

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54>**МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАСЛЯНЫХ ДИСПЕРСИЙ СЕРПЕНТИНОВЫХ И ТАЛЬКОХЛОРИТОВЫХ МИНЕРАЛОВ**

Научная статья

**Лавров Ю.Г.<sup>1,\*</sup>, Зеленков С.М.<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> НПТК «Супротек», Санкт-Петербург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (lavrov[at]suprotec.ru)

**Аннотация**

Традиционные методы повышения надежности узлов и механизмов за счет износостойкости узлов трения связаны с поиском материалов, оптимизацией характеристик поверхностей трения и смазочных материалов, зачастую не представляются возможными по технико-экономическим показателям. Существуют композиции природных минералов, добавление которых в штатные масла, смазки в процессе штатной эксплуатации кардинально меняют условия трибоконтакта, кратно снижая потери на трение и изнашивание. Однако механизмы таких процессов, происходящих на наноуровне до конца не известны. Известно, что наиболее эффективная модификация поверхностей трения происходит, когда в смазочной дисперсии присутствуют минералы на основе слоистых силикатов. По результатам анализа работы трибосоставов, разрушающих и неразрушающих исследований, представлен вероятный механизм формирования новой структуры поверхности трения при работе композиций природных минералов на основе серпентинов и талькохлоритов.

**Ключевые слова:** трибосостав (триботехнический состав), геомодификатор трения, петросостав керна, структура слоя, машина трения, коэффициент трения, износ образцов, профиль поверхности, каталитическое действие, дефектность структуры, диффузионные процессы.

**MECHANISMS OF FRICTION SURFACE FORMATION USING OIL DISPERSIONS OF SERPENTINE AND TALCOCHLORITE MINERALS**

Research article

**Lavrov I.G.<sup>1,\*</sup>, Zelenkov S.M.<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> NPTK "Suprotec", Saint-Petersburg, Russian Federation

\* Corresponding author (lavrov[at]suprotec.ru)

**Abstract**

Traditional methods of increasing reliability of units and mechanisms due to wear resistance of friction units are associated with the search for materials, optimization of characteristics of friction surfaces and lubricants, often are not possible in terms of technical and economic indicators. There are compositions of natural minerals, addition of which to standard oils, greases in the course of standard operation cardinally change the conditions of tribocontact, multiply reducing friction losses and wear. However, the mechanisms of such processes occurring at the nanoscale are not fully understood. It is known that the most effective modification of friction surfaces occurs when minerals based on layered silicates are present in the lubricating dispersion. Based on the results of analyses of tribo-compounds operation, destructive and non-destructive studies, the probable mechanism of formation of new structure of friction surface at operation of compositions of natural minerals on the basis of serpentines and talcochlorites is presented.

**Keywords:** tribo-composition (tribotechnical composition), friction geomodifier, core petro-composition, layer structure, friction machine, friction coefficient, sample wear, surface profile, catalytic effect, structure defectiveness, diffusion processes.

**Введение**

Эффективность применения тонких порошков с размером частиц до 5 мкм природных минералов стали предметом научного открытия № 323 «Свойство высокоэнергоплотных минералов изменять параметры триботехнических систем» [1].

В 80-е гг. случайно обнаружен эффект «безызносности» колесных пар вагонеток шахт в Печенге. Ленинградские ученые исследовали это и запатентовали «эффект аномально низкого трения гидроксидов по стали» [2], [3].

Дальнейшие исследования «геомодификации поверхностей трения» показали, что уникальные эффекты многократного снижения интенсивности изнашивания и потерь на трение обусловлены формированием новой поверхности трения с высокой адгезионной прочностью и зависят от химических и структурных свойств минералов, а также гранулометрическим составом геомодификатора [4], [5]. Структурные свойства слоистых силикатов определяются сочетанием октаэдрических и кремнекислородных тетраэдрических слоёв, а также наличием и характером межслоевых «вставок», как представлено на рисунке 1.

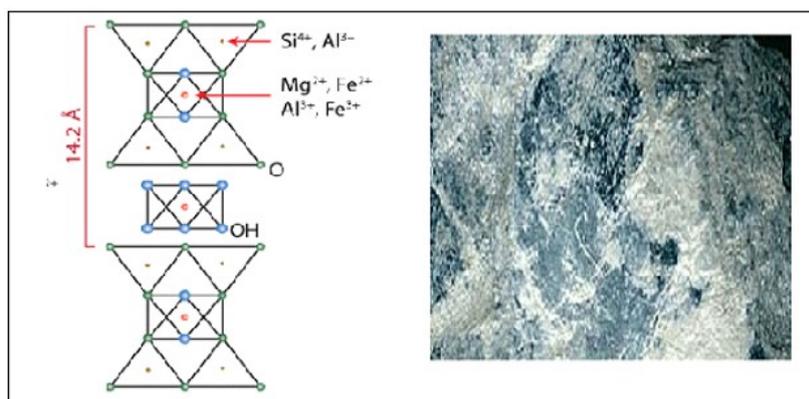


Рисунок 1 - Структура и фотография слоистого силиката  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.1>

Цель исследований – обоснование механизмов формирования структуры поверхности трения при работе масляных дисперсий серпентиновых и талькхлоритовых минералов.

#### Методы и принципы исследования

Петрографическое исследование шлифов кернов для производства триботехнического состава на микроскопе «ОПТО-EDU A15.2601-RTB» по методике «ОПТО-EDU»;

Микронзондовый анализ прозрачно-полированных шлифов кернов для производства триботехнического состава на приборе Сканирующий электронный микроскоп «MV 2300» с приставкой для энергетического дисперсионного рентгеновского микроанализа «INCA 200» по методике «ALLTION».

