

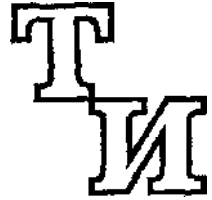
ISSN 0202-4977

Т РЕНИЕ И ИЗНОС

ТОМ V

1

1984



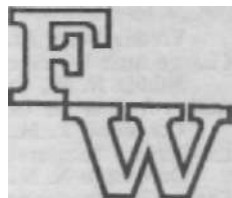
ТРЕНИЕ И ИЗНОС

Издается с января 1980 г.

МИНСК, «НАУКА И ТЕХНИКА», 1984, ТОМ V, № 1

СОДЕРЖАНИЕ

Савкин В. Г. Об учете молекулярного взаимодействия при создании самосмазывающихся композитов на основе полимеров	5
Аксенов А. Ф., Шепель А. Я., Кадомский С. В. Влияние внешних факторов на закономерности износа материалов на основе меди, работающих в углеводородных средах	10
Александров В. М., Кадомцев И. Г., Царкж Л. Б. Осесимметричные контактные задачи для упругопластических тел	16
Рыжов Э. В., Запорожец В. В., Варюхно В. В., Гончаренко Ю. Н. Влияние электромеханической обработки на <i>однородность состояния</i> поверхностного слоя и износостойкость образцов	27
Мышкин Н. К. Трибологические аспекты использования электрических контактов	34
Савенко В. И., Кочанова Л. А., Шукин Е. Д. Исследование влияния смазочной среды на микропластичность ионных кристаллов методом ультрамикросклерометрии	43
Феклисова Т. Г., Христюк А. Л., Пирогов О. Н., Олейник Э. Ф. Влияние высокого давления на термодинамику окислительно-восстановительных реакций с участием металлоплакирующих присадок на основе оксидов меди	48
Евдокимов Ю. А. Метод ускоренных испытаний материалов, деталей и узлов машин на <i>износостойкость</i>	54
Кончиц В. В. Фрикционное взаимодействие и токопрохождение в скользящем электрическом контакте композита с металлом. II	59
Кревсун Э. П. К вопросу об оптимизации шероховатости поверхностей при гидродинамическом режиме смазки	68
Пилинский В. И. Силы и коэффициент трения при шлифовании	73
Акопян Л. А., Зобина М. В., Аврущенко Б. Х., Бердеников А. И., Хачатрян Г. Р. Релаксационные и фрикционные свойства высокоэластических уплотнителей	81
Балакин В. А., Геврасев Н. Ф., Синюк Н. И. Исследование нестационарных температурных полей в процессе трения	87
Браун Э. Д., Смушкович Б. Л. Современные серийные машины трения	94
Геккер Ф. Р., Рыбалкин А. Г. Метод планирования эксперимента при поиске математической модели процесса трения	100
Коршунов Л. Г., Черненко Н. Л. Влияние марганца на износостойкость марганцовистых метастабильных аустенитных сталей	106
Нажесткин Б. П., Ковалев Е. П. О механизме изнашивания твердосмазочных покрытий в зубчатых передачах	113



