



СМАЗОЧНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

LUBRICANT COMPOSITION TO IMPROVE ABRASIVE MATERIALS PROCESSING

В.Шевченко*, д.х.н., А.Рябина*, к.х.н., В.Торокин*, В.Алехина* / shevchenko@ihim.uran.ru
V.Shevchenko*, D.Sc., A.Ryabina*, Ph.D., V.Torokin*, V.Alekhina*

Новая твердая смазка на органической основе с наполнителями из наноматериалов обеспечивает комплексное повышение эффективности металлообработки: улучшение качества и сокращение времени шлифования и полирования, устранение прижогов, уменьшение температуры в зоне обработки, увеличение срока службы абразивного инструмента.

New solid lubricant based on organic fillers of nanomaterials provides a comprehensive efficiency of metal processing: improving quality and reducing time of grinding and polishing, the exclusion of burn marks, reducing the temperature in the treatment area, increasing the service life of the abrasive tool.

Эффективность металлообработки – комплексный показатель, учитывающий в числе прочих условий роль режущего инструмента, его влияние на производительность труда, экономичность и "металлоемкость". Технологические смазки для абразивной обработки применяются в машиностроении и других отраслях промышленности в процессах, связанных со шлифованием и полированием черных и цветных металлов, а также их сплавов. Применение смазочно-охлаждающих технологических средств позволяет значительно повысить эффективность шлифования. Путем совершенствования составов и технологий использования смазочно-охлаждающих средств можно существенно увеличить эффективность абразивного инструмента, обеспечить получение требуемого класса шлифованных поверхностей деталей за меньшее время. Таким образом, применение современных смазочно-охлаждающих средств, в том числе нестандартных, таких как, например, карандаши твердой смазки (КТС), обеспечивает повышение качества продукции машиностроительных предприятий.

Подбор оптимального состава КТС, позволяющего стабилизировать режущую способность шлифовального круга, – задача весьма сложная. Компоненты КТС должны отвечать следующим требованиям: функциональность

(смазочная способность), стабильность при хранении, пожарная безопасность, экологическая безопасность. Замена экологически опасных компонентов на менее химически активные, а также использование более дешевых наполнителей, эффективность действия которых можно повысить путем применения комбинации присадок из наноматериалов и относительно дешевых органических материалов, обуславливают возможность получения КТС, отвечающего всем вышеперечисленным требованиям. Авторы разработали, запатентовали и провели испытания КТС с наполнителями из наноматериалов, который обеспечивает повышение эффективности обработки металлов и достижение высокого качества обработки поверхности, в частности, значительное снижение ее шероховатости.

РАЗРАБОТКА КТС

Перед авторами стояла задача – разработать состав смазки для абразивной обработки различных металлов и сплавов, позволивший бы достичь высокого качества поверхности за счет значительного снижения ее шероховатости. В соответствии с предъявляемыми к современным КТС санитарно-гигиеническими требованиями учитывались недостатки известных твердых смазок, содержащих экологически вредные компоненты – олово, свинец, кадмий и др.

¹ Институт химии твердого тела УрО РАН / * Institute of Solid State Chemistry of UB RAS.



При резании или шлифовании в зоне контакта с обрабатываемой деталью выделяется большое количество тепла, и температура достигает 1000–1600°C [1]. В результате нагрева обрабатываемой детали на ее поверхности образуются прижоги. Таким образом, при изготовлении твердой смазки необходимо также учитывать необходимость охлаждения обрабатываемой поверхности. Уменьшение коэффициента трения между шлифуемой поверхностью и абразивным кругом также актуально [2], поскольку трение в процессах механической обработки оказывает большое влияние на износостойкость инструмента. Эта задача решается путем добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ), обладающих большим сродством с металлом (смачивающей способностью) и, следовательно, уменьшающих трение [3].