Рентгено-флуоресцентный анализ минералов керна с использованием прибора «X-DELTA» (XRF, РФА, РФСА анализ для определения концентраций элементов от бериллия до урана в диапазоне от 0.0001% до 100% по методикам «DELTA»), полученного при бурении скважин для производства триботехнического состава;

Теоретический анализ триботехнических процессов по литературным данным [6], [7];

Триботехнические испытания на машине испытания на трение и износ «ИИ5018» по параметрам коэффициента трения, износа образцов (износ образца определялся взвешиванием до и после испытаний на электронных аналитических весах «AB210M-01A» с погрешностью до 0,1 мг) и температуры масла (станция измерительная ESM-4420.5.20 и датчик температуры погружной TC-105-Pt100. 120) по методикам аккредитованной испытательной лаборатории «СУПРОТЕК»;

Оценка микротвердости поверхностей трения образцов до и после испытания на твердомере ПМТ-3М по стандартной методике ЛОМО;

Оценка крупности твердых частиц триботехнических составов (композиции природных минералов) на лазерном анализаторе крупности частиц «LaSca –Т» по методике «БиоМедСистем»;

Визуальный анализ поверхностей после работы образцов трения на металлографическом микроскопе «ЛабoМет-1»;

Анализ профиля поверхностей трения до и после работы образцов и деталей трения с помощью прибора «MarSurf PS-1» по методике компании «Mahr»;

Исследование образцов стали методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с использованием микроскопа УЭМВ-100, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием электронного микроскопа TESCAN VEGA и рентгено-спектрального микроанализа (РСМА) с использованием оптико-эмиссионного спектрометра PMI-MASTER Smart UVR по методикам Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН.

#### Основные результаты

Для анализа фазового и химического состава выбрана рабочая композиция природных минералов для производства масляных дисперсий серпентиновых и талькхлоритовых минералов. Минеральный состав керна представлен на рисунке 2, а по глубине на рисунке 3.

Породы представлены доломит-серпентин-тальковыми, тальк-доломит-хлоритовыми и тальк-хлорит-доломитовыми сланцами. С глубиной наблюдается увеличение количества доломита и уменьшение содержаний талька и серпентина. Количество хлорита в среднем по скважине не меняется и колеблется в пределах 20%. Вторичные изменения представлены карбонатизацией и хлоритизацией.

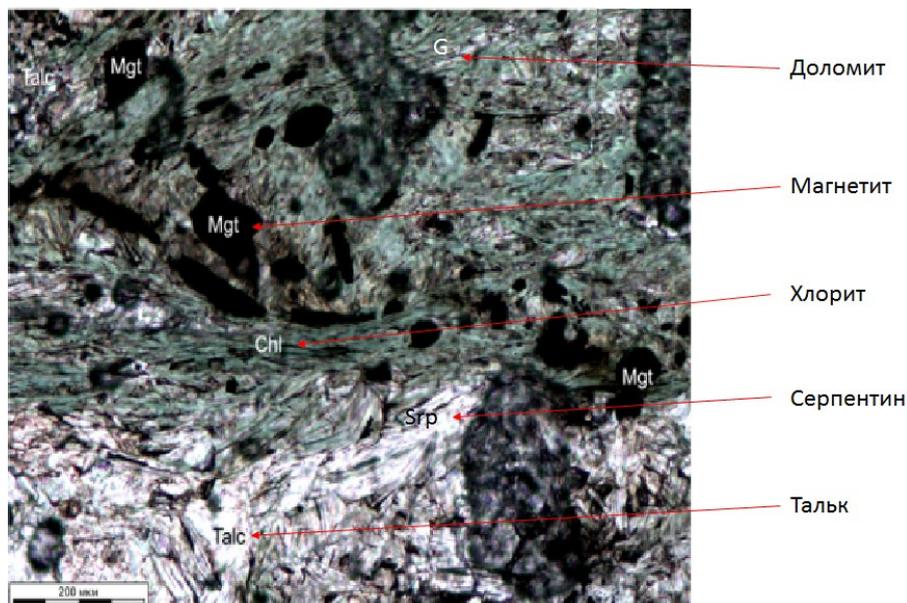


Рисунок 2 - Минеральный состав керна  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.2>

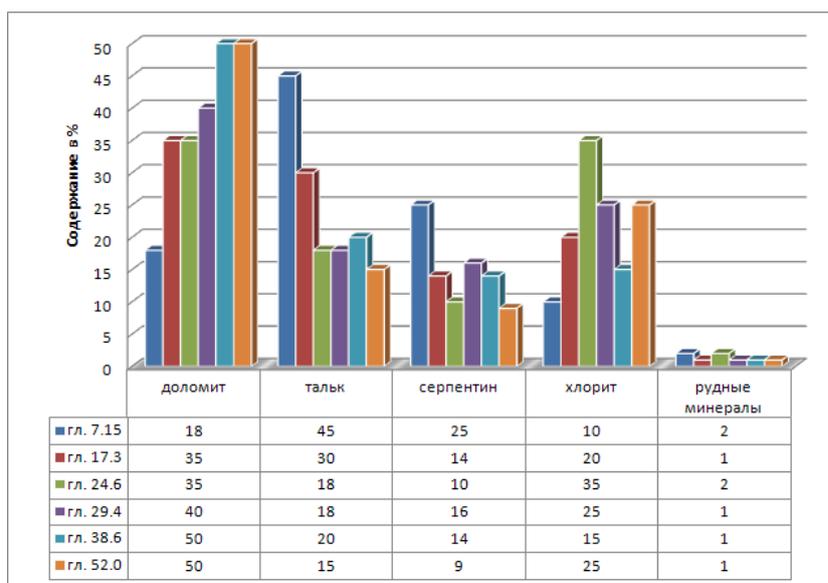


Рисунок 3 - Минеральный состав керна по глубине  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.3>