FRICITION AND WEAR

Has been published since January 1980

MINSK, «NAUKA I TEKHNIKA», 1984, Vol. V, N 1

CONTENTS

Savkin V. G. On the Taking Account of Molecular Interactions when Developing the Polymer-Based Selflubricated Composites.	5
Axenov A. F., Shepei A. Ya., Kadomskii S. V. Effect of Friction Parameters on Wear of Copper-Based Materials in Hydrocarbons.	10
Alexandrov V. M., Kadomtsev I. G., Tsaryuk L. B. Axially Symmetrical Contact Problems for Elasto-Plastic Bodies.	16
Ryzhov E. V., Zaporozhets V. V., Varyukhno V. V., Goncharenko Yu. N. Effect of Electromechanical Treatment on Homogeneity of the Surface Layer and Wear Strength.	27
Myshkin N. K. Tribological Aspects of Using the Electrical Contacts	34
Savenko V. I., Kochanova L. A., Schukin E. D. Investigation of the Effect of Lubricating Medium on Microplasticity of Ionic Crystals by Ultramicroscierometry	43
Feklisova T. G., Khristyuk A. L., Pirogov O. N., Oleinik E. F. Effect of High Pressure on Thermodynamics of Oxidative-Reduction Reactions when Using Metal-Cladding Additives Based on Copper Oxides.	48
Evdokimov Ju. A. Method of Accelerated Wear Testing the Materials, Parts, and Machine Assemblies.	54
Konchits V. V. Friction and Current Passage in Composite-Metal Sliding Electric Contact. II	59
Krevsun E. P. On the Optimization of Surface Roughness under Conditions of Hydrodynamic Lubrication.	68
PHinskii V. I. Forces and Friction Coefficient in Grinding.	73
Akopyan L. A., Zobina M. V., Avruschenko B. H., Berdenikov A. I., Khachatryan G. R. Relaxation and Friction Performances of Highly Elastic Sealers	81
Balakin V. A., Gevrasev N. F., Sinyuk N. I. Studies in Nonstationary Temperature Fields Occured in Friction.	87
Braun E. D., Smushkovich B. L. Modern Batch Producted Friction Test Rigs	94
Gekker F. R., Rybalkin A. G. Method of Experimental Design when Searching the Mathematical Model of Friction.	100
Korshunov L. G., Chernenko N. L. Effect of Manganese on Wear Resistance of Metastable Austenitic Steels.	106
Nazhcstkin B. P., Kovalev E. P. On the Wear Mechanism in Solid Lubricating Coatings of Gears.	113
Polyakov N. V. Complex Studies of Temperature Distribution in Band-Shoe Brake of Industrial Tracttors.	119
Derazhme A. M. Study in Wear of Load-Carrying Cables.	126
Tikhomirov V. P., Kharitonov A. N., Kireev S. A. An Estimation of the Contact Rigidity of the Machine Parts under Repeated Loadings.	132

УДК 629.7.036.3: 620.178 : 662.75

А. Ф. АКСЕНОВ, А. Я. ШЕПЕЛЬ, С. В. КАДОМСКИЙ

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНОСА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ, РАБОТАЮЩИХ В УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕДАХ

Надежность изделий во многом зависит от самой конструкции и ее узлов, применяемых материалов, методов защиты от различных вредных воздействий, системы смазки, приспособленности к ремонту и обслуживанию и других конструктивных особенностей. Для расчета и прогнозирования надежности изделий при их износе, для выбора материалов, размеров и конструкции сопряжений при заданных условиях их работы необходимо знать основные закономерности процесса изнашивания материалов и физико-химические процессы, протекающие при этом [1]. Поскольку катастрофические виды изнашивания в изделиях не допускаются, то и закономерности следует определять для нормального (окислительного) изнашивания.

Наряду со стальными сплавами в узлах трения скольжения широкое распространение получили сплавы на основе меди. Как показано в работе [2], износостойкость конструкционных сталей, работающих в низкомолекулярных углеводородных средах, зависит от вида трения, геометрических параметров и кинематики движения. Следовательно, закономерности износа и для цветных металлов и их сплавов необходимо определять с учетом этих параметров.

Одним из важных этапов при исследовании износостойкости материалов является выбор метода измерения износа. Простейшими методами являются измерение линейных размеров микрометрированием, оценка суммарного износа по изменению массы образца и метод искусственных баз. Наиболее достоверным для медных сплавов, трущихся в углеводородных средах, является измерение линейных размеров. Применение метода оценки суммарного износа по изменению массы образца не представляется возможным вследствие насыщения пор материалов компонентами среды, с одной стороны, и проявления избирательного переноса — с другой. Метод искусственных баз неприемлем из-за высокой пластичности медных сплавов в зоне контакта. Эти явления приводят к получению погрешностей, сравнимых с величинами износа, а в некоторых случаях даже превышающих их. Поэтому в наших исследованиях применялся метод измерения линейных размеров профилограф-профилометром М-201.

