

## Возможный механизм действия геоактиваторов трения в трибосопряжениях деталей машин

В. А. Козечко<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> ДВНЗ «Национальный горный университет», просп. К. Маркса, 19, Днепропетровск, Украина, 49000

### Article info:

Paper received:

23 May 2015

The final version of the paper received:

16 October 2015

Paper accepted online:

30 November 2015

### Correspondent Author's Address:

<sup>1)</sup> kozechko@list.ru

В работе показан новый метод восстановления взаимодействующих узлов с использованием геоактиваторов трения. Данный способ позволяет снизить износ поверхности, а также восстановить функциональное состояние изношенных поверхностей без прекращения эксплуатации механизмов. В основу разработки положены идеи использования геоактиваторов нового поколения и управления процессами, происходящими в зоне контакта пар трения для повышения износостойкости и долговечности машин и механизмов. Установлено, что механизм действия заключается в направленной ионной диффузии компонентов специального трибологического состава. Исследования основаны на выборе состава трибологических материалов, определении физико-химических характеристик геоактиваторов, использовании вычислительной техники, испытательных машин и оборудования, приспособлений для контроля процессов трения и износа, проведении современного металлофизического анализа и аналитико-статистической обработки экспериментальных данных.

Проведены экспериментальные исследования механизма взаимодействия геоактиваторов с разными конструкционными материалами в условиях трения, которые включали анализ повреждений узлов и деталей горно-металлургического оборудования при их контактном взаимодействии; анализ химического состава порошковых материалов, используемых для изготовления геоактиваторов; металлографические исследования поверхностей трения при использовании геоактиваторов; исследование влияния геомодификаторов на механические и эксплуатационные свойства материалов.

Исследования трущихся поверхностей после обработки геоактиватором показали, что компоненты геоактиватора диффундируют в поверхностные слои материала и образуют стеклокристаллические слои, представляющие собой растворы компонентов геоактиватора в фазовых составляющих сталей и чугунов поверхности. Исследования механических свойств показали, что твердость и износостойкость поверхностного слоя увеличивается, а шероховатость контактирующих поверхностей снижается.

**Ключевые слова:** реновация поверхности, пара трения, шероховатость, износостойкость, твердость, силикаты.

## ВВЕДЕНИЕ

Существенным препятствием повышения долговечности машин и механизмов является износ их узлов в процессе трения. Масштаб убытка вследствие износа и значение проблемы повышения износостойкости и долговечности машин могут быть охарактеризованы следующими цифрами: из-за износа узлов деталей происходит 80 - 90 % отказов машин, а потери средств в машиностроении достигают 5 % национального дохода [1, 2, 3].

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Цель работы – исследование влияния геоактиваторов трения и его состава на коэффициент трения и функциональное состояние поверхности трущихся деталей.

Геоактиватор представляет собою порошковый материал, изготовленный на базе отечественного

природного материала – серпентинита, который в своем составе содержит большое количество химических элементов однако основной вес приходится на Mg ( $\approx 23$  %), Si (18 – 21 %) и их оксиды SiO<sub>2</sub> (33,4 – 44,5 %) и MgO (25,6 – 38,0 %). В процессах, происходящих в трибосопряжениях, главную роль играют силикаты – солеобразные химические соединения, содержащие кремнезем SiO<sub>2</sub>.

В основе силикатов с мелкими катионами лежит тетраэдрическая ортогруппа. В составе геоактиваторов находятся силикаты магния в различных формах с общей формулой nMgO mSiO<sub>2</sub> или с учетом замещения Mg<sup>2+</sup> ↔ Fe<sup>2+</sup> (3Mg<sup>2+</sup> ↔ 2Fe<sup>3+</sup>), (Mg, Fe)<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]. На рис 2. представлена диаграмма состояния MgO - SiO<sub>2</sub>, отражающая зависимость структуры магний-силикатных соединений от их состава и температуры.