Минеральный состав весьма однообразный:

- тальк  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ;
- серпентины: лизардит  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ , антигорит  $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$ ;
- карбонаты: ферро-магнетит  $MgCO_3$ , доломит  $CaMg(CO_3)_2$ , кальцит  $CaCO_3$ ;
- хлорит  $(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg,Fe)_3(OH)_6$ ;
- рудные минералы: магнетит  $FeO \cdot Fe_2O_3$ , ильменит  $FeTiO_3$ , рутил  $TiO_2$ , пирит  $FeS_2$ , борнит  $Cu_5FeS_4$ ;
- тремолит  $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$

Минеральный и химический состав керна показывает наличие весьма твердых минералов (магнетит 5,5 – 6, ильменит 5,5 -6, рутил 6 – 6,5, пирит 6 – 6,5), средней твердости (антигорит 3,5, ферро-магнетит 3,5 -4, доломит 3,5, борнит 3,5 – 4, тремолит 3 – 3,5) и достаточно мягких минералов (тальк 1, лизардит 2,5 – 3, кальцит 3, хлорит 2 -2,5) по Моосу.

Серпентины и талькохлориты относятся к слоистым, чешуйчатым листовым силикатам, карбонаты – неорганические соли угольной кислоты, а остальные компоненты – рудные минералы.

Такие структуры компонентов трибосостава определяют фазы происходящих процессов в зоне трения рабочих узлов в среде масла или смазки. Наиболее твердые частички минералов играют роль очистки исходного поверхностного слоя, характеризуемого наличием фаз искаженной решетки, окислов и продуктов термического

разложения смазочного материала [6]. Очистка сопровождается разрушением частичек минералов и частичным их внедрением в поверхность трения. Через определенный период приработки средняя крупность частичек минерала уменьшается, меняется и распределение по крупности.

Поэтому важным в получении эффекта модификации поверхностей трения масляными дисперсиями серпентиновых и талькхлоритовых минералов является правильная исходная крупность частичек, а еще важнее правильное распределение по крупности. Распределение по крупности зависит от твердости исходных компонентов и технологии измельчения.

Разработанная технология включает грубое измельчение зерна на щековой дробилке ЩД-10, среднее дробление на дробилке ЩД-6, тонкий помол в шаровой мельнице МШЛ-22К и отсев порошка на ситах. Полученный рабочий порошок контролируется на анализаторе крупности частиц «LaSca –Т». Распределение по крупности и средняя крупность представлены на рисунке 4.

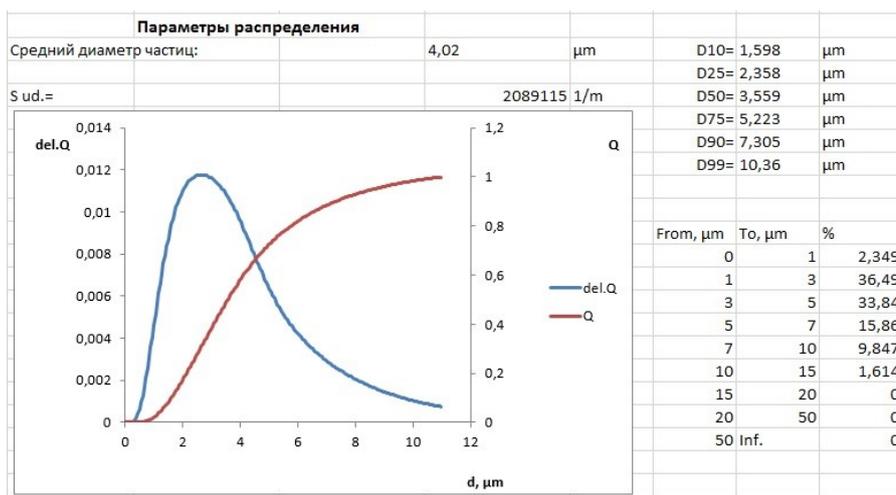


Рисунок 4 - Распределение по крупности частиц порошка трибосостава  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.4>

Из рисунка 4 видно, что средний размер частиц порошка трибосостава 4 мкм, а 90% порошка менее 7,3%. Из распределения так же видно, что основная рабочая фракция исходного порошка от 1 до 5 мкм. Это и есть слоистые силикаты. Они будут играть роль катализатора или инициатора процесса «строительства» нового слоя поверхности трения, разрушаясь в многократных циклах в трибопарах до субмикронного уровня. А крупных частиц от 7 до 10 мкм около 10%. Это измельчение рудные минералы. Они в процессе приработки будут играть роль абразива для первичной очистки поверхности трения и «строительного материала» для будущего слоя.

Для подтверждения теоретических предпосылок механизма формирования поверхности трения с применением масляных дисперсий серпентиновых и талькхлоритовых минералов проведены триботехнические исследования образцов с дальнейшим анализом поверхностей трения [9], [10].

Испытания триботехнического таких дисперсий в смазочном масле ЛУКОЙЛ ЛЮК СAE 10W-40 проводились на машине трения ИИ5018 методом сравнения триботехнических характеристик. Испытание №1 – Смазочная дисперсия с маслом ЛУКОЙЛ ЛЮК СAE 10W-40, испытание №2 – «чистое» масло ЛУКОЙЛ ЛЮК СAE 10W-40.