Твердые смазочные материалы применяются для повышения технологической эффективности процессов абразивной обработки. Высокодисперсные абразивные наполнители обеспечивают формирование на поверхностях трения структуру с высокими трибологическими характеристиками. Влияние нанодобавок на трибологические процессы в местах контакта изучались во многих работах [4, 5]. Так, НПО "Нанотех" разработал ряд материалов, применяемых в качестве присадок к моторным и индустриальным маслам. К ним относятся кластерные алмазы с размерами до 100 ангстрем и ультрадисперсный наноалмазографит. В работе [4]

установлено, что введение нанопорошков меди и никеля в моторное масло SAE10W-30 позволяет уменьшить износ и до двух раз снизить коэффициент трения в узле трения накладки и вала, что в свою очередь влияет на контактную температуру.

Отличительной особенностью разработанной авторами твердой смазки является содержание в ее составе, кроме высокоэффективных ПАВ (минерального масла, низкомолекулярного полиэтилена и др.), также смеси ультрадисперсных порошков углетермического восстановления лейкоксена (продукта обогащения нефтеносных кремнисто-титановых руд) и нитрида алюминия (AlN). Последний является техническим керамическим материалом, который обладает чрезвычайно интересным сочетанием очень высокой теплопроводности и отличных изоляционных свойств.

Около 90% содержащихся в лейкоксене компонентов составляют оксиды титана и кремния (табл.1). Карботермическое восстановление лейкоксена при определенных температурах в газовой среде позволяет получить механическую порошковую смесь карбида кремния и карбонитрида титана с разным соотношением компонентов (50–70 масс.% $TiC_{1-x}N_x$ и 20–40 масс.% SiC) [6].

Величина удельной поверхности – одна из важнейших характеристик наноматериала, определяющая активность протекания физико-химических процессов и многие технологические свойства. Знание этого параметра особенно

The efficiency of metal-working is a complex characteristic that takes into account, among other conditions, the role of the cutting tool, its impact on productivity, efficiency and "specific quantity of metal". Technological lubricants for abrasive machining are used in mechanical engineering and other industries in the processes associated with the grinding and polishing of ferrous and non-ferrous metals and their alloys. The use of lubricating and cooling technological systems can significantly improve the grinding efficiency. Improving the structures

and technologies of the use of lubricating and cooling systems allows significantly increase the efficiency of the abrasive tool, to provide the required quality of polished surfaces of the parts in less time. Thus, the use of modern lubrication and cooling systems, including non-standard like, for example, solid lubricant pencil (SLP), provides improving the quality of products of machine-building enterprises.

Selection of the optimal composition of the SLP, to stabilize the cutting ability of the grinding wheel, is a very challenging task. Components of the SLP must meet

the following requirements: functionality (lubricating ability), storage stability, fire safety, environmental safety. The use of less reactive components instead of environmentally hazardous ones, and of cheap fillers, the effectiveness of which can be improved by the use of combinations of additives of nanomaterials and relatively cheap organic materials, determines the possibility of obtaining SLP that meets all the requirements listed above. The authors have developed, patented and tested a SLP with fillers of nanomaterials, which enhances the efficiency of processing of metals and allows achieving



Таблица 1. Химический состав 50%-ного лейкоксена, масс. %
Table 1. The chemical composition of 50% leucoxene, wt. %

№ образца No. of sample	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO+MgO	K ₂ O+Na ₂ O	Nb ₂ O ₃	P ₂ O ₅	ΣTR
1	48,0	40,7	2,50	2,40	0,78	–	0,063	0,15	0,2
2	53,0	38,0	2,80	5,45	–	0,75	0,091	0,11	–

необходимо в случае, когда в технологическом процессе работает именно поверхность. Важнейшей характеристикой наноматериалов также является размер частиц.

Использованный при создании КТС порошок нитрида алюминия имел удельную поверхность 27 м²/г. Гранулометрический анализ, выполненный на лазерном гранулометре Horiba LA-950 с обработкой ультразвуком, показал, что средний размер частиц составляет 0,15 мкм. Благодаря высокой хрупкости переработанного лейкоксена размол в шаровой мельнице позволяет получать порошки различной дисперсности. В нашем случае средний размер частиц составлял 3–5 мкм.

Правильно подобранное связующее повышает адгезию к материалу обрабатываемой заготовки, способствует образованию равномерного смазочного слоя на поверхности трения, повышению долговечности КТС. Связующее, обладающее достаточно хорошей прочностью сцепления с поверхностями трения, значительно увеличивает износостойкость КТС. Установлено,

что антифрикционные и адгезионные свойства КТС существенно зависят от соотношения содержания наполнителя и связующего: чем больше связующего, тем прочнее связь образующихся в процессе шлифования пленок с обрабатываемой поверхностью; чем меньше связующего, тем выше антифрикционные свойства КТС. Граничные значения содержания компонентов смазки выбирают в соответствии с экспериментальными данными.

