

дунар. участием. Вып. 6. Красноярск : КГТУ, 2000. С. 255–261.

4. Самоорганизация вторичных структур при трении / И. С. Гершман [и др.] // Трение и износ. 2003. Т. 23, № 3. С. 329–334.

5. Гершман И. С., Буше Н. А. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах // Трение и износ. 1995. Т. 16, № 1. С. 61–70.

6. Молекулярные механизмы самоорганизации при трении / А. С. Кужаров [и др.] // Трение и износ. 2002. Т. 23. № 6. С. 645–651.

7. А. с. 983522 СССР, МКИ³ G 01 № 19/02. Устройство для испытания трущихся материалов и масел / Б. И. Ковальский, М. Е. Грибанов. Оpubл. 23.12.82, Бюл. № 47.

8. А. с. 1054732 СССР, МКИ³ G 01 № 3/56. Способ определения смазывающей способности масел / Б. И. Ковальский, Г. М. Сорокин, А. П. Ефремов. Оpubл. 15.11.83, Бюл. № 42.

9. Пат. 2186386 РФ, МКИ³ G 01 № 33/30, 3/56. Способ определения смазывающей способности масел / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, С. Б. Ковальский, Д. Г. Барков. Оpubл. 27.07.2002, Бюл. № 21.

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

CHANGE OF WEAR RESISTANCE OF STEEL ШХ15 AT IT'S TEMPERATURE CONTROL IN ENVIRONMENT OF MINERAL OIL M10-Г_{2К}

The article presents results of research of change of wear resistance of ШХ15 at it's temperature control in environment of mineral engine oil M10-Г_{2К} and mechanic-chemical processes at a boundary sliding friction.

Keywords: temperature control lubricant oil, relative deterioration, an indicator of antiwear properties, a current of frictional contact, plastic and elasto-plastic deformations, diameter of a stain of deterioration, a covering.

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

УДК 621.895

Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, А. В. Кузьменко, Ю. Ф. Кайзер

ВЛИЯНИЕ ТОКА, ПРОПУСКАЕМОГО ЧЕРЕЗ ФРИКЦИОННЫЙ КОНТАКТ, НА ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО АВИАЦИОННОГО МАСЛА ВНИИИП 50-1-4ф

Представлен метод определения влияния постоянного тока, пропускаемого через фрикционный контакт, на противоизносные свойства авиационного моторного синтетического масла ВНИИИП 50-1-4ф. Предложен критерий оценки механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте.

Ключевые слова: механохимические процессы, термоокислительная стабильность, процессы самоорганизации, пластическая и упругопластическая деформации, хемосорбционный граничный слой.

Процессы самоорганизации трибосистемы при граничном трении определяются сопротивлением ее элементов температурным, механическим и химическим воздействиям путем создания на поверхностях трения защитных слоев, причем влияние смазочного материала в этих процессах является основным. Влияние смазочного материала определяется интенсивностью сорбционных процессов, протекающих на площади контакта, которая зависит от химической активности присадок и продуктов окисления, а также их концентрации, изменяющейся в процессе эксплуатации газотурбинных двигателей.

Целью настоящей работы является исследование возможности повышения активности сорбционных процессов за счет пропуска тока через фрикционный контакт от внешнего стабилизированного источника питания.

Исследования проводились на трехшариковой машине трения со схемой трения «шар–цилиндр» [1],

причем каждый из трех шаров взаимодействовал с цилиндром по индивидуальной дорожке трения. В качестве образцов были выбраны: шар (подшипник № 1210) диаметром 9,5 мм и верхняя обойма роликового подшипника № 30208 диаметром 80 мм. Оба образца изготовлены из стали ШХ15. Режимы трения были выбраны постоянными и составили: нагрузка – 13 Н, скорость скольжения – 0,68 м/с, температура масла – 80 °С, время испытания – 2 ч.