Схема испытаний:

- «диск по диску» (подвижный диск –  $d=50$ ,  $h=12$ , неподвижный диск –  $d=50$ ,  $h=10$ ), смазка осуществляется разбрызгиванием подвижным образцом (погружен в масло на 1 – 2 см, объем масла – 200 мл);
- материал: - 30ХГСА (закалка, шлифовка  $Ra=1-2$  мкм);
- режим работы: -  $n=1200$  мин<sup>-1</sup> ( $V=3,14$  м/с), Нагрузка  $P=100$  Н;
- продолжительность испытаний: приработка на «чистом» масла – 30 тыс. циклов (25 мин.), работа на масле с препаратом – 70 тыс. циклов (60 мин.);
- концентрация трибосостава в масле 0,25 %.

Регистрируемые параметры:

- момент сопротивления трения  $M$  (Н\*м);
- температура масла в камере  $T$  (°С);
- число циклов  $N$ .

Износ образца (нижнего диска -  $D_{mo}$ ) определялся взвешиванием до и после испытаний на аналитических весах АВ210М-01А с погрешностью до 0,1 мг. Испытательный узел представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 - Испытательный узел машины трения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.5>

Результаты испытаний представлены в таблице 1 и на рисунках 6 – 8.

Таблица 1 - Триботехнические характеристики составов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.6>

№	Среда	Среднее значение Ктр.	Ср. сниж. Ктр, %	Среднее значение Т, °С	Сниж. температур. финал, %	Износ образца, мг
1	Смазочная дисперсия	0,062	39,56	45,1	32,8	0,9
2	Масло Лукойл 10W-40	0,101	-18,19	62,0	-19,9	0,7

*Примечание: ср. сниж. Ктр, % – среднее значение коэффициента трения, отнесенное к коэффициенту трения после 30 минут приработки; сниж. температуры финал, % – значение температуры масла в конце испытаний, отнесенное к температуре образца после 30 минут приработки*

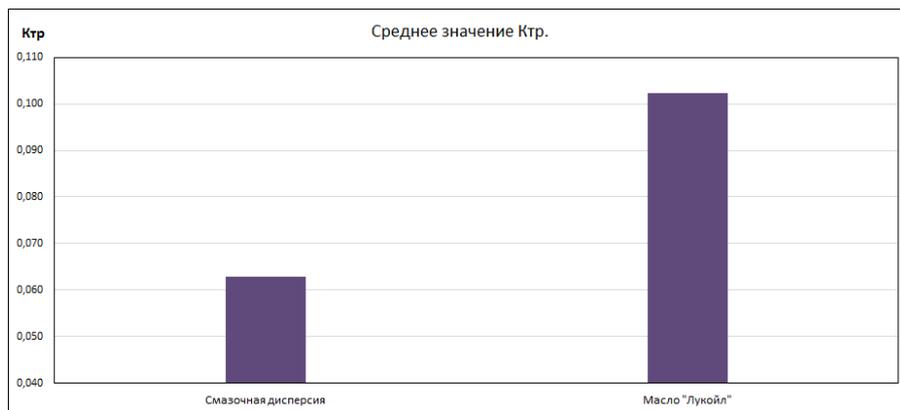


Рисунок 6 - Средние значения коэффициента трения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.7>

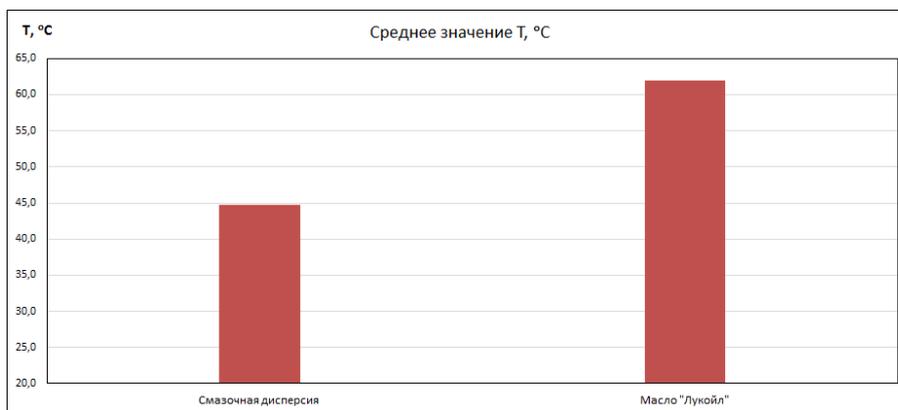


Рисунок 7 - Средние значения температуры масла в камере  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.8>



Рисунок 8 - Износ образца  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.9>

Динамика коэффициента трения и температуры масла представлена в таблице 2 и на рисунках 9, 10.

Таблица 2 - Динамика коэффициента трения и температуры масла  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.10>

Испытание	N, тыс. цикл	0	10	20	30	32	40	50	60	70	80	90	100
		№1	Ктр.	0,078	0,084	0,090	0,085	0,078	0,065	0,045	0,049	0,042	0,042
	T, °C	22,1	53,1	58,8	57,0	53,2	49,0	46,3	43,7	42,0	39,4	38,2	38,3
№2	Ктр.	0,085	0,097	0,092	0,090	0,091	0,097	0,091	0,110	0,110	0,110	0,122	0,120
	T, °C	31,7	53,3	59,6	60,5	59,5	64,2	65,0	66,3	68,3	70,5	72,3	72,5