Проведенные авторами экспериментальные исследования позволили установить, что дополнительное введение в состав смазки линолевой кислоты может улучшить смазывающие свойства. Так, при содержании линолевой кислоты менее 16,5 масс. % наблюдается увеличение трения прохода инструмента по материалу, а при содержании линолевой кислоты более 31 масс. % – проскальзывание инструмента по материалу и, как следствие, увеличение времени обработки. Также путем эксперимента был установлен оптимальный состав наполнителя – высокодисперсного порошка. Лучшие

of high quality surface treatment, in particular, of significant reduction in its roughness.

THE DEVELOPMENT OF THE SLP

The authors task was to develop a lubricant composition for abrasive machining of various metals and alloys, allowing to achieve the highest surface quality due to a significant roughness reduction. According to sanitary-hygienic requirements to modern SLPs were taken into account the disadvantages of the known solid lubricants containing environmentally harmful components: tin, lead, cadmium, etc.

During cutting or grinding in the contact zone produces a lot of heat and the temperature reaches of 1000-1600 °C [1]. With heating the workpiece on its surface form burn marks. Thus, in the manufacture of solid lubricants must also consider the need for cooling the machined surface. Reducing the coefficient of friction between the sanding surface and an abrasive wheel is also relevant [2], since the friction in machining processes has a great influence on the tool life. This problem is solved by adding surface-active substances (surfactants), which have a great affinity with metal

(wetting) and, therefore, reduce friction [3].

Solid lubricants are used to improve process efficiency of abrasive machining processes. Superfine abrasive fillers provide formation on the friction surfaces of the structure with high tribological characteristics. The influence of nano-additives on tribological processes at the points of contact have been studied in many works [4, 5]. Thus, the Nanotech R&D production facility has developed a number of materials used as additives for motor and industrial oils. These include a cluster diamonds with sizes up to 100

физико-химические свойства были получены при введении в состав смазки смеси продукта термического восстановления лейкоксена и нитрида алюминия в соотношении 1:2.

Ряд экспериментов был выполнен для определения оптимального соотношения в составе наполнителя "твердой" и "мягкой" составляющих: нитрида алюминия, который обладает высокой микротвердостью, обеспечивающей снятие шероховатостей с поверхности, и продукта термического восстановления лейкоксена, который обеспечивает заглаживание неровностей, образовавшихся в результате действия "твердой" составляющей, полировку поверхности. Только определенная их пропорция обеспечивает достижение технического результата – снижения шероховатости обрабатываемой поверхности. Так, при соотношении продукта термического восстановления лейкоксена и нитрида алюминия менее 1:2 наблюдается ухудшение чистоты обрабатываемой поверхности, а при соотношении более 1:1 – засаливание рабочей поверхности абразивного инструмента.

Использование ультрадисперсного порошка AlN приводит к быстрому образованию лакирующего слоя. Совместное использование лейкоксена и нитрида алюминия дает отличный синергетический эффект – лакирующая пленка представляет собой высокотвердый (устойчивый к изнашиванию) композит толщиной до 4 мкм. При этом контактная температура в зоне контакта снижается до 30%, что приводит



Рис.1. Установка для синтеза КТС

Fig.1. Device for synthesis of SLP

к уменьшению вероятности появления прижогов и трещин в поверхностном слое шлифуемых деталей.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ КТС

В качестве исходных компонентов использовались стеариновая кислота ГОСТ 6484-64, линолевая кислота ГОСТ 30623-98, низкомолекулярный полиэтилен марки НМПЭ-1 ТУ-6-05-18-37-82, минеральное масло (веретенное) ГОСТ 1642-75, хлорфторуглеродное масло ОСТ 6-02-6-81 и смесь ультрадисперсных порошков продукта термического восстановления лейкоксена и нитрида

angstroms and ultrafine nanodiamond-graphite. In [4] was established that the introduction of nanopowders of copper and nickel in motor oil SAE10W-30 reduces wear and friction of lining and the shaft, which in turn affects the temperature.