Эти силикаты могут образовывать твердые растворы ограниченной и неограниченной растворимости как результат замещений катионов решетки

$Mg^{2+}$  другими катионами, занимающими сходные места в упаковке из крупных ионов  $O^{2-}$ . Возможно также замещение катионов  $Mg^{2+}$  на катионы с большей валентностью ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) с возникновением катионных вакансий. Вакансии, искажения в решетках от различий ионных радиусов взаимно замещаемых катионов, расположение части последних в междоузлиях решеток, дислокации представляют собой дефекты решеток силикатов, которые могут изменять скорость диффузии, ускорять химические реакции, увеличивать спекаемость и другие физико-химические характеристики. [3]

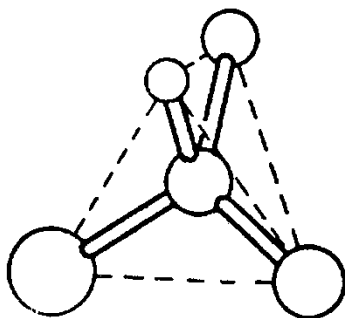


Рисунок 1 – Тетраэдрическая ортогруппа  $SiO_4$

Природные силикаты, входящие в состав геоактиваторов, содержат в той или иной мере все возможные фазы. Из них основными являются существующие в районе 50 % концентрации форстерит и энстатит, которые, как видно из диаграммы (рис. 2), присутствуют и при других концентрациях в качестве одной из составляющих.

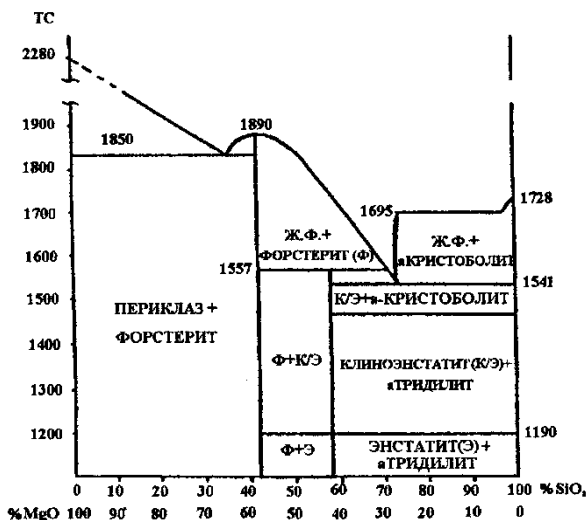


Рисунок 2 – Диаграмма состояния системы  $MgO - SiO_2$

Форстерит имеет ромбическую кристаллическую решетку с параметрами  $a = 4,770 \text{ \AA}$ ,  $b = 10,260 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,990 \text{ \AA}$ . Форстерит устойчив во всем диапазоне температур, имеет твердость 7 единиц по шкале Мооса. Наиболее важным свойством форстерита

является способность к образованию твердых растворов.

Энстатит имеет структуру, состоящую из бесконечных цепочек различных типов с общей формулой  $Mg_2[Si_2O_6]$ . Энстатит имеет две полиморфные формы – энстатит и клиноэнстатит.

В структуре основных конструкционных материалов – сталей и чугунов - согласно диаграмме состояния  $Fe - C$  ( $Fe - Fe_3C$ ) практически при любых концентрациях углерод присутствует в виде цементита (химическое соединение –  $Fe_3C$ ). При содержании углерода, меньшем или равном 0,8 %, цементит входит в состав перлита, при содержании углерода более 0,8 % - цементит наблюдается так же в свободном виде.

На рис. 3 представлена кристаллическая решетка цементита. Цементит обладает ромбической кристаллической решеткой со следующими параметрами:  $a = 5,077 \text{ \AA}$ ,  $b = 6,776 \text{ \AA}$ ,  $c = 4,515 \text{ \AA}$ .