Следующим важным этапом в изучении закономерностей износа сплавов меди является определение времени приработки, поскольку процессы, протекающие при этом, и структурные изменения существенно отличаются от структур, существующих при стационарном режиме трения. Из работы [3] можно сделать вывод о том, что для медных сплавов в зависимости от внешних условий путь трения, когда насту-

пает стационарный режим, находится в пределах 500—1000 м. Наши исследования показали, что для медных сплавов, работающих в углеводородных средах, в условиях граничной смазки он находится в пределах 800—1400 м. Исходя из этого, образцы перед испытаниями прирабатывались с контро образцом на той же установке до достижения пути трения 2000 м.

Испытания проводились на установках с парой трения торцевого типа и линейным контактом как при однонаправленном, так и возвратно-поступательном движении. Материалом контро образца во всех испы-

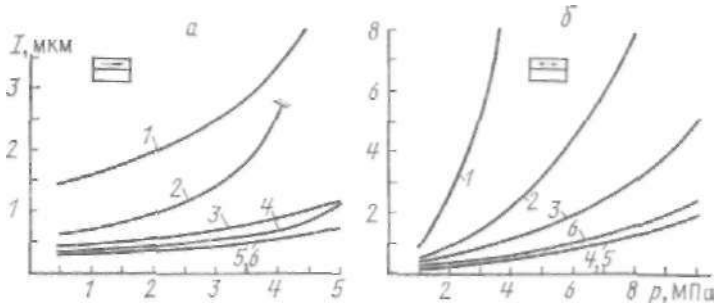


Рис. 1. Зависимость величины износа от контактных напряжений при геометрии контакта плоскость по плоскости: *a* — одностороннее движение; *б* — возвратно-поступательное движение; / — БрХ0,8; 2—Бр05Ц5С5; 3—БрОЮСЮ; 4—БрО10Ф1; 5—БрБ2; 6—БрА10Ж4Н4

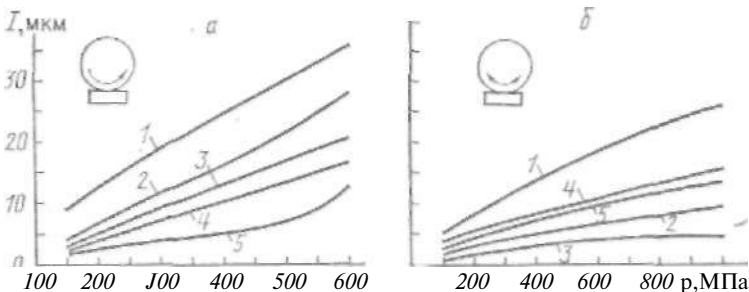


Рис. 2. Зависимость величины износа от контактных напряжений при геометрии контакта линия—плоскость: *a* — одностороннее движение; *б* — возвратно-поступательное движение; / — БрА9Ж4; 2 — Бр05Ц5С5; 3 — БрБ2; 4 — БрОЮСЮ; 5 — М1

таниях служила сталь ШХ15 (HRC 60—62), рабочей средой — топливо РТ. В качестве объектов исследований использовались сплавы М1, БрО10Ф1, БрОЮСЮ, БрХ08, БрБ2, Бр05Ц5С5, БрА10Ж4Н4, БрА9Ж4, БрАЮЖ4Мц1,5.

Как показали исследования (рис. 1, 2), увеличение *контактных напряжений* приводит к росту величины износа. Это объясняется различными авторами по-разному. Так, Д. Мур [4] показывает, что с повышением удельных нагрузок происходит увеличение размеров отделившихся частиц (а не их количества) за единицу времени. И. В. Крагслский объясняет этот процесс большей глубиной диспергирования и участием больших объемов металла в процессе трения [5]. В работах Б. И. Костецкого [6], Квина и Були [7] показано, что увеличение нагрузок приводит к более глубокому окислению активированных поверхностей металлов. Поскольку эти исследования проводились в основном на сталях при трении без смазок и при несовершенной смазке, представляет интерес проведение подобных исследований на сплавах меди, работающих в среде топлив.