Каждый держатель шаров был электроизолирован друг от друга, а к одному из них подводился постоянный ток (100 мкА) от стабилизированного источника питания напряжением 3 В. Величина тока, протекающего через фрикционный контакт, преобразовывалась преобразователем RS-485 и регистрировалась на компьютере. Температура испытуемого масла задавалась дискретно и поддерживалась автоматически с помощью терморегулятора TP101 с точностью ± 0,5 °С. Машина трения выполнена с возможностью измене-

ния полярности тока, протекающего через фрикционный контакт, что позволило выявить влияние полярности тока на формирование защитных пленок на поверхностях либо шара, либо обоймы и изменение противоизносных свойств испытываемого масла.

Противоизносные свойства смазочного материала оценивались по диаметру пятна износа на шаре и коэффициенту электропроводности фрикционного контакта [2]. Величина тока при трении зависит от интенсивности механохимических процессов на фрикционном контакте, определяющих продолжительность формирования площади контакта и защитных граничных пленок на поверхностях трения. Коэффициент электропроводности фрикционного контакта K_{Π} определяется отношением тока, протекающего через фрикционный контакт, к заданной величине тока (100 мкА) при статическом состоянии образцов [3].

Для испытания было выбрано авиационное синтетическое дизельное масло ВНИИ НП 50-1-4ф с присадками, повышающими противоизносные свойства и термоокислительную стабильность. Данное масло применяют в газотурбинных двигателях с температурой на выходе до 175 °С. Для определения влияния степени окисления масла на его противоизносные свойства оно подвергалось окислению при температуре 190 °С. Степень окисления масла оценивалась коэффициентом поглощения светового потока K_{Π} при фотометрировании.

Окисленное масло испытывалось на машине трения дважды, при положительном и отрицательном потенциалах на шаре. Результаты исследования представлены на рис. 1. Установлено, что при положительном потенциале на шаре (кривая 1) противоизносные свойства окисленного масла выше, чем при отрицательном потенциале (кривая 2). При положительном потенциале на шаре противоизносные свойства ухудшаются при увеличении коэффициента поглощения светового потока до значения $K_{\Pi} \approx 0,3$ ед. При дальнейшем окислении масла (увеличении коэффициента K_{Π}) противоизносные свойства улучшаются, и при $K_{\Pi} > 0,6$ ед. они стабилизируются.

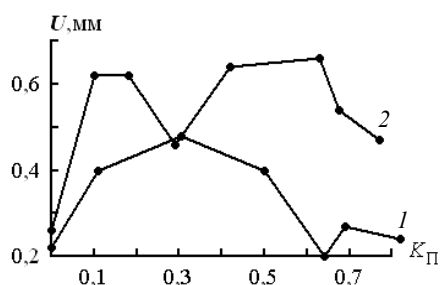


Рис. 1. Зависимость диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического авиационного масла ВНИИ НП 50-1-4ф:

1 – положительный потенциал на шаре; 2 – отрицательный потенциал на шаре

Можно полагать, что при $K_{\Pi} > 0,3$ ед. образуется достаточная концентрация кислых продуктов окисле-

ния, способная образовывать на поверхности трения защитные пленки, уменьшающие продолжительность пластической и упругопластической деформации, а значит и износ. Это подтверждается диаграммами записи тока, протекающего через фрикционный контакт (рис. 2 и 3), которые имеют три четко выраженные области. Первая область, где ток, протекающий через фрикционный контакт, максимальный в результате металлического контакта поверхностей трения. В этот период формируется площадь контакта за счет пластической деформации.

Вторая область характеризуется уменьшением тока до определенной величины за счет образования на поверхностях трения защитных пленок, увеличивающих электрическое сопротивление фрикционного контакта. В этот период пластическая деформация переходит в упругую.

Третья область характеризует установившееся изнашивание, при котором происходит формирование и разрушение на поверхностях трения защитных пленок, и в этой области реализуются в основном упругие деформации. Применение электрометрического метода позволяет установить продолжительность пластических, упругопластических и упругих деформаций.