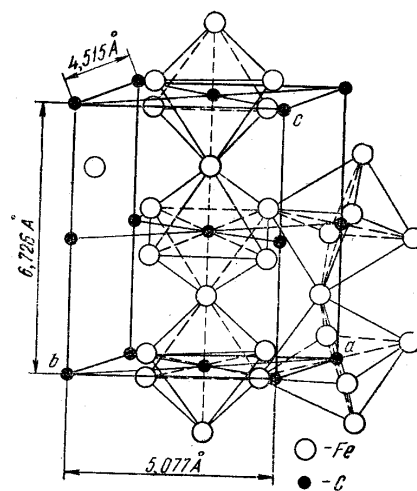


Рисунок 3 – Кристаллическая решетка цементита

Сравнение параметров кристаллических решеток цементита и форстерита (табл. 1) показало практически полное совпадение параметров по двум координатным осям. [4]

Таблица 1 – Параметры кристаллических решеток цементита и форстерита

	Величина параметра, $\text{Å}$		
Форстерит	$a = 4,770$	$b = 10,260$	$c = 5,990$
Цементит	$c = 4,515$	$2a = 10,154$	$b = 6,726$
Разность параметров	0,255	0,106	0,736
Разность параметров, %	5	1	11

Частицы геоактиватора, попавшие со смазкой в зону трения, подвергаются воздействию контактного давления, которое в микрообъеме пятна контакта может достигать давления до 1000 МПа. В результате этого происходит процесс разрушения кристаллов геоактиватора и образование активных радикалов. Близость параметров кристаллических решеток цементита и форстерита позволяет образовываться на поверхности стали силикатным соединениям без

существенного искажения их кристаллических решеток, что очень важно для прохождения диффузионных процессов.

Одновременно с этим кристаллы геоактиватора, имеющие более высокую твердость, чем материал детали, производят микрошлифование поверхностей трения и удаление окисных пленок, а именно происходит подготовка контактирующих поверхностей к процессу обработки геоактиватором, в это же время происходят уменьшение шероховатости поверхности и ее активация.

Под действием контактных нагрузок (на уровне предела текучести материалов) происходит также замещение катионов Mg в кристаллах геоактиватора на катионы Fe с образованием твердых растворов. В результате прохождения этих процессов на поверхности трения образуется стеклокристаллический слой, прочно связанный с поверхностью детали, состоящий из различных по структуре соединений (от бесконечных слоев и цепочек до аморфной фазы), связанных между собой и способных к дальнейшим фазовым превращениям.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока вся поверхность металла не будет насыщена геоактиватором. Процесс заканчивается образованием стабильной кристаллической структуры поверхностного слоя и прилегающих к поверхности слоев металла. Завершение процесса насыщения поверхности геоактиватором сопровождается резким снижением коэффициента трения и температуры узла трения.

Таким образом, процессы, происходящие в зоне трения при обработке геоактиватором, можно разделить на четыре этапа:

- активация поверхности;
- абсорбция геоактиватора поверхностными слоями металла;
- диффузия геоактиватора из поверхностного слоя вглубь металла;
- восстановление трущихся поверхностей с уменьшением шероховатости [5].

Проведено исследование химического состава трущихся поверхностей после обработки геоактиватором на протяжении 15, 20 и 40 часов бесперебойной работы. Для исследования были изготовлены металлографические косые шлифы.

Исследование химического состава трущихся поверхностей после обработки геоактиватором показали, что компоненты геоактиватора диффундируют в поверхностные слои материала и образуют стеклокристаллические слои, представляющие собой растворы компонентов геоактиватора в фазовых составляющих сталей и чугунов. Глубина проникновения составляет 0,1 - 0,2 мм.

Были исследованы механические свойства контактирующих поверхностей: микротвердость, шероховатость, износостойкость. Измерение микротвердости производили на приборе ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76 под нагрузкой 50 и 100 г. Исследование микротвердости обработанных геоактиватором поверхностей металла на различной глубине позволило установить определенную зависимость. Твердость поверхностного слоя, выявляющегося на микрошлифе в виде светлой полосы, отличается от исходной твердости обрабатываемого материала, и, как правило, значительно превышает ее (рис. 4). На глубине по-

рядка 0,2 мм и более микротвердость металла сравнивается с исходной твердостью металла.