A distinctive feature of the solid lubricant, developed by the authors, is content in its composition in addition to high-performance surfactants (mineral oils, low molecular weight polyethylene, etc.) of the mixture of ultrafine powders of carbothermic reduction of leucosene (product of enrichment of oil-bearing

silicon-titanium ores), and also of aluminum nitride (AlN). The latter is a technical ceramic material, which has a very interesting combination of very high thermal conductivity and excellent insulating properties.

About 90% leucosene components are oxides of titanium and silicon (table.1). Carbothermic reduction of leucosene at certain temperatures in a gaseous environment allows to obtain mechanical powder mixture of silicon carbide and titanium carbonitride with different ratio of components (50-70 wt.% TiC1-xNx and 20-40 wt.% SiC) [6].

The specific surface area is one of the most important characteristics of the nanomaterial, which determines the activity of physico-chemical processes and many technological properties. Information about this parameter is particularly necessary in the case when the surface works in the process. The most important characteristic of nanomaterials is also the particle size.

Powder of aluminum nitride used to create the SLP had a specific surface area of 27 m²/g. The particle size analysis by laser diffraction using Horiba LA-950 device with ultrasound treatment



алюминия, взятых в соотношении 1:2. В расплав смеси стеариновой и линолевой кислот при 70–75°C вводятся расплав низкомолекулярного полиэтилена и эмульсия хлорфторуглеродного масла в минеральном масле. Затем добавляется смесь ультрадисперсного или микронного порошка продукта термического восстановления лейкоксена и нитрида алюминия. Полученную массу перемешивают в течение 10–15 мин при 70–75°C. Установка для синтеза КТС представлена на рис.1.

Полученную смазку испытывали при шлифовании образцов из нержавеющей стали, меди и титанового сплава. Образцы размером 18×30×40 мм шлифовали лентой 14A25H C/c по ТУ 2-036-766-78 с прижимом 29,4 Н и скоростью 25 м/с. Прижоги оценивали визуально с помощью микроскопа по появлению цветов побежалости. Шероховатость поверхности R_a измеряли на профилографе-профилометре мод.201. Смазку наносили через каждые 10 циклов. Данные о шероховатости R_a обработанной поверхности при использовании КТС приведены в табл.2.

КТС (рис.2, 3) прошли испытания и применяются на следующих предприятиях: "Уральский завод гражданской авиации", "Уральский турбинный завод", "СИЗ" Свердловский инструментальный завод" и др. Результаты испытаний подтверждены соответствующими документами. Составы твердых смазок защищены охраняемыми документами РФ.

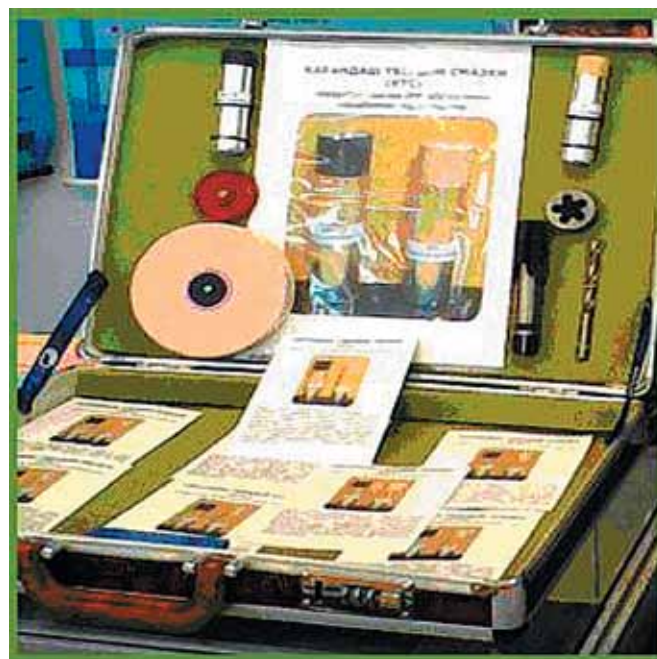


Рис.2. Демонстрационный стенд КТС

Fig.2. Display stand of SLP

ПРЕИМУЩЕСТВА

Эффекты, достигаемые при применении КТС, обусловлены уникальными свойствами ПАВ, входящих в состав смазки, физико-химическими свойствами высокодисперсных абразивных материалов, а также технологией ее получения. Технический результат разработки заключается в снижении шероховатости на 1 класс

showed that the average particle size is 0.15 μm . Due to the high fragility of recycled leucoxene grinding in a ball mill allows to obtain powders of different particle size. In our case, the average particle size was 3–5 μm .