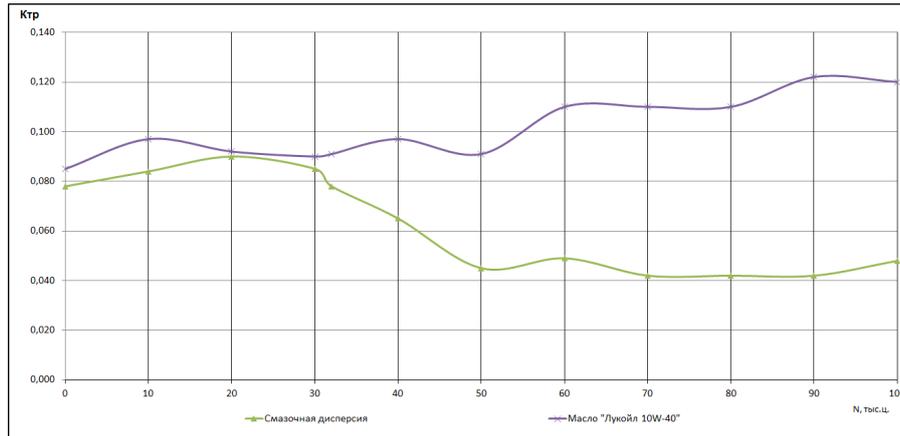


Рисунок 9 - Динамика коэффициента трения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.11>

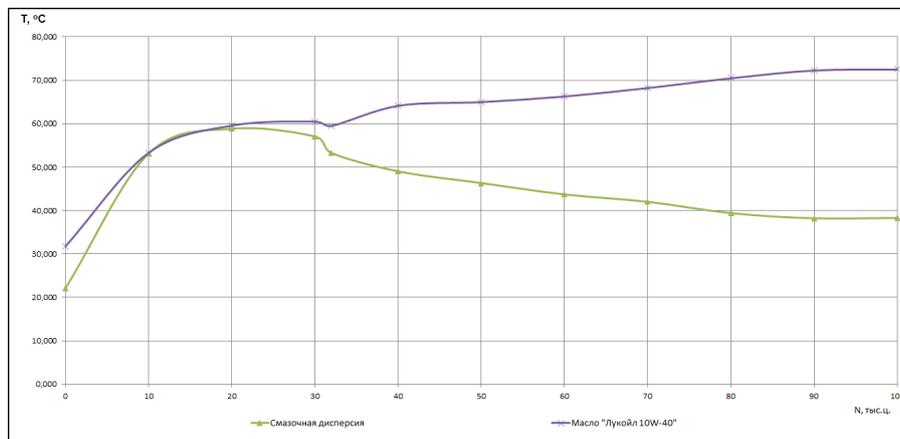


Рисунок 10 - Динамика температуры масла в камере  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.12>

Анализ триботехнических испытаний показывает, что добавление в масло масляных дисперсий серпентиновых и талькхлоритовых минералов приводит к снижению коэффициента трения в среднем на 38%, температуры масла в камере на 28%, а износа на 22% по сравнению с «чистым» маслом. Динамика коэффициента трения образцов при работе с трибосоставом показывает его среднее снижение на 39% по сравнению с коэффициентом трения после приработки на «чистом» масле. Такое снижение потерь на трение не может обеспечить ни одна стандартная антифрикционная присадка. Это свидетельствует о кардинальном изменении процессов в трибоконтакте.

Визуальный анализ поверхностей после работы на «чистом» масле и после добавления масляных дисперсий серпентиновых и талькхлоритовых минералов проводился на металлографическом микроскопе ЛабоМет-1. Фото поверхностей с увеличением  $\times 500$ , представлены на рисунке 11.



После работы на «чистом» масле

После работы с масляной дисперсией

Рисунок 11 - Фото образцов трения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.13>

После работы образца с масляной дисперсией наблюдается поверхностный слой, который отличается по структуре и цвету. Механически снять такой слой удастся только с помощью абразивных средств (наждачная бумага), что свидетельствует об высокой адгезионной прочности слоя.

Замер микротвердости поверхностей трения исходного образца, после работы на «чистом» масле и после работы с масляной дисперсией проводился на твердомере ПМТ-3М. Результаты замеров представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Микротвердость образцов трения  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.14>

Образец	Диагональ	Нагрузка	Диагональ	HV
	d, делений	P, г	d, мкм	
30ХГСА исходный	98	100	30,38	201
30ХГСА масло	97	100	30,07	205
30ХГСА дисперсия	90	100	27,9	238

Из таблицы 3 видно, что после работы образца с масляной дисперсией микротвердость увеличилась на 16%.

Профилограммы и кривые Абота исходного образца, образца после работы на «чистом» масле и образца после работы с масляной дисперсией, полученные с помощью профилометра «MarSurf PS1», представлены на рисунках 12 и в таблице 4.

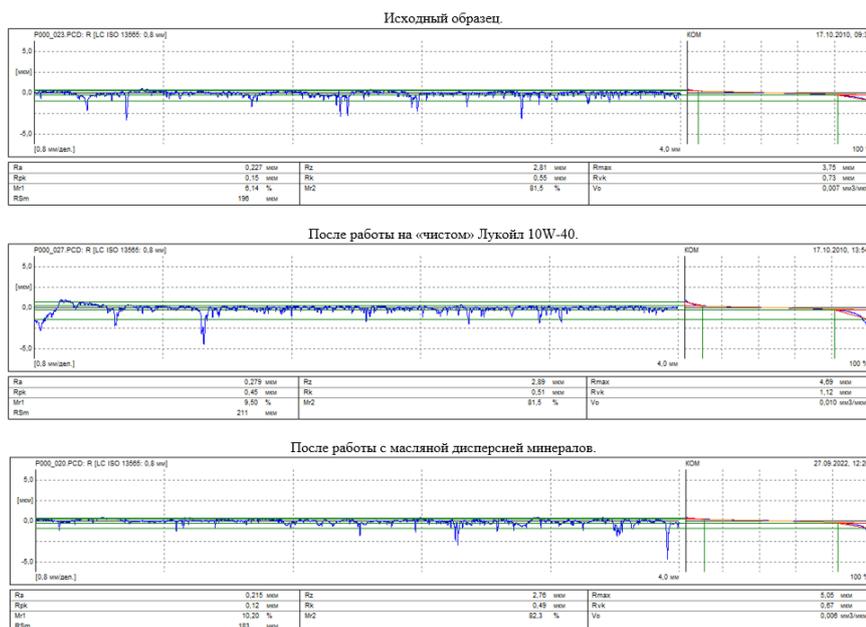


Рисунок 12 - Профилограммы и кривые Абота  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.15>