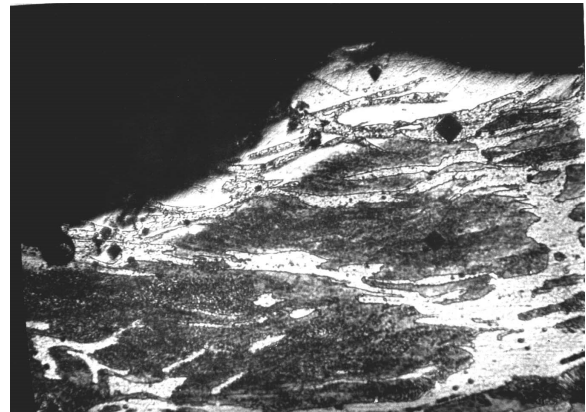


Рисунок 4 – Микроструктура поверхностных слоев с отпечатками алмазной пирамиды, х 300

Это видно по кривым зависимости значений микротвердости от глубины слоя, представленных на рис. 5. Рассмотрение этих кривых показывает, что максимальное повышение твердости относится к той глубине (до 0,04 мм), где кончается нижняя часть модифицированного слоя и начинается подповерхностный слой.

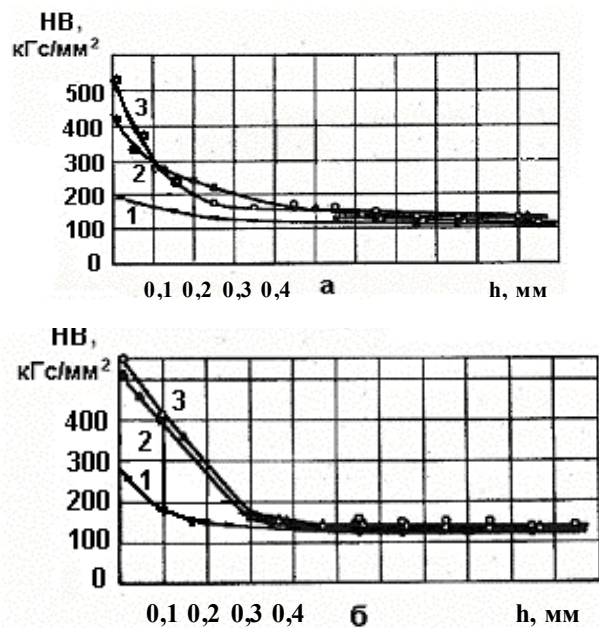


Рисунок 5 – Зависимость значения микротвердости от глубины слоя: а – сталь 45; б – сталь 40ХН; 1 – испытания без геоактиваторов; 2 – испытания с геоактиватором № 1; 3 – испытания с геоактиватором № 2

Исследования механических свойств показали, что твердость поверхностного слоя увеличивается в 1,5...3,5 раза, износостойкость повышается в 4...5 раз, шероховатость контактирующих поверхностей уменьшается в 2,5 - 10 раз (табл. 2).

Таблица 2 – Механические свойства сталей

Материал	Механические свойства		
	Твердость НВ	Шероховатость R <sub>a</sub> , мкм	Износостойкость, мм <sup>3</sup>
Сталь 45, исходное состояние	179	2,5	2,1·10 <sup>-11</sup>
Сталь 45, после обработки геоактиватором	550	0,8	0,6·10 <sup>-11</sup>
Сталь 40ХН, исходное состояние	200	1,25	1,5·10 <sup>-11</sup>
Сталь 40ХН, после обработки геоактиватором	585	0,2	0,4·10 <sup>-11</sup>

Таким образом, действие геомодификаторов обуславливает возникновение уникального трибологического эффекта.

### Possible effects of geoactivators friction in friction units of machine parts

V. Kozechko<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> State Higher Educational Institution "National Mining University", Karl Marx av., 19, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49000

The paper shows a new method of restoration of interacting nodes using geoactivators friction. This method allows to reduce the wear on the surface, as well as to restore the functional condition of the worn surfaces without interrupting operation of mechanisms. The idea is based on using a new generation of geoactivators and management processes in the contact zone of friction pairs to increase the durability and longevity of machinery. It was found that the mechanism of action consists in the ionic diffusion of the components of special tribological composition. The research is based on the selection of the composition of tribological materials, determining the physical and chemical characteristics of geoactivators, using computer technology, testing machines and equipment, tools for monitoring the process of friction and wear, carrying out of a modern metallophysical analysis and analytical and statistical processing of experimental data.

