

любое испытательное оборудование из предлагаемых на рынке модулей.

Как видно из вышеописанного – переставший развиваться стандарт становится неконкурентоспособным. Это влечет за собой отказ многих фирм производить модули для него. Производители измерительной техники предпочитают ориентировать вновь разрабатываемые модули на более популярно развивающиеся стандарты. Уже выпущенные модули быстро устаревают при текущих темпах развития приборостроения. Таким образом, предприятия-пользователи встают перед необходимостью собственных разработок модулей применяемого стандарта или заказов таких разработок у сторонних предприятий, что стоит весьма дорого и требует много времени. Очевидна необходимость постоянного отслеживания состояния современных магистрально-модульных стандартов

и своевременный переход на более перспективные. Обучение специалистов при переходе на новый стандарт потребует затрат, но по сравнению с затратами, которые тратятся на разработку отсутствующих модулей, они невелики.

#### Библиографические ссылки

1. Симонов Е. А., Цыганов С. В., Герасимов Д. М. Модульные технологии в обучении, разработке, на производстве // Компоненты и технологии. 2005. № 4. С. 184–186.
2. Жариков В. Н., Пичкалёв А. В. Новые технологии для испытательного оборудования // Решетневские чтения : материалы XIII Междунар. науч. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. С. 500–502.

V. N. Jarikov, A. V. Pichkalev

### NEW TECHNOLOGIES FOR THE TEST EQUIPMENT

*Prospects of application of some standards of dataway-modular systems for realisation of hardware-software gauges are considered. Necessity of development of new dataway-modular standards is shown.*

*Keywords: magistral-modular systems, PXI, VXI, cost and development time.*

© Жариков В. Н., Пичкалев А. В., 2011

УДК 621.892

Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, С. Б. Ковальский, Е. Г. Мальцева, Н. Н. Малышева

### ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ГРАНИЧНОМ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ

*Приведены результаты испытания моторных масел на трехшариковой машине трения при изменении полярности постоянного напряжения на образцах.*

*Ключевые слова: ток, протекающий через фрикционный контакт, механохимические процессы, диаметр пятна износа.*

Атомные и молекулярные взаимодействия в трибо-системах с граничным трением скольжения обычно выражаются механическими, физическими и химическими процессами [1]. Течение их чрезвычайно чувствительно к изменению давления, скорости, температуры и других факторов. Молекулярный механизм граничного трения изложен в работах В. Гарди [2], а химический – Боуденом [3; 4]. Помимо перечисленных процессов, малоизученными остаются химические, механохимические, электрические и электромагнитные явления, возникающие и протекающие на поверхностях при граничном трении скольжения.

Целью настоящей работы является определение влияния электрического потенциала на механохимические процессы и параметры износа при испытании смазочных материалов.

*Методика исследования.* Испытания проводились на трехшариковой машине трения [5] со схемой трения «шар–цилиндр». Отличительной особенностью конструкции машины является то, что каждый из трех шаров контактировал с поверхностью цилиндра по индивидуальной дорожке трения, причем они электроизолированы друг относительно друга. Через один из шаров пропускался постоянный ток (100 мкА) от стабилизированного источника постоянного напряжения (3 В).

В качестве образцов выбраны шар (подшипник № 1210) диаметром 9,5 мм и верхняя обойма концевой роликового подшипника № 30208 диаметром 80 мм. Образцы использовались многократно путем переточки обоймы абразивными лентами разной зернистости, а шар проворачивается в держателе. Оба образца изготовлены из стали ШХ15.

Режимы трения: нагрузка – 13 Н, скорость скольжения – 0,68 м/с, температура масла – 80 °С, время испытания – 2 часа.

*Результаты исследований и их обсуждение.* Величина тока, протекающего через фрикционный контакт после преобразования, регистрировалась на компьютере в виде диаграммы. Противозносные свойства моторных масел оценивались по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа на трех шарах и коэффициенту электропроводности фрикционного контакта [6], определяемому отношением тока, протекающего через фрикционный контакт к заданному току (100 мкА) при статическом положении образцов.