Таблица 4 - Параметры шероховатости образцов трения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.16>

Параметр	Значение	Ед. изм.	Исходный	Масло	Дисперсия
Ra	Средняя арифметическая шероховатость	мкм	0,227	0,279	0,215
Rz	Средняя высота от пика до впадины	мкм	2,81	2,89	2,76
Rmax	Максимальная глубина шероховатость	мкм	3.75	4.69	5.05
Rpk	Уменьшенная высота пика	мкм	0,15	0,45	0,12
Rk	Основная глубина шероховатости	мкм	0,55	0,51	0,49
Rvk	Уменьшенная глубина впадины	мкм	0,73	1,12	0,67
V <sub>0</sub>	Масляный объем	мм <sup>3</sup> /мкм <sup>2</sup>	0,007	0,010	0,006

Анализ параметров шероховатости образцов трения показывает, что работа на «чистом» масле несколько увеличивает Ra, Rz, Rmax, Rvk и Rvk. Это свидетельствует о некотором деструктивном влиянии масла на поверхности трения в процессе работы. Идет процесс граничного трения с изнашиванием, срезанием (вырыванием) пиков. При этом мы видим увеличение масляного объема V<sub>0</sub>, который должен бы улучшать несущую способность масла. Но, похоже, это осредненный параметр увеличился за счет локальных «вырванных» частичек металла. Что и подтверждает увеличение коэффициента трения.

Работа образца в масле с масляной дисперсией минералов приводит к снижению основных параметров шероховатости кроме Rmax, это единичная высота пика видна на профиле, и скорее всего, является следствием или остаточным влиянием твердого абразива рудного компонента трибосостава. Основной профиль визуально и по кривой Абота самый гладкий и значительное снижение коэффициента трения очевидно связано с увеличением фактической несущей площади контакта.

Подготовка образцов трения к исследованию проводилась как показано на рисунке 13.

3 основных этапа:

1. Механическая резка, шлифовка
2. Склейка 2 образцов поверхность к поверхности
3. Ионное травление места склейки до требуемой толщины

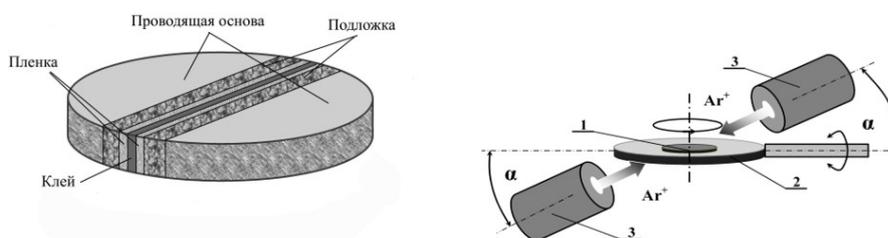


Рисунок 13 - Подготовка образцов трения к исследованию

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.17>

Результаты исследования приповерхностных слоев образцов:

Исследования методом ПЭМ показали, что в исходном образце основной фазой материала является мартенсит, при этом присутствует приповерхностный слой толщиной около 0,5 мкм, отличающийся более высокой концентрацией дефектов. На рисунке 14 представлено Изображение сечения приповерхностной области исходного образца и картина электронной дифракции от неё.

А в приповерхностной области обработанного образца наблюдаются протяжённые домены толщиной порядка 50 нм, ориентация которых приближается к горизонтальной вблизи поверхности. На рисунке 15 представлено изображение протяжённых доменов в приповерхностной области обработанного образца.

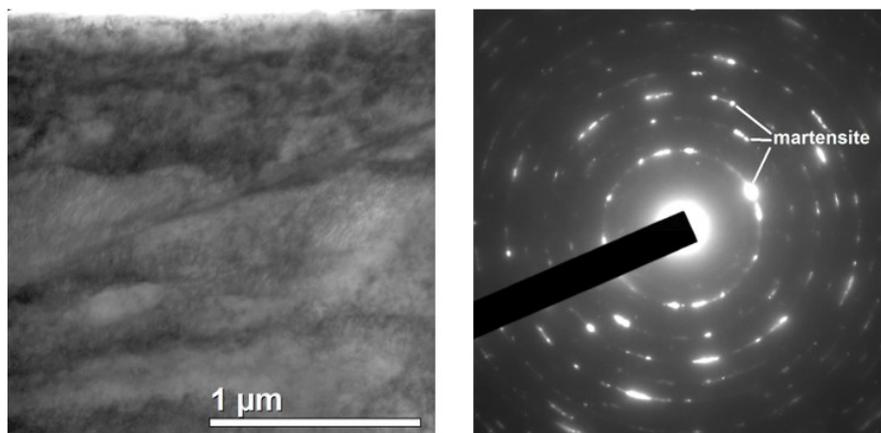


Рисунок 14 - Сечение приповерхностной области исходного образца  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.18>