При отрицательном потенциале на шаре (кривая 2, рис. 1) с увеличением концентрации продуктов окисления (K_{Π}) до значения $K_{\Pi} \approx 0,2$ ед. противоизносные свойства синтетического масла ВНИИ НП 50-1-4ф снижаются и износ увеличивается до значений 0,62 мм. При значениях $K_{\Pi} \approx 0,3$ ед. они повышаются, при увеличении K_{Π} до значений 0,6 ед. противоизносные свойства понижаются, а при $K_{\Pi} > 0,6$ ед. они повышаются. Снижение противоизносных свойств синтетического масла при отрицательном потенциале на шаре объясняется тем, что защитные пленки в данном случае формируются на поверхности обоймы, площадь контакта которой значительно превышает площадь контакта шара, поэтому влияние защитных пленок снижается, а износ увеличивается. Это подтверждается диаграммами записи тока, протекающего через фрикционный контакт (рис. 2 и 3). При отрицательном потенциале на шаре в контакте реализуются упругопластические деформации (рис. 4).

В результате исследования влияния полярности тока, протекающего через фрикционный контакт, выявлено, что существует определенная концентрация продуктов окисления ($K_{\Pi} \approx 0,3$ ед.), при которой полярность тока практически не влияет на величину износа (см. рис. 1). В этой связи представляют научный интерес исследования влияния постоянного тока на параметры износа окисленных масел.

В ходе исследования влияния тока на параметры износа при положительном потенциале на шаре (кривая 1) и при отсутствии тока в контакте (кривая 1') (рис. 4, а) установлено, что положительный потенциал на шаре повышает противоизносные свойства смазочного материала от 10 до 50 % независимо от концентрации продуктов окисления.

При отрицательном потенциале на шаре наблюдается иная тенденция изменения противоизносных свойств (рис. 4, б). Они повышаются при отсутствии потенциала на шарах (кривая 2'), причем, чем больше концентрация продуктов окисления в масле, тем выше противоизносные свойства масла, испытанного без приложения потенциала.

Приложение положительного потенциала к поверхности трения меньшей площадью повышает поверхностную энергию, ускоряет сорбционные процессы и образование химических соединений на поверхности трения, что подтверждается диаграммами записи тока, протекающего через фрикционный контакт.