Влияние полярности тока и его величины на износ материалов пар трения и коэффициент электропроводности (рис. 1) исследовался на минеральном моторном масле ЛУКОЙЛ стандарт 10W-40 SF/CC. Полярность тока изменялась после 5 минут испытания. Согласно представленным данным (рис. 1, а), диаграмма характеризует изменение тока, протекающего через фрикционный контакт при положительном потенциале на шаре и заданной величине тока 100 мкА. На данной зависимости наблюдаются три характерных участка. На первом, на котором ток максимален и равен заданному, происходит металлический контакт поверхностей трения образцов в результате пластической деформации.

Второй участок диаграммы характеризуется уменьшением тока до определенной величины. В этот период

пластическая деформация переходит в упругую и на поверхности шара образуются защитные пленки, уменьшающие величину тока. Данные пленки обладают высоким оптическим сопротивлением, так как ток уменьшается до значений равных  $\approx 10$  мкА.

Третий участок диаграммы характеризуется стабилизацией тока на определенном значении. В этот период реализуются, в основном, упругие деформации на фрикционном контакте и происходят процессы формирования и разрушения защитных граничных слоев, площадь которых на поверхности трения изменяется, вызывая колебания тока.

Диаграмма записи тока, протекающего через фрикционный контакт при периодическом изменении полярности тока, представлена на рис. 1, б. Изменение полярности тока проводилось через 5 минут. Согласно представленным данным, при изменении полярности тока происходит его изменение. Так, при положительном потенциале на шаре ток уменьшается до значений равных 10 мкА, а при отрицательном потенциале он равен приблизительно 50 мкА. В этой связи можно утверждать, что при положительном потенциале на шаре защитные пленки образуются, а так как площадь пятна износа на шаре значительно меньше площади контакта на обойме, то защитные пленки образуются быстрее и практически полностью покрывают поверхность трения, увеличивая оптическое сопротивление контакта и уменьшая ток.

При отрицательном потенциале на шаре защитные пленки образуются на обойме за счет положительного

