистых гидросиликатов в трибоспиряжениях // Интернет-журнал «Трения, износ, смазка». 2009. № 3.
2. Евграфов И. В., Дунаев А. В. Новые приемы в безразборном ремонте ДВС полиминеральными серпентиновыми препаратами // Ремонт, восстановление, модернизация. 2006. № 4. С. 21–24.

3. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). М. МСХА, 2001. 616 с.

4. Нигматуллин В. Р. Окислительная десульфуризация в производстве базовых масел. Уфа: ГУП ИНХП РБ, 2010. 56 с.

5. Шолом В. Ю., Казаков А. М., Тюленев Д. Г. Методы оценки эффективности технологических смазочных материалов для процессов металлообработки // Приводная техника. 2004. № 1. С. 5–12.

6. Жуков С. П. Электронный учебно-методический комплекс «Электротехника и электроника». ФГОУ ВПО Красноярский государственный аграрный университет, 2009. 544 с.

### ОБ АВТОРАХ

**Нигматуллин Ришат Гаязович**, проф. каф. оборудования и технологии сварочн. производства. Дипл. инженер-технолог (Уфимск. нефт. ин-т, 1974). Д-р техн. наук (Уфимск. гос. нефт. техн. ун-т, 1999). Иссл. в обл. химмотологии.

**Шолом Владимир Юрьевич**, проф. каф. мехатронных станочных систем. Дипл. инженер-механик (УАИ, 1980). Д-р техн. наук (Российск. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006). Иссл. в обл. технологическ. смазочных материалов.

**Шустер Лёва Шмульевич**, проф. каф. основ конструирования механизмов и машин. Дипл. инженер-механик (УАИ, 1962). Д-р техн. наук (Российск. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина, 1990). Иссл. в обл. высокотемпературн. трибологии и механообработки.

**Нигматуллин Искандер Мударисович**, асп. той же каф. Дипл. инженер-технолог (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. высокотемпературн. трибологии.