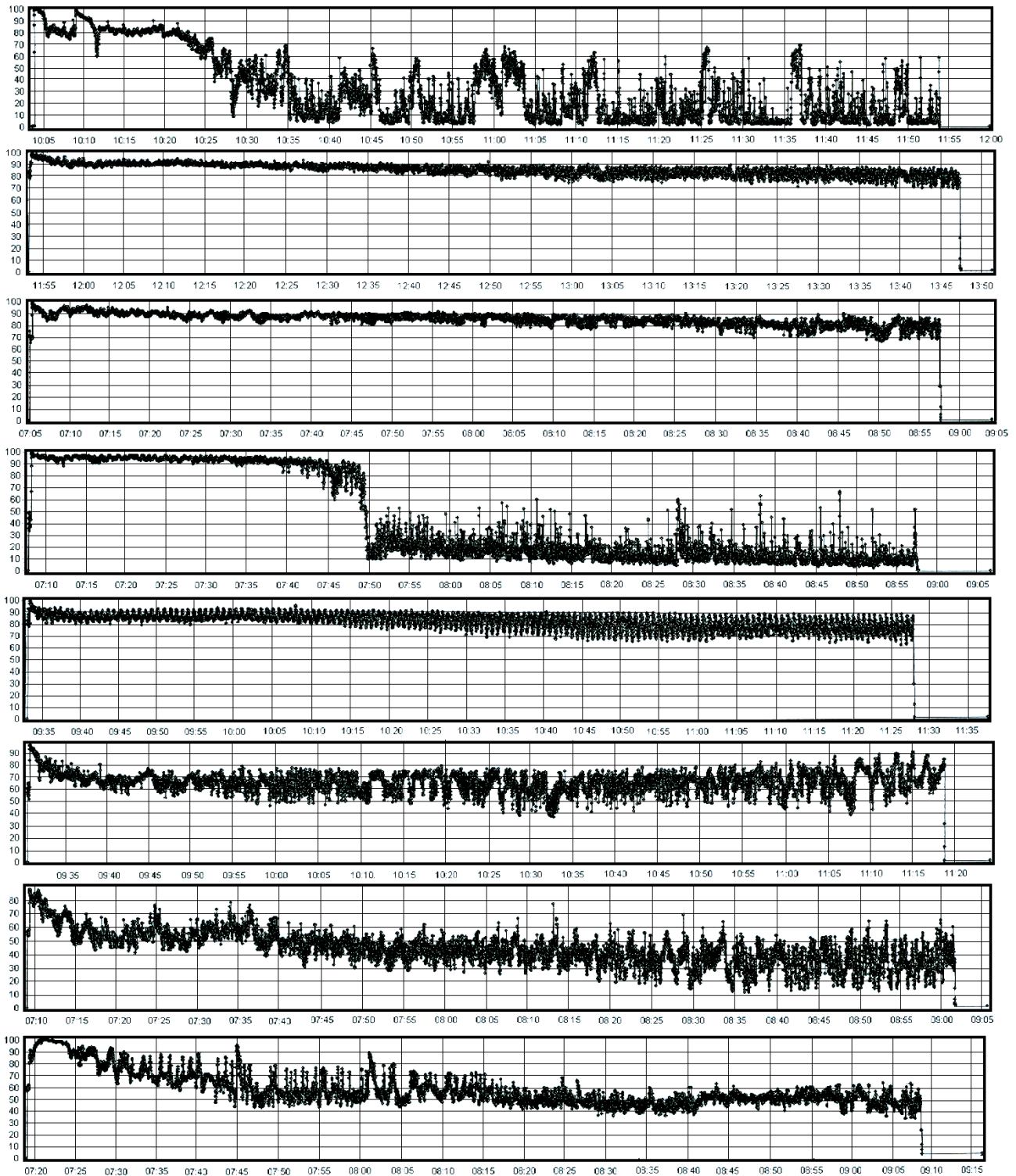


Рис. 2. Зависимость тока, протекающего через фрикционный контакт, от времени испытания при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф при положительном потенциале на шаре