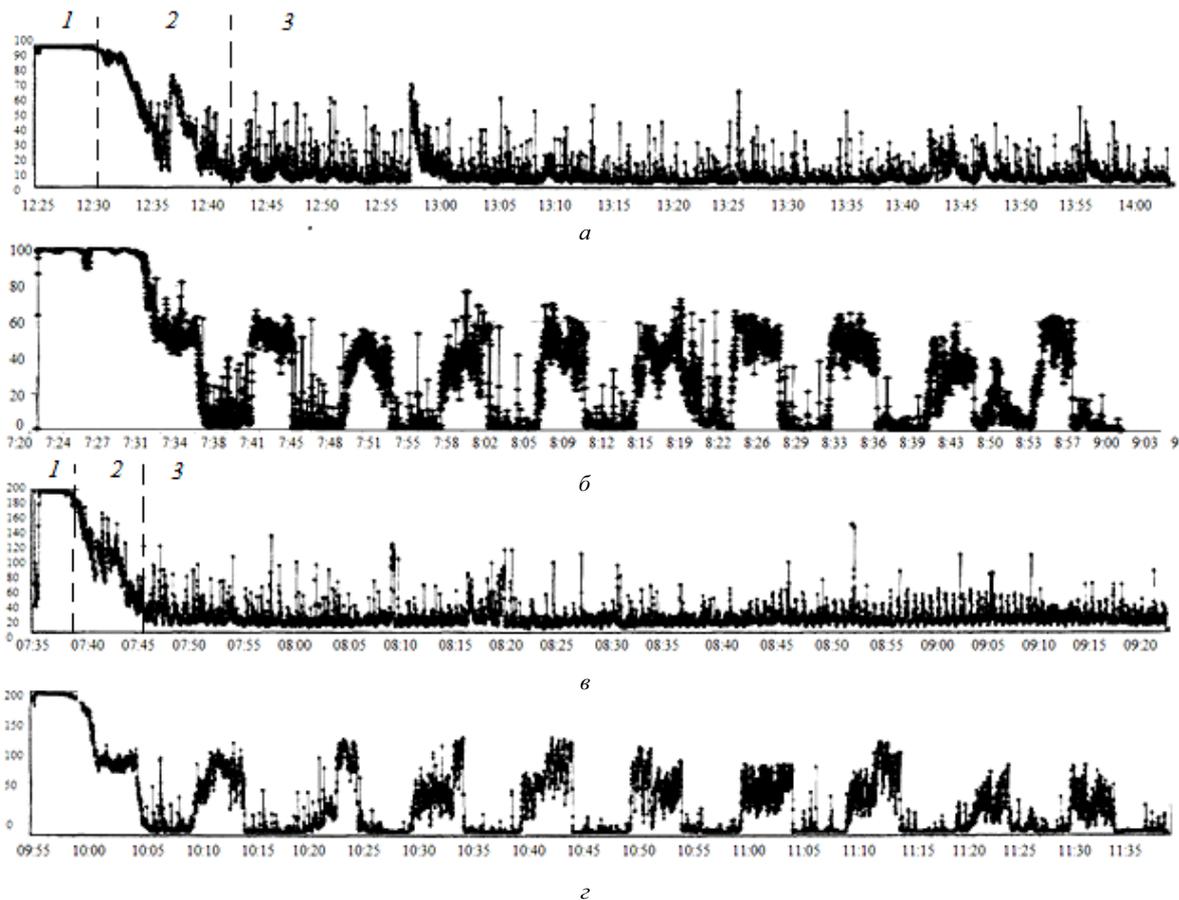


Рис. 1. Диаграммы тока, протекающего через фрикционный контакт при испытании минерального моторного масла ЛУКОЙЛ стандарт 10w-40 SF/CC: а – заданный ток равен 100 мкА; б и в – циклическое изменение полярности тока на шаре; г – заданный ток равен 200 мкА

потенциала, а так как площадь контактируемой поверхности значительно больше, то на контакте происходят упругопластические деформации, увеличивающие ток. Это подтверждается показателями износа. Так, при положительном потенциале на шаре износ составил 0,267 мм, а при отрицательном – 0,393 мм. Увеличение износа связано с увеличением продолжительности упругопластических деформаций на контакте в результате циклического изменения полярности тока.

Диаграмма записи тока при увеличении заданного тока от 100 до 200 мкА представлена на рис. 1, в. Из представленной диаграммы видно, что она по аналогии с диаграммой (см. рис. 1, а) имеет три характерных участка с пластической, упругопластической и упругой деформациями. Отличительной особенностью диаграмм, полученной при заданном токе 200 мкА на участке упругой деформации является то, что среднеарифметическое значение тока составляет 20 мкА, а при заданном токе 100 мкА (см. рис. 1, а) – 15 мкА.

При циклическом изменении потенциала на шаре (см. рис. 1, з) наблюдается аналогичная картина, что и при токе 100 мкА (см. рис. 1, б). Различия заключаются в величине тока при отрицательном потенциале на шаре, который составляет для шести циклов 100 мкА, а при дальнейшем испытании он уменьшается до 70 мкА и ниже. Это объясняется тем, что с увеличением заданного тока до 200 мкА на обойме с положительным потенциалом увеличивается скорость образования защитных пленок. Показатель износа при положительном потенциале на шаре составил 0,273 мм, а при циклическом изменении потенциала – 0,287 мм. Поэтому с увеличением заданного тока от внешнего источника различия в износе шаров без циклического изменения потенциала и с его изменением уменьшаются по сравнению с данными, полученными при заданном токе 100 мкА за счет увеличения скорости образования защитных пленок, представляющих собой химическое соединение металла с компонентами присадок.

Проведенными исследованиями показана возможность повышения противоизносных свойств смазочных материалов за счет создания дополнительного электрического потенциала на поверхностях трения.

Влияние электрического потенциала на параметры износа исследовалось на моторных, трансмиссионных и гидравлических маслах различных базовых основ, результаты которых сведены в таблицу. Результаты получены при положительном потенциале на шаре и без пропуска-

ния тока через фрикционный контакт. Заданная величина тока составила 100 мкА.

В таблице параметр износа с током получен при положительном потенциале на шаре.

Из представленных в таблице данных видно, что значения параметра износа при пропускании тока через фрикционный контакт для моторных и гидравлических масел различаются незначительно, однако для трансмиссионных масел ток оказывает существенное влияние на противоизносные свойства, они улучшаются более чем в 2 раза.

Влияние положительного и отрицательного потенциала на шаре от степени окисления смазочного масла исследовалось на авиационном моторном синтетическом масле ВНИИНП – 50–1–4Ф. Степень окисления масла оценивалась путем прямого фотометрирования по коэффициенту поглощения светового потока.