Correctly matched binder improves adhesion of the workpiece to the material, promotes the formation of a uniform lubricant layer on the surfaces of friction, improves durability of the SLP. A binder having a sufficiently good strength of adhesion to the surfaces of friction, greatly enhance the wear resistance of the SLP. It is established that anti-friction and adhesion

properties of the SLP essentially depend on the content ratio of the filler and binder: the more binder, the stronger is the link of the films generated in the grinding process with the surface; the less binder, the higher are the frictional properties of the SLP. The boundary values of the component content in the lubricant are selected in accordance with the experimental data.

Conducted by the authors experimental studies revealed that the additional introduction in the lubricant of linoleic acid can improve the lubricating properties. Thus, when the content of linoleic acid is less than 16.5 wt.% there is

an increase of friction, and when the content of linoleic acid is more than 31 wt.% there is slippage of the tool on the material and, consequently, increasing of the processing time. It was also experimentally determined the optimum composition of the filler (finely dispersed powder). The best properties were obtained with the introduction of the product of thermal reduction of leucoxene and of aluminum nitride in the ratio 1:2.

A series of experiments was performed to determine the optimum ratio in the composition of the filler of "hard" and "soft" components: aluminum nitride, which has high



Таблица 2. Уменьшение шероховатости R_a при шлифовании с применением КТС с наполнителем
Table 2. Reducing the surface roughness R_a when grinding with the SLP with filler

Обрабатываемый материал Processed material	Исходная шероховатость R_a , мкм Original roughness R_a , μm	Максимально эффективный материал и достигаемая шероховатость R_a , мкм Most effective material and the resulting roughness R_a , μm	Эффективный материал и достигаемая шероховатость R_a , мкм Effective material and the resulting roughness R_a , μm	R_a при применении КТС, мкм R_a when using SLP, μm
Конструкционные стали Ст-3, Ст-10, Ст-45 Structural steels	3,5–4,5	AlN; 0,25–0,34	TiC, TiN, TiCN; 0,45–0,65	1,2–1,5
Инструментальные стали У-10, ХВГ, Х12М Tool steels	2,8–3,6	AlN; 0,17–0,22	TiC, TiN, TiCN; 0,45–0,61	1,18–1,25
Нержавеющая сталь 14Х17Н2 Stainless steel	4,72	AlN; 1,04	TiC, TiCN; 1,27	1,8
Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т Stainless steel	5,06	TiC, TiCN; 0,98	AlN; 1,25	2,1
Медь Copper	4,95	TiN, TiN + TiC; 1,05	AlN; 1,2	2,5
Медный сплав Л-63 Copper alloy	2,5	TiN, TiN + TiC; 0,54	AlN; 0,65	1,55
Медный сплав ЛС-54 Copper alloy	2,95	TiN, TiN + TiC; 0,52	AlN; 0,88	1,35
Титановый сплав ВТ-1-0 Titanium alloy	5,6	TiC, TiC + TiN; 1,15	TiCN; 1,2	2,61
Титановый сплав ВТ-14 Titanium alloy	5,0	SiC, AlN, TiCN; 0,87	TiC, TiN; 1,1	2,03

hardness, ensuring the removal of roughness from the surface, and the product of thermal reduction of leucoxene, which provides smoothing of the irregularities resulting from the actions of the "hard" component, and the polishing of surface. Only a certain proportion ensures the achievement of the technical result – the reduction of roughness of the processed surface. Thus, when the ratio of the product of thermal reduction of leucoxene and aluminum nitride is less than 1:2, cleanliness of the machined surface deteriorates, and the ratio more than 1:1 leads to clogging of the working surface of the abrasive tool.