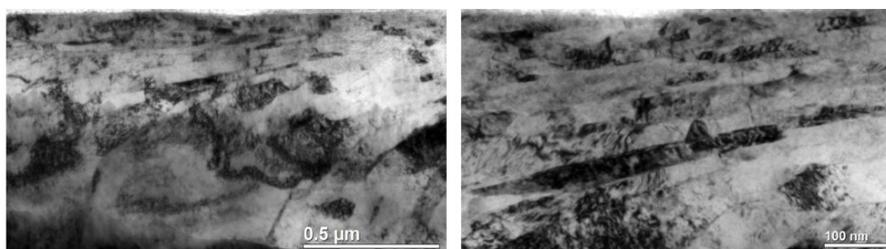


Рисунок 15 - Сечение приповерхностной области обработанного образца  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.19>

Исследования методом ПЭМ и РСМА показали, что основными элементами в триботехническом покрытии выявлено: железо, кремний, хром и марганец. Заметного отличия элементного состава приповерхностной области деталей трения после работы с масляной дисперсией минералов и без неё не наблюдается. Вероятно, что «строительство» нового слоя происходит из продуктов изнашивания, в том числе «снятого» при очистке (Fe), компонентов дисперсии, содержащих Fe и Mg и свидетельствует об отсутствии керамических и металлокерамических слоев (версия ревитализантов) (Рисунок 16).

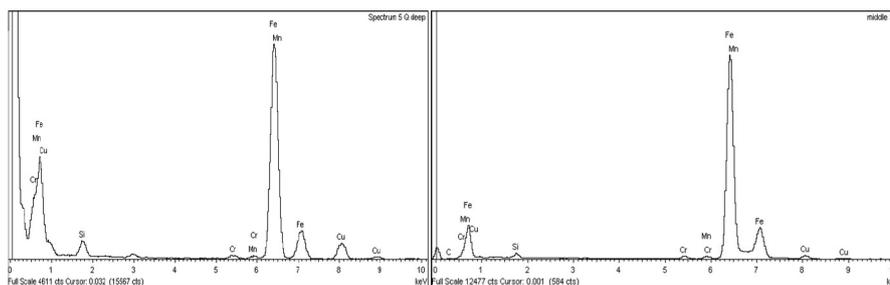


Рисунок 16 - Спектр EDX от образца до (слева) и после испытаний  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.20>

Спектральный анализ поверхностей трения показывает также наличие легирующих элементов в стали образцов трения: кремния (Si) менее 1,5%, марганца (Mn) менее 1,5%, хрома (Cr) менее 1,5% и меди (Cu).

### Заключение

Проведенные исследования позволяют сформулировать приблизительный механизм формирования поверхностей трения при работе с масляными дисперсиями серпентиновых и талькхлоритовых минералов.

Состав минералов должен иметь в достаточной мере абразивные компоненты, чтобы произвести первичную очистку поверхностей трения от отложений и окислов, а по возможности – и удаление с них разрушенных кристаллов при механической обработке деталей (резание, шлифование и т.п.) и в процессе эксплуатации машин и оборудования.

Абразивное действие минералов по мере приработки узла трения уменьшается, что исключает износ кристаллических структур. С другой стороны, энергии разрушения частиц достаточно, чтобы вывести систему трения из равновесия и инициировать в ней процессы самоорганизации с переходом на более высокий уровень «организованности» [8], с меньшими скоростями изнашивания и потерями на трение. Поэтому при разработке и производстве трибосоставов важно точнее подбирать композицию природных минералов с требуемой энергией разрушения, определяемой через энергоплотность, гранулометрический состав и оптимальную концентрацию для конкретного узла трения.

Проведенные исследования, опыт применения показывают, что формирование нового слоя находится в режиме автокомпенсации износа и оптимизации зазоров в узлах трения механизмов. То есть не наблюдается неуправляемый рост толщины слоя. В ДВС компрессия восстанавливается до номинальных значений и более не растет. В коробках передач и в редукторах восстанавливаются зазоры и параметры их работы. Никаких заклинков не происходит. Это свидетельство самоорганизующихся трибопроцессов.

«Строительство» слоя после очистки «не живой» (искаженная решетка, окислы и отложения) вероятно всего происходит по принципам диффузионных процессов – присоединения частиц металла свободными электронами, «вылет» которых после очистки достаточен для взаимодействия с противоположным объектом (частичкой металла).

Таким образом, представляется механизм физико-механических процессов в трибоконтакте с участием масляных дисперсий серпентиновых и талькхлоритовых минералов, приводящих к фазовым превращениям в структуре металла поверхностей трения, к оптимизации профиля поверхностей трения, что обуславливает кардинальное улучшение триботехнических процессов, сопровождающихся значительным снижением потерь на трение (коэффициент трения) и выделения тепловой энергии (температура трибосреды).

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Вайнштейн Д.Л., НТВП "Поверхность", Москва, Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.21>

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

Wainstein D.L., Surface Phenomena Researches Group, Moscow, Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.54.21>