Исследования продуктов износа проводились для контактных напряжений от 0,5 до 6 МПа на паре трения торцевого типа сталь ШХ15 по бронзе БрА10Ж4Н4 в топливе РТ. Количественный и гранулометрический состав продуктов износа определялся с помощью прибора контроля чистоты жидкости (ПКЖ), качественный—по электронограммам, полученным на электронном микроскопе УЭМВ-ЮОК.

Как показали исследования, независимо от контактных напряжений на единицу изношенного объема бронзы размеры частиц и их количество остаются постоянными. Так, па 0,1 мм³ изношенного материала частиц размером 5—10 мкм приходится 150—160 тыс., размером 10—25 мкм — 14—15 тыс., размером 25—50 мкм — 1,3—1,5 тыс. и размером 100 мкм — 100—200 шт. Количество продуктов износа за одно и то же время увеличивается прямо пропорционально росту износа. Электронографические исследования продуктов износа показали, что с увеличением контактных напряжений происходит образование соединений повышенной энергоемкости, требующих более высоких затрат энергии на их образование. Так, при контактных напряжениях 0,5 МПа в продуктах износа преобладают соединения CuO, CuFe₂O₄. При увеличении контактных напряжений до 3 МПа преобладают соединения типа 6 SiO-СигО, Fe₂CuO₄, а с повышением до 6 МПа — Si₂O, Fe₂CuO₄, CuFe₃O₅. Причем необходимо отметить, что при всей серии экспериментов в продуктах износа присутствует чистая медь.

При трении металлических сплавов существует много факторов, оказывающих большое влияние и способных видоизменять процессы трибокаталитических реакций в зоне контакта. Однако для сочетания материалов сталь—бронза в диапазоне окислительного износа качественный состав продуктов износа будет определяться процессами окисления Си и Fe. В связи с тем что эти металлы обладают переменной валентностью, возможно получение различных их окислов в продуктах износа, преимущественное содержание которых определяется процессами в зоне контакта.

Как известно, в соответствии с правилом ступеней реакции Оствальда и кинетическими условиями на поверхности должна образовываться последовательность слоев окислов от менее энергоемких к соединениям повышенной энергоемкости. Кроме того, в результате высокой теплонапряженности в зоне контакта ускоряются процессы диффузии, что приводит к образованию соединений (шпинелей), обладающих упрочненной кубической гранецентрированной подрешеткой ионов кислорода, и беспорядочности расположения катионов. Наряду с этим может происходить как дополнительное окисление продуктов износа, так и восстановление более благородного металла.

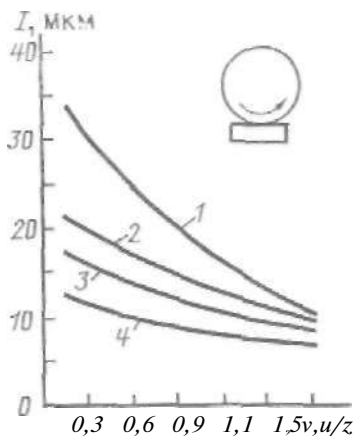
На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что интенсивность изнашивания с увеличением контактных напряжений определяется как повышением глубины распространения деформаций, так и образованием более энергоемких окислов в поверхностном слое сплавов. Количество и размер частиц на единицу объема изношенного материала остаются постоянными. Закономерности износа сплавов на основе меди с увеличением контактных напряжений носят качественно одинаковый характер независимо от геометрии контактирующих поверхностей и кинематики движения. Бронзы отличаются по абсолютной величине износа и располагаются в ряд по износостойкости от худших к лучшим в зависимости от геометрии контакта и кинематики движения.