The use of ultrafine AlN powder leads to the rapid formation of the cladding. The combination of leucoxene and aluminum nitride provides excellent synergistic effect and the cladding film will be very hard (resistant to wear) composite with thickness of 4 μm . Thus, the contact temperature in the contact zone reduces to 30%, which leads to reduce of the probability of burn marks and cracks in the surface of sanding details.

MAKING AND TEST OF THE SLP

As initial components were used stearic acid (GOST 6484-64), linoleic acid (GOST 30623-98), low

molecular weight polyethylene (NMPA-1, TU-6-05-18-37-82), spindle mineral oil (GOST 1642-75), chlorofluorocarbon oil (OST 6-02-6-81) and a mixture of ultrafine powders of product of thermal reduction of leucoxene and aluminum nitride, taken in the ratio 1:2. In a melt of a mixture of stearic and linoleic acids at 70-75°C adds a melt of low molecular weight polyethylene and emulsion of chloro-fluorocarbon oil in mineral oil. Then adds a mixture of ultrafine or micron powder of product of thermal reduction of leucoxene and aluminum nitride. The resulting mass is stirred for 10-15 minutes at 70-75°C. The device



Рис.3. Карандаши твердой смазки

Fig.3. Solid lubricant pencil

при шлифовании и на 3-4 класса при полировании, устранении прижогов, уменьшении температуры в зоне контакта, сокращении времени обработки поверхности. Твердая смазка не содержит вредных веществ и является экологически чистой. Срок службы абразивного инструмента (за счет сохранения стойкости профиля и значительного уменьшения "засаливания")

увеличивается в 10 и более раз в сравнении с ранее применяемыми смазками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терган В.С., Доктор Л.Ш. Шлифование на круглошлифовальных станках // Учебник для проф.-техн. училищ / Изд.2-е перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1977.
2. Гаркунов Д.Н., Поляков А.А. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов. - М.: Машиностроение, 1974, 200 с.
3. Вульф А.М. Резание металлов. - М.-Л.: Машгиз, 1963. 428 с.
4. Ильин А.П. Влияние суспензии "моторное масло + смесь нанопорошков меди и никеля" на трибологические свойства пары трения "углеродистая сталь - низколегируемая сталь" / А.П.Ильин, О.Б.Назаренко, С.В.Рихерт // Известия Томского политехнического университета, 2004. Т. 307, № 3. С. 77-79.
5. Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин: уч. пособ. для студ. высш. учебн. завед. по агроинженерным специальностям / Под ред. акад. РАСХН В.И.Черноиванова. - Челябинск-Москва, 2010.
6. Швейкин Г.П., Николаенко И.В. Переработка лейкоксенового концентрата и получение на его основе продуктов и материалов // Химическая технология, 2008. Т. 9, № 8. С. 394-401.

for the synthesis of the SLP is presented in fig.1.

The resulting lubricant was tested when grinding the samples of stainless steel, copper and titanium alloy. Samples with a size of 18×30×40 mm was polished by 14A25H belt (TU 2-036-766-78) with the pressure of 29.4 N and a speed of 25 m/s. Burn marks was controlled visually with a microscope by the appearance of colours. The surface roughness Ra was measured on the profilograph-profilometer mod.201. The lubricant was applied every 10 cycles. The roughness Ra data of the treated

surface when using the SLP is shown in table.2.

The SLPs (fig.2 and 3) were tested and applied in the following companies: "Ural Works of Civil Aviation", "Ural Turbine Works", "Sverdlovsk tool plant", etc. The results of tests are confirmed by relevant documents. The compositions of the solid lubricating are protected by laws of Russian Federation.

ADVANTAGES

The effects of the application of the SLP are achieved thanks to the unique properties of the surfactants contained in the lubricant

composition, properties of finely abrasive materials and technology of its production. The technical results of the development are the reduction of roughness in grinding and in polishing, elimination of burn marks, the reduction of temperature in the contact zone and the shortening of the time of surface treatment. Solid lubricant contains no harmful ingredients and is environmentally friendly. The service life of the abrasive tool (due to keeping the resistance of profile and a significant reduction in "clogging") increases by 10 times and more in comparison with previously used lubricants. ■