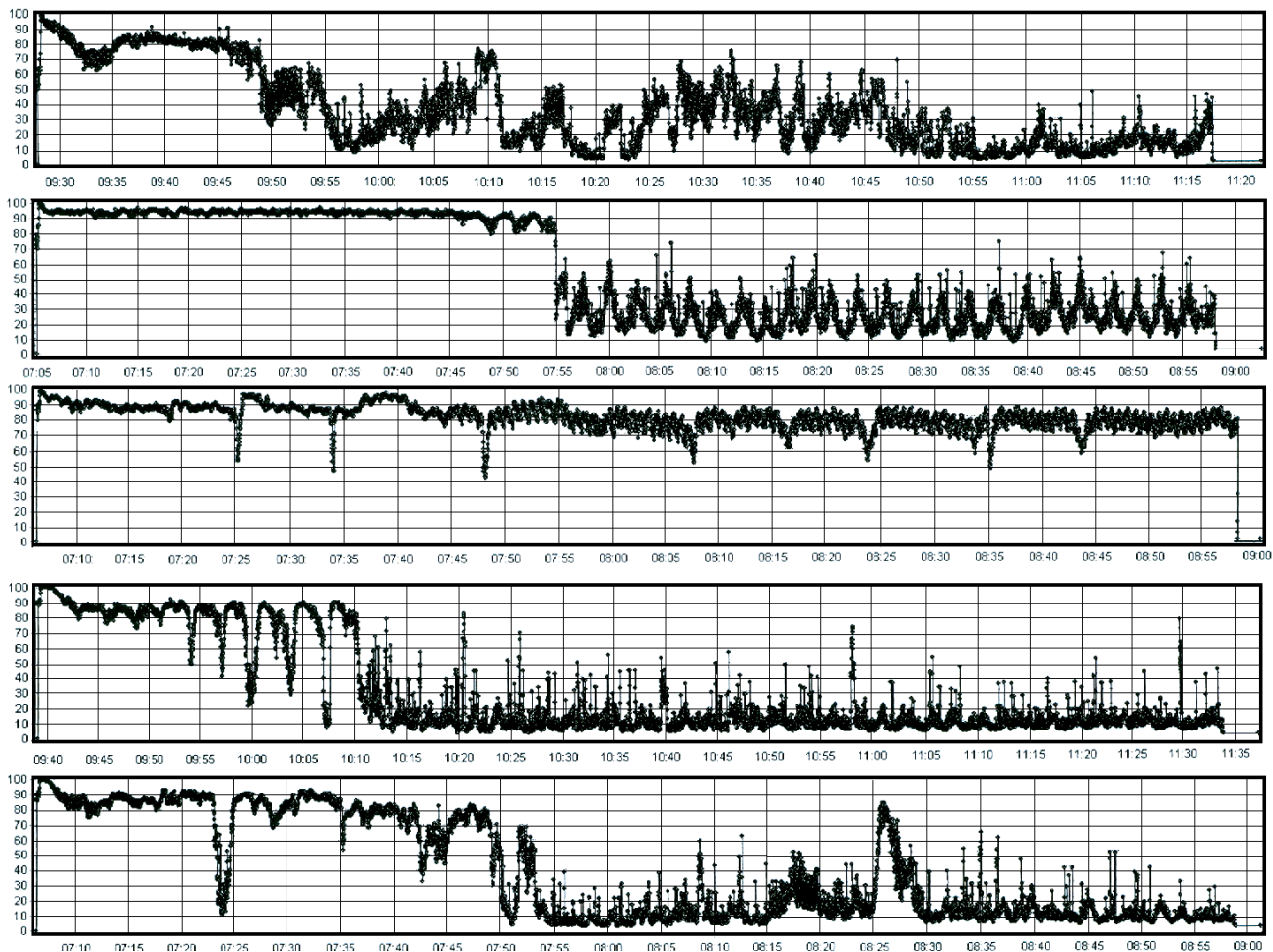


Рис. 3. Зависимость тока, протекающего через фрикционный контакт, от времени испытания при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф при отрицательном потенциале на шаре

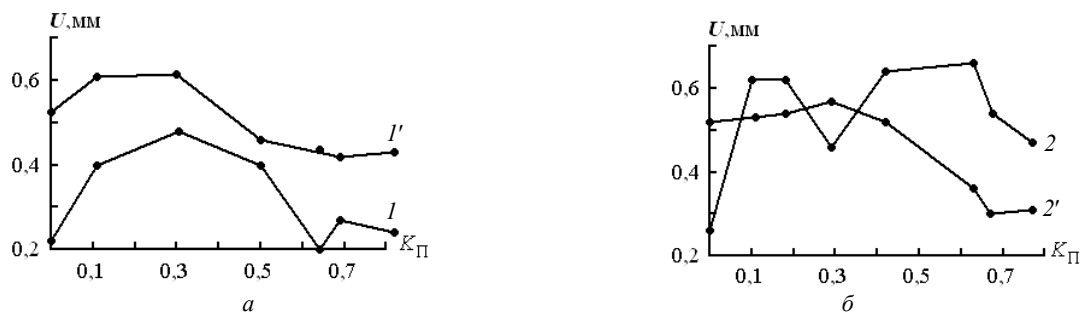


Рис. 4. Зависимость диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф:

a – при положительном потенциале на шаре: *1* – на шаре есть положительный потенциал; *1'* – на шарах отсутствует потенциал;
б – при отрицательном потенциале на шаре: *2* – на шаре есть отрицательный потенциал; *2'* – на шарах отсутствует потенциал

На величину износа основное влияние оказывает продолжительность пластической и упругопластической деформаций $t_{д}$, определяющих скорость формирования фактической площади контакта. Связь между этим показателем и степенью окисления синтетического масла определяет его противоизносные свойства и влияние полярности тока (рис. 5). При положительном потенциале на шаре (кривая *1*) с увеличением концентрации продуктов окисления ($K_{П}$) время

формирования контакта уменьшается до значения $K_{П} \approx 0,65$ ед., однако при $K_{П} > 0,65$ ед. время формирования контакта увеличивается. Кроме того, при окислении масла до значений $K_{П} = 0,1$ ед. время формирования контакта увеличивается по сравнению с товарным (неокисленным) маслом (точка на оси ординат, рис. 5).

При отрицательном потенциале на шаре (кривая *2*, рис. 5) время формирования контакта увеличивается с увеличением коэффициента поглощения светового

потока до значения $K_{\Pi} \approx 0,4$ ед., а при значениях коэффициента $0,7 > K_{\Pi} > 0,4$ ед. время сокращается за счет образования на поверхностях трения защитных пленок, однако при $K_{\Pi} > 0,7$ ед. время формирования контакта повторно увеличивается.