Увеличение скорости относительного перемещения при однонаправленном движении (рис. 3) так же, как и увеличение частоты реверси-

рования или амплитуды при фиксированной частоте (рис. 4), приводит к уменьшению величины износа для всех испытуемых сплавов на основе меди. Такие закономерности объясняются следующим. С увеличением скорости скольжения уменьшается время контактирования активированных поверхностей трения со средой и сопряженных поверхностей. Как показывают расчеты, время контактирования и скорость относительного перемещения выражаются зависимостью $T_{конт} = \xi v^{-n}$, где $n > 1$. С уменьшением времени контактирования активированных поверхностей трения с активными компонентами среды и в основном с растворенным кислородом образуются менее энергоемкие окислы. При увеличении скорости скольжения продолжительность единичного контактирования уменьшается, что ввиду снижения возможности развития диффузионных процессов способствует снижению вероятности когезионного взаимодействия [8].

Величина износа зависит от объемов металла, принимающих нспо-

Рис. 3. Зависимость величины износа от скорости взаимного перемещения при геометрии контакта линия—плоскость: 1—БрАЮЖЗА1Ц!; 5; 2—Бр05Ц5С5; 3—БрОЮСЮ; 4—БрБ2



средственное участие в процессе трения. Увеличение скорости скольжения приводит к уменьшению скорости и глубины распространения пластических деформаций, а следовательно, уменьшению объемов металлов, участвующих в процессе трения [9].

Поскольку при трении возникают упругопластические деформации и износ может приобретать усталостный характер, то на его величину будет оказывать влияние возврат металла после упругого деформирования к исходному состоянию. Как известно, при уменьшении времени до повторного деформирования величина износа снижается, что объясняется эффектом «отдыха» металла.

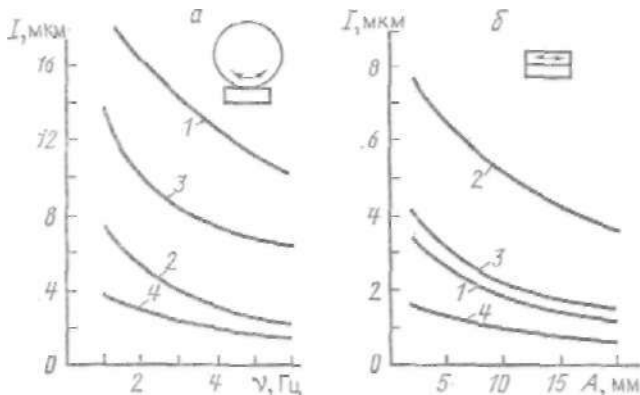


Рис. 4. Зависимость величины износа от скорости взаимного перемещения при возвратно-поступательном движении: а — геометрия контакта линия—плоскость; б — геометрия контакта плоскость по плоскости. Значения кривых те же, что на рис. 3

Как показано в работе [6], в области «нормального» трения (трения без задиrow, заедания и прочих патологических явлений) практически вся энергия, затраченная на трение, трансформируется в тепло. Источником или генератором тепла, передаваемого среде, является поверхность трения. В свою очередь на поверхности трения возникают температурные вспышки, приводящие к изменению механических свойств материала. Рост скорости скольжения в диапазоне нормального трения, как правило, приводит к повышению температуры трущихся поверхностей, увеличению положительного градиента механических свойств по глубине и снижению величины износа.

Несмотря на ряд, может быть, дискуссионных объяснений причин увеличения или уменьшения величины износа, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Закономерности износа с учетом внешних условий (p , v) цветных сплавов на основе меди, работающих в среде низкомолекулярных углеводородов в условиях граничной смазки в диапазоне окислительного износа, носят качественно одинаковый характер независимо от геометрии контактирующих поверхностей и кинематики движения и отличаются по абсолютным величинам износа. По износостойкости сплавы располагаются в ряд с учетом геометрии контакта и кинематики движения. Сравнительную износостойкость сплавов на основе меди, работающих в низкомолекулярных углеводородных средах, можно проводить при фиксированных p , v , и следует распространять эти данные на весь диапазон окислительного износа.

Обозначения

v — скорость скольжения; p — контактные нагрузки; $t_{\text{конт}}$ — время контактирования активированных поверхностей трения со средой; A — амплитуда перемещения; n — показатель степени.