Зависимости диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока при положительном (а) и отрицательном (б) потенциалах на шаре представлены на рис. 2. Причем ток величиной 100 мкА пропускался через одну пару трения, а через две другие – не пропускался.

Согласно представленным данным, при положительном потенциале на шаре (кривая 1) износ меньше, чем при отсутствии тока в парах трения. Причем при положительном потенциале противоизносные свойства масла снижаются с увеличением коэффициента поглощения светового потока до значения  $K_{\Pi} = 0,3$  ед., а в пределах значений  $K_{\Pi}$  от 0,3 до 0,6 ед. противоизносные свойства повышаются. При значениях  $K_{\Pi} > 0,6$  ед. наступает стабилизация износа на уровне значений неокисленного (товарного) масла.

При отсутствии потенциала на шарах (кривая 1') противоизносные свойства также понижаются до значения при значениях  $K_{\Pi}$  от 0,3 до 0,5 ед., а в диапазоне  $K_{\Pi}$  от 0,5 до 0,82 ед. наблюдается медленное повышение противоизносных свойств.

Отличительной особенностью зависимости (кривая 1') является то, что при значениях  $K_{\Pi} > 0,5$  ед. противоизносные свойства масла выше, чем у товарного (неокисленного) масла (точка на ординате). При положительном потенциале на шаре (кривая 1) установлено, что противоизносные свойства масла ниже, чем у товарного при всех значениях коэффициента  $K_{\Pi}$ .

Общей закономерностью изменения противоизносных свойств окисленного масла независимо от потенци-

#### Результаты испытания смазочных масел на противоизносные свойства

Марка масла	Параметр износа, мм	
	с током	без тока
Минеральные моторные масла М10-Г <sub>2к</sub>	0,3	0,28
Utech navigator 15W-40 SG/CD	0,28	0,3
Частично синтетические масла ТНК 10W-40 SL/CF	0,38	0,34
ЛУКОЙЛ-Супер 10W-40 SG/CD	0,26	0,26
Синтетические моторные масла Castrol GTX Magnatec 5W-40 SL/CF	0,32	0,33
ЛУКОЙЛ-Синтетик 5W-40 SL/CF	0,3	0,27
Гидравлическое синтетическое масло HLP-10	0,38	0,37
Трансмиссионные масла ТНК транс 85W-90 GL-5	0,24	0,62
Agip RotvaFe 75W-80 GL-4	0,3	0,61

ала на шарах является снижение противоизносных свойств до значения коэффициента поглощения светового потока равного 0,3 ед. Однако противоизносные свойства масла выше при наличии положительного потенциала на шарах. Это может объясняться влиянием электрического тока на сорбционные процессы, ускоряющие образования на поверхностях трения защитных граничных пленок, прототвращающих металлический контакт.

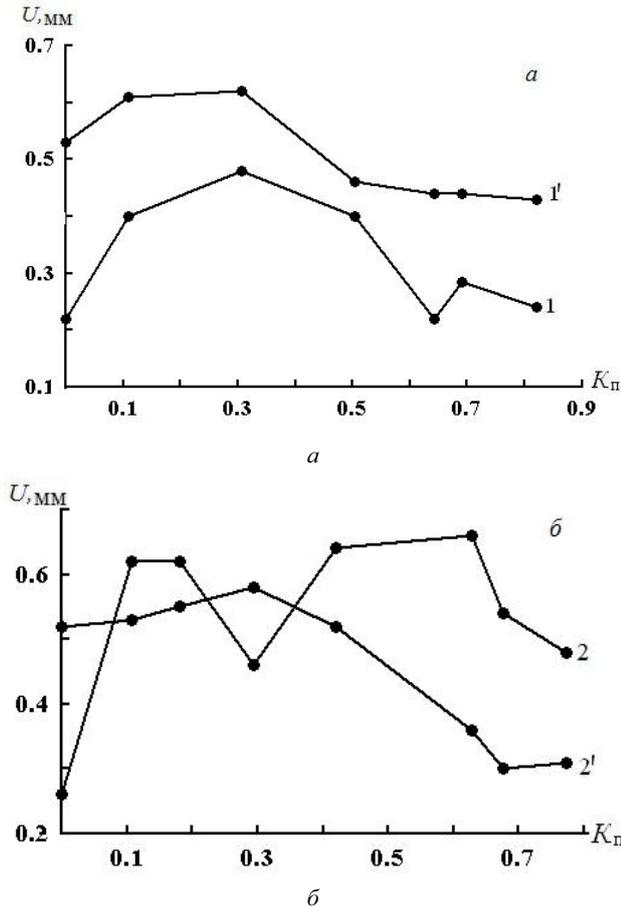


Рис. 2. Зависимость диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического моторного масла ВНИИНП – 50–1–4Ф:

а – при положительном потенциале на шаре;  
б – при отрицательном потенциале на шаре; 1' и 2' – без пропуска тока через фрикционный контакт

При отрицательном потенциале на шарах (рис. 2, б, кривая 2) установлены два характерных участка при значениях коэффициента поглощения светового потока  $K_{\text{П}} = 0,3$  ед. и  $K_{\text{П}} = 0,6$  ед., при которых противоизносные свойства окисленных масел повышаются, однако они хуже, чем у товарного (неокисленного) масла. При отсутствии потенциала на шарах (кривая 2') противоизносные свойства окисленных масел снижаются до значения коэффициента  $K_{\text{П}} = 0,3$  ед., затем с увеличением коэффициента  $K_{\text{П}}$  они улучшаются и при  $K_{\text{П}} = 0,4$  ед. противоизносные свойства превышают значения для товарного масла. В общем случае противоизносные свойства окисленных масел при коэффициенте  $K_{\text{П}} = 0,35$  ед. выше, чем у масел, испытанных при отрицательном потенциале на шарах. Это может объясняться тем, что при отрицатель-

ном потенциале на шарах (кривая 2) граничные защитные пленки образуются на поверхности обоймы, площадь контакта которой значительно больше, поэтому продолжительность пластической и упругопластической деформаций значительно больше, что вызывает увеличение износа.

Анализ зависимостей диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока показывает, что независимо от потенциала на шарах и его отсутствия противоизносные свойства окисленного синтетического масла ВНИИНП – 50–1–4Ф понижаются до значения коэффициента  $K_{\text{П}} = 0,3$  ед., т. е. образующиеся при этом продукты окисления не способны создавать на поверхностях трения прочные граничные пленки. При значениях коэффициента  $K_{\text{П}} = 0,3$  ед. и отсутствии электрического потенциала на шарах противоизносные свойства окисленных масел повышаются. Это, по-видимому, связано с появлением продуктов окисления иного состава.

В результате проведенных исследований показано, что при положительном электрическом потенциале на шарах показатель износа окисленных масел наименьший.

Влияние электрического потенциала на показатель износа предложено оценивать коэффициентом влияния потенциала  $K_{\text{ВП}}$ , определяемого выражением

$$K_{\text{ВП}} = U / U_{\text{Т}}$$

где  $U$  – износ без потенциала на шарах;  $U_{\text{Т}}$  – износ с потенциалом на шарах.

Зависимости коэффициента влияния электрического потенциала на коэффициент влияния электрического потенциала от коэффициента поглощения светового потока представлены на рис. 3. Если потенциал не оказывает влияния на параметр износа, то коэффициент  $K_{\text{ВП}} = 1$ . Если значения коэффициента  $K_{\text{ВП}} > 1$ , то это означает, что потенциал понижает параметр износа, а при  $K_{\text{ВП}} < 1$  он его увеличивает. Согласно представленным на рис. 2 данным, положительный потенциал на шарах (кривая 1) увеличивает коэффициент  $K_{\text{ВП}}$ , причем при окислении синтетического масла ВНИИНП – 50–1–4Ф до коэффициента  $K_{\text{П}} = 0,5$  ед. он снижается практически до единицы, а затем увеличивается. Также изменение коэффициента  $K_{\text{ВП}}$  может объясняться различием в структуре продуктов окисления.

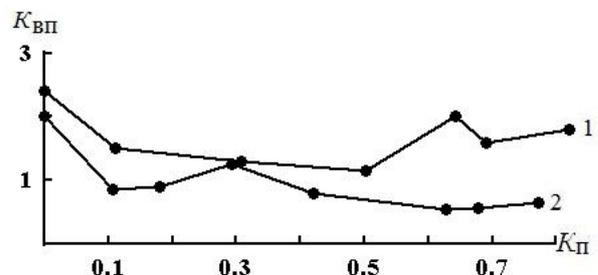


Рис. 3. Зависимость коэффициента влияния электрического потенциала от коэффициента поглощения светового потока: 1 – положительный потенциал на шарах; 2 – отрицательный потенциал на шарах

Наибольшее влияние положительного потенциала наблюдается у товарного (неокисленного) масла, при этом коэффициент  $K_{\text{ВП}} = 2,4$  ед.