Experimental studies of the mechanism of interaction geoactivators with different structural materials under friction, which included the analysis of damage of units and parts of mining and metallurgical equipment during their interaction were held. The analysis of chemical composition of the powder materials used to manufacture geoactivators was carried out. Metallographic studies of the friction surfaces using geoactivators and study of the influence geomodifiers on mechanical and performance characteristics of materials were undertaken.

The studies on the friction surfaces after treatment by geoactivators showed that geoactivators components diffuse into the surface layers of the material and form crystalline layers, which are solutions of the components in phase components geoactivators steels and cast iron surface. Investigations of mechanical properties showed that the hardness and wear resistance of the surface layer increases and the roughness of the contact surfaces reduce.

Keywords:

**Keywords:** renovation of the surface, a pair of friction, roughness, wear resistance, hardness, silicates.

### Можливий механізм дії геоактиваторів тертя в трибоспряженнях деталей машин

В. А. Козечко<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, Україна, 49000

У роботі розглянуто можливий механізм дії геоактиваторів тертя у трибоспряженнях деталей машин. Дослідження хімічного складу поверхонь, що труться, після оброблення геоактиватором показали, що після обробки компоненти геоактиватора дифундують у поверхневі шари матеріалу та утворюють склокристалічні шари. Дослідження механічних властивостей показали, що твердість та зносостійкість поверхневого шару збільшуються, а шорсткість контактних поверхонь зменшується.

**Ключові слова:** тертя, геоактиватор поверхні, шорсткість, зносостійкість, твердість, силікати.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дидык Р. П. Технология производства и ремонт горных машин / Р. П. Дидык, В. Н. Забара, П. М. Шилов. - Днепропетровск, 2005. - 422 с.
2. Онищук Н. Ю. Улучшение триботехнических свойств металлолакирующих пластичных смазок комплексообразующими соединениями / Н. Ю. Онищук, А. С. Кужаров, А. А. Кутьков // Трение и износ. - 2000. - Т. 1, № 1. - С. 428 - 457.
3. Комаров С.Н. Металлолакирующие смазочные материалы для пар трения сталь - сталь / С.Н. Комаров, В.Ф. Пичугин, Н.Н. Комарова // Долговечность трущихся деталей машин. - 1990. - № 5. - С. 70 - 85.
4. Гуляев А. П. Металловедение/ А.П. Гуляев. - М. : Металлургия, 1978. - 648 с.
5. Безрукавая В.А. Пути преодоления триботехнического барьера в целях повышения ресурса горного оборудования / Р. П. Дидык, В. В. Зиль, В. А. Безрукавая // Горный журнал. - 2011. - № 2. - С. 54 - 57.

## REFERENCES

1. Didyk, R. P., Fence, V. N. Shilov, P. M. (2005). Tekhnologiya proizvodstva i remont gornykh mashin [The technology of production and repair of mining machinery]. - Dnepropetrovsk [in Russian].
2. Onischuk, N. Y., Kuzharov, A.S., Kutkov, A. A. (2000). Uluchsheniye tribotekhnicheskikh svoystv metalloplakiruyushchikh plastichnykh smazok kompleksobrazuyushchimi soyedineniyami [Better tribological properties of lubricating greases metalplacking complexing compounds]. Friction and wear, Volume 1, № 1, 428-457 [in Russian].
3. Komarov, S. N., Pichugin, V. F., Komarov, N. N. (1990). Metalloplakiruyushchiye smazochnyye materialy dlya par treniya stal' - stal' [Metalcladding lubricants for friction pairs steel - steel] Durability of friction machine parts, 5, 70 - 85 [in Russian].
4. Gulyaev, A. P. (1978). Metallovedeniye [Metallurgy]. - Moscow: Metallurgy [in Russian].
5. Bezrukavaya, V. A., Didyk, R. P., Zil, V. V., Bezrukavaya, V. A. (2011). Puti preodoleniya tribologicheskogo bar'yera v tselyakh povysheniya resursa gornogo oborudovaniya [Ways to overcome the barrier tribological in order to increase resource mining equipment]. Mining Journal, 2, 54 - 57 [in Russian].