Nomenclature

v — sliding velocity; p — contact pressure; $t_{\text{конт}}$ — time of surface contact with ambient medium; A — amplitude of displacement; n — power factor.

Figure Captions

Fig. 1. Variation of wear with contact stresses in flat contact: a — onward motion; b — reciprocating motion; 1 — chromium bronze БрХ0,8; 2 — tin bronze Бр05Ц5С5; 3 — tin bronze БрОЮСЮ; 4 — tin bronze БрО10Ф1; 5 — berillium bronze БрБ2; 6 — aluminum bronze БрАЮЖ4Н4.

Fig. 2. Variation of wear with contact stresses in linear contact: a — onward motion; b — reciprocating motion; 1 — aluminum bronze БрА9Ж4; 2 — tin bronze Бр05Ц5С5; 3 — berillium bronze БрБ2; 4 — tin bronze БрОЮСЮ; 5 — copper М1.

Fig. 3. Variation of wear with sliding velocity in linear contact: 1 — aluminum bronze БрА10ЖЗМЦ1,5; 2 — tin bronze Бр05Ц5С5; 3 — tin bronze БрОЮСЮ; 4 — berillium bronze БрБ2.

Fig. 4. Variation of wear with sliding velocity in reciprocating motion: a — linear contact; b — flat contact. Definitions of curves are the same as in Fig. 3.

Summary

Wear behavior of the copper alloys was studied when testing them in fuels. Effects of contact geometry, motion kinematics, and external conditions on friction performances were evaluated.

Литература

1. **Проников А. С.** Надежность машин.— М.: Машиностроение, 1978.—592 с.
2. **Аксенов А. Ф., Шепель А. Я.** Особенности выбора материалов узлов трения, работающих в низкомолекулярных углеводородных средах.— Вестн. машиностроения, 1982, № 4, с. 34—37.
3. **Гарбар И. И.** Кинетика развития дислокационной структуры меди в процессе трения.—Трение и износ, 1982, т. 3, № 5, с. 880—888.
4. **Мур Д.** Основы и применения трибоники.— М.: Мир, 1978.—488 с.
5. **Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С.** Основы расчетов на трение и износ.— М.: Машиностроение, 1977.— 526 с.
6. **Костецкий Б. И., Натансон Л. И., Бершадский Л. И.** Механохимические процессы при граничном трении.— М.: Наука, 1972.—170 с.
7. **Quin T. F. J., Wooley J. L.** The unlubricated wear of 3% Cr, 1/2% Mo steel.— *Liibr. Engng.*, 1970, vol. 26, p. 226.
8. **Карасик И. И.** Прирабатываемость материалов для подшипников скольжения.— М.: Наука, 1978.— 136 с.
9. **Крагельский И. В.** Трение и износ.— М.: Машиностроение, 1968.—450 с.

Киевский институт инженеров гражданской авиации

28.02.83.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.7.036.3 : 620.178 : 662.75

Аксенов А. Ф., Шепель А. Я., Кадомский С. В. Влияние внешних факторов на закономерности износа материалов на основе меди, работающих в углеводородных средах.— Трение и износ, 1984, т. 5, № 1, с. 10—15.

Исследованы основные закономерности износа бронз, работающих в среде топлива РТ. Показано, что интенсивность изнашивания с увеличением нагрузок определяется образованием более энергоемких окислов, а не увеличением количества и размеров частиц на единицу объема изношенного материала. Закономерности износа сплавов на основе меди, работающих в среде топлива РТ в условиях граничной смазки в диапазоне окислительного износа, носят качественно одинаковый характер независимо от геометрии контактирующих поверхностей и кинематики движения и отличаются только по абсолютным величинам. По износостойкости сплавы меди располагаются в ряд с учетом геометрии контакта и кинематики движения. Сравнительную износостойкость сплавов на основе меди, работающих в среде топлив, можно проводить при фиксированных внешних условиях, и следует распространять эти данные на весь диапазон окислительного износа.

Ил. 4. Библиогр. 9 назв.