### Список литературы / References

1. Зуев В.В. Свойство высокоэнергосплотных минеральных веществ изменять парамет-ры триботехнических систем / В.В. Зуев, С.Ю. Лазарев, Ю.Г. Лавров [и др.]. — Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова, ЦНИИ им. Акад. А.Н. Крылова, Приоритет открытия: 16 ноября 1995 г.
2. Телух Д.М. Изыскание возможностей использования в триботехнике руд, горных пород и минералов из отвалов месторождений с целью уменьшения износа машин и механизмов / Д.М. Телух, В.М. Шучко, Т.Л. Маринич. — Л.: «Механобр», 1988.
3. Маринич Т.Л. Технологическое обеспечение режимов практической безызносности подшипников шахтных вагонеток / Т.Л. Маринич, С.Б. Бакушев, М.В. Фомина // Научные труды. Повышение технического уровня горного оборудования для открытых и подземных работ. — Л.: Гипроникель, 1988.
4. Шеков В.А. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на месторождении таль-кового камня, проведенных в 2005 – 2008 гг. / В.А. Шеков, А.В. Гаранжа, А.А. Иванов. — Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, 2009.
5. Сибелев О.С. Петрографический отчет описание породы хлорит-карбонат-тальковый сланец месторождения Турган-Койван-Аллушта, Медвежьегорский район / О.С. Сибелев. — Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, 2019.
6. Хебда М. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения: Справочник по триботехнике Т.2 / М. Хебда, А.В. Чичинадзе. — М.: Машиностроение, Варшава: ВКЛ, 1990. — 411 с.
7. Гаркунов Д.Н. Долговечность трущихся деталей машин / Д.Н. Гаркунов. — Выпуск 5. — М.: Машиностроение, 1990. — 412 с.
8. Вернадский В.И. Избранные сочинения / В.И. Вернадский. — М.: Издательство АН СССР, 1954. — 696 с.
9. Акт испытаний триботехнического состава «СУПРОТЕК» на машине трения ИИ-5018 / Ю.Г. Лавров. — Санкт-Петербург, ООО «НПТК «СУПРОТЕК», 2016.
10. Патент №2599161 Триботехнический состав противозносный антифрикционный восстанавливающий, ООО «НПТК «СУПРОТЕК». — Приоритет изобретения 20.08.2015 г.

11. Франк-Каменецкий Д.А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д.А. Франк-Каменецкий. — 2008.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Zuev V.V. Svoystvo vysokoenergoplotnyh mineral'nyh veshchestv izmenyat' parametry tribotekhnicheskikh sistem [The property of high-energy-dense minerals to change the parameters of tribotechnical systems] / V.V. Zuev, S.YU. Lazarev, YU.G. Lavrov [et al.] — Voenno-morskaya akademiya im. N.G. Kuznetsova, CNII im. Akad. A.N. Krylova, Prioritet otkrytiya: 16 noyabrya 1995 g. [N.G. Kuznetsov Naval Academy, Central Research Institute named after Academician A.N. Krylova, Priority of opening: November 16, 1995] [in Russian]

2. Teluh D.M. Izyskanie vozmozhnostej ispol'zovaniya v tribotekhnike rud, gornyh porod i mineralov iz otvalov mestorozhdenij s cel'yu umen'sheniya iznosa mashin i mehanizmov [Search for the possibilities of using minerals from landfills in the tribotechnics of RU, rocks of deposits in order to change the wear of machines and mechanisms] / D.M. Teluh, V.M. Shuchko, T.L. Marinich. — L.: «Mekhanobr», 1988 [in Russian].

3. Marinich T.L. Tekhnologicheskoe obespechenie rezhimov prakticheskoy bezyznosnosti podshipnikov shahtnyh vagonetok [Technological support of the modes of practical wear-free bearings of mine trolleys] / T.L. Marinich, S.B. Bakushev, M.V. Fomina // Nauchnye trudy. Povyshenie tekhnicheskogo urovnya gornogo oborudovaniya dlya otkrytyh i podzemnyh rabot [Scientific works. Improving the technical level of mining equipment for open-pit and underground work]. — L.: Gipronikel', 1988 [in Russian].

4. Shekov V.A. Otchet o rezul'tatah poiskovo-ocenochnyh rabot na mestorozhdenii tal'-kovogo kamnya, provedennyh v 2005 – 2008 gg. [Report on the results of the search and evaluation work at the talcum stone site carried out in 2005-2008.] / V.A. Shekov, A.V. Garanzha, A.A. Ivanov. — Institute of Geology of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 2009 [in Russian].

5. Sibelev O.S. Petrograficheskij otchet opisaniya porody hlorit-karbonat-tal'kovyj slanec mes-torozhdeniya Turgan-Koyvan-Allusta, Medvezh'egorskij rajon [Petrographic report description of a parody of the chlorite-carbonate-talc shale of the birthplace of Turgan-Koyvan-Allust, Medvezhegorsky district] / O.S. Sibelev. — Institute of Geology of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 2019 [in Russian].

6. Hebda M. Smazochnye materialy, tekhnika smazki, opory skol'zheniya i kacheniya: Spravochnik po tribotekhnike [Lubricants, lubrication techniques, sliding and rolling bearings: Handbook of Tribo-technics] Vol. 2 / M. Hebda, A.V. Chichinadze. — M.: Mashinostroenie, Varshava: VKL, 1990. — 411 p. [in Russian]

7. Garkunov D.N. Dolgovechnost' trushchihsya detalej mashin [Durability of rubbing machine parts] / D.N. Garkunov. — No. 5. — M.: Mashinostroenie, 1990. — 412 p. [in Russian]

8. Vernadskij V.I. Izbrannye sochineniya [Selected writings] / V.I. Vernadskij. — M.: Publishing house AN SSSR, 1954. — 696 p. [in Russian]

9. Akt ispytaniy trib otekhnicheskogo sostava «SUPROTEK» na mashine treniya II-5018 [The act of testing the tribotechnical composition of "SUPROTEK" on the machine II-5018] / YU.G. Lavrov. — St. Petersburg, LLC "NPTK SUPROTEK", 2016 [in Russian].

10. Patent №2599161 Tribotekhnicheskij sostav protivoznosnyj antifrikcionnyj vosstanavlivay-uschij, OOO «NPTK «SUPROTEK» [Patent No.2599161 "Tribotechnical composition anti-wear antifriction reducing", LLC "NPTC SUPROTEK". — Priority of the invention 08/20/2015 [in Russian]

11. Frank-Kameneckij D.A. Osnovy makrokinetiki. Diffuziya i teploperedacha v hi-micheskoj kinetike [Fundamentals of macrokinetics. Diffusion and heat transfer in chemical kinetics] / D.A. Frank-Kameneckij. — 2008 [in Russian].