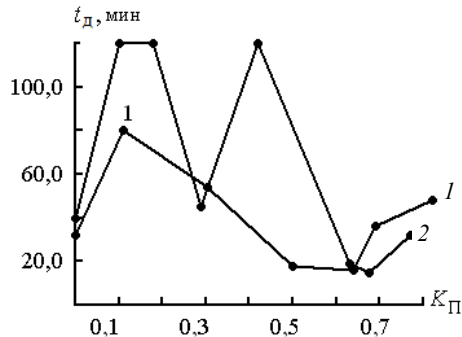


Рис. 5. Зависимость времени формирования площади фрикционного контакта от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-10-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Связь между изменениями диаметра пятна износа и временем формирования площади фрикционного контакта представлена на рис. 6. Согласно данным при положительном потенциале на шаре (кривая 1) противоизносные свойства окисленного масла максимальны при значении времени формирования фрикционного контакта, изменяющегося в пределах от 20 до 50 мин, причем величина износа не превышает 0,3 мм.

При отрицательном потенциале на шаре (кривая 2, рис. 6) противоизносные свойства синтетического масла улучшаются в тех же пределах изменения времени формирования контакта, что и при положительном потенциале на шаре, однако величина параметра износа превышает значения, полученные при положительном потенциале на шаре.

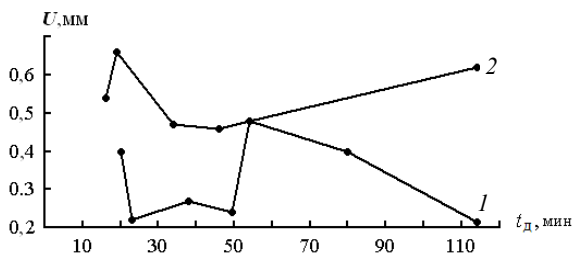


Рис. 6. Зависимость диаметра пятна износа от продолжительности формирования площади фрикционного контакта при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Таким образом, формирование фрикционного контакта за период времени от 20 до 50 мин характеризуется наименьшим износом, величина которого определяется полярностью тока. Когда время формирования контакта составляет более 50 мин, износ увеличивается за счет влияния продуктов окисления, и чем

меньше их концентрация в масле (см. рис. 1), тем продолжительнее формируется контакт и ниже противоизносные свойства масла. Эта тенденция наблюдается независимо от полярности тока на испытательных шарах.

Изменение электропроводности фрикционного контакта от степени окисления масла представлены на рис. 7. Коэффициент электропроводности $K_{Э}$ характеризует интенсивность процессов, протекающих на фрикционном контакте при упругих деформациях, проявляющихся в основном после формирования площадки контакта. Эти процессы характеризуются образованием и разрушением на поверхностях трения защитных пленок.

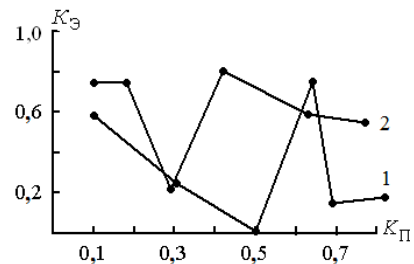


Рис. 7. Зависимость коэффициента электропроводности фрикционного контакта от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Установлено влияние полярности тока на шаре на величину коэффициента электропроводности $K_{Э}$ в зависимости от концентрации продуктов окисления. Так, при положительном потенциале на шаре (кривая 1, рис. 7) коэффициент электропроводности $K_{Э}$ уменьшается с увеличением коэффициента поглощения светового потока до значения $K_{\Pi} = 0,5$ ед. При значении $K_{\Pi} \approx 0,65$ ед. наблюдается резкое увеличение коэффициента $K_{Э}$, а при значениях $K_{\Pi} > 0,65$ ед. коэффициент $K_{Э}$ уменьшается до значений $K_{Э} < 0,2$ ед. Такое изменение электропроводности может объясняться изменениями в составе продуктов окисления, по-разному влияющих на интенсивность формирования защитных пленок на поверхности шара.