При отрицательном потенциале на шарах (кривая 2) коэффициент  $K_{\text{ВП}}$  с увеличением коэффициента поглощения светового потока меньше единицы заключением товарного масла и окисленного до  $K_{\text{П}} = 0,3$  ед., когда  $K_{\text{ВП}} > 1$ .

Таким образом, при отрицательном потенциале на шарах показатель износа больше, чем при его отсутствии.

На основании проведенных исследований установлено, что при создании электрического положительного потенциала на малой площади контакта (шара) на поверхности образуются защитные пленки, способные разделять поверхности трения и уменьшать износ как товарного, так и окисленного моторного синтетического масла ВНИИ НП – 50–1–4Ф. Это явление объясняется адсорбцией кислых продуктов окисления и образованием на поверхности трения органических соединений. Применение этого явления может значительно повысить надежность трибосистем.

#### Библиографические ссылки

1. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения. М. : Физматлит, 1963.
2. Hardy W. B. Collected Scientific Papers. Cambridge, 1936.
3. Bawden F. P. Tabor D Friction and Lubrication of Solids. Oxford, 1954.
4. Боуден Ф. П., Тейбор Д. Трение и смазка. М. : Машгиз, 1960.
5. Ковальский Б. И., Грибанов М. Е. Устройство для испытания трущихся материалов и масел : а. с. № 983522 СССР МКИ<sup>3</sup>. G01 № 19/02. 1982, Бюл. № 47.
6. Способ определения смазывающей способности масел : пат. 2186386. Рос. Федерация. МКИ<sup>3</sup>. G01 № 33/30, 3/56 / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, С. Б. Ковальский [и др.]. 2002, Бюл. № 21.

B. I. Kovalsky, Yu. N. Bezborodov, S. B. Kovalsky, E. G. Maltseva, N. N. Malysheva

### INFLUENCE OF ELECTRIC POTENTIAL ON MECHANO-CHEMICAL PROCESSES AT THE BOUNDARY SLIDING FRICTION

*The testing results of motor oils by the three-ball machine of friction are resulted at change of polarity of a constant voltage on samples.*

*Keywords: a current proceeding through frictional contact, mechano-chemical processes, diameter of a stain of deterioration.*

© Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Ковальский С. Б., Мальцева Е. Г., Мальшева Н. Н., 2011

УДК 621.762

Г. Г. Крушенко, М. Н. Фильков

### ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИТА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УПРОЧНЯЮЩИХ НАНОПОРОШКОВ

*В результате обработки в планетарной мельнице композиции, состоящей из частиц алюминия и нанопорошка нитрида титана TiN, разработана технология изготовления алюминиевого композита с повышенными механическими свойствами.*

*Ключевые слова: алюминиевые композиты, нанопорошки химических соединений, механические свойства.*

В работе [1] описана технология изготовления алюминиевого композиционного материала в виде протяженных профилей с волокнистой структурой: прутки (рис. 1), профили (рис. 2) с применением метода экструзии композиции, состоящей из частиц алюминия и нанопорошков (НП) высокопрочных химических соединений. Перед прессованием эти компоненты загружали в тонкостенный алюминиевый контейнер и производили его вращение в установке с эксцентричными осями при скорости 60 об/мин, в результате чего в поверхность частиц алюминия прочно внедрялись частицы НП. При этом использовалось более 20-ти видов НП (бориды, карбиды, нитриды, оксиды, силициды и смеси некоторых из них), полученные как методом плаз-

мохимического, так и электродугового синтеза (только  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

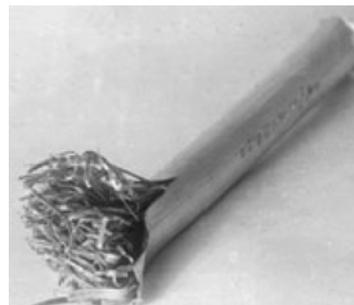


Рис. 1. Типичный вид композита (пруток  $\varnothing 9,5$  мм), отпрессованного из алюминиевых гранул и НП