При отрицательном потенциале на шаре (кривая 2, рис. 7) и значении коэффициента поглощения светового потока $K_{\Pi} \approx 0,3$ ед. установлено минимальное значение коэффициента электропроводности, однако при значении $K_{\Pi} > 0,4$ ед. коэффициент $K_{Э}$ уменьшается. Общей отличительной характеристикой изменения коэффициента $K_{Э}$ при отрицательном потенциале на шаре является то, что его значения превышают значения, полученные при положительном потенциале на шаре, а это влияет на величину износа, так как продолжительность упругопластической деформации в контакте увеличивается. Это подтверждается зависимостью диаметра пятна износа от коэффициента электропроводности (рис. 8). Так, при положительном потенциале на шаре (кривая 1) значения износа меньше, чем при отрицательном потенциале (кривая 2). Причем кривая 1 имеет одинаковую тенденцию изме-

нения износа как от коэффициента K_{Σ} , так и от времени формирования контакта t_d (см. рис. 6), т. е. наблюдается определенная связь между коэффициентом электропроводности K_{Σ} и временем формирования фрикционного контакта t_d . Результаты исследования зависимостей между этими показателями представлены на рис. 9. Установлено, что независимо от потенциала на шаре зависимости $K_{\Sigma} = f(t_d)$ имеют минимум при $t_d \approx 45$ мин, а максимум при $t_d \approx 25$ мин. Если сравнить результаты изменения величины износа от времени формирования площади фрикционного контакта (см. рис. 6), то видно, что в интервале $25 \text{ мин} < t_d < 50 \text{ мин}$ износ шаров независимо от полярности тока приобретает минимальные значения, хотя для отрицательного потенциала на шаре он больше, чем при положительном потенциале.

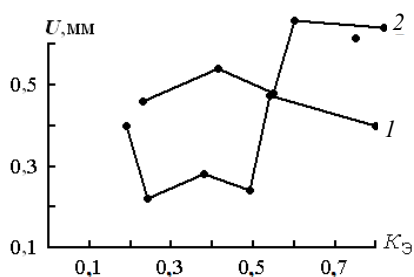


Рис. 8. Зависимость диаметра пятна износа от коэффициента электропроводности фрикционного контакта при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

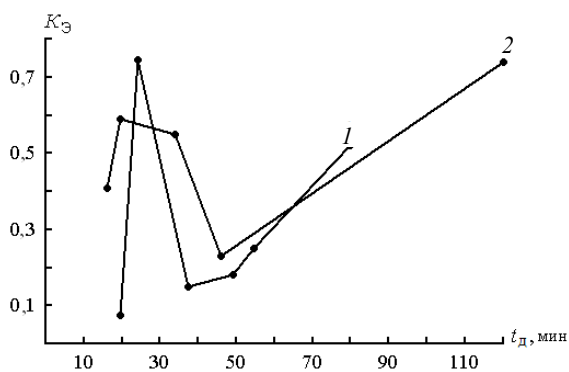


Рис. 9. Зависимость коэффициента электропроводности от продолжительности формирования площади фрикционного контакта при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Механохимические процессы, протекающие на фрикционном контакте, определяют время формирования площади фрикционного контакта и величину коэффициента электропроводности, поэтому произведение этих параметров принято за коэффициент интенсивности механохимических процессов $\Pi_{\text{МХ}}$. Зависимость данного коэффициента от степени окисления синтетического масла представлена на рис. 10. Установлено, что при положительном потенциале на шаре с увеличением коэффициента поглощения светового

потока коэффициент механохимических процессов уменьшается до значения $K_{\Pi} \approx 0,5$ ед., а затем незначительно увеличивается. При отрицательном потенциале на шаре значения коэффициента $\Pi_{\text{МХ}}$ значительно выше и подвержены колебаниям в пределах значений коэффициента поглощения светового потока от 0,1 до 0,4 ед. С увеличением коэффициента $K_{\Pi} > 0,4$ ед., коэффициент $\Pi_{\text{МХ}}$ уменьшается, и его значения приближаются к значениям, полученным при положительном потенциале на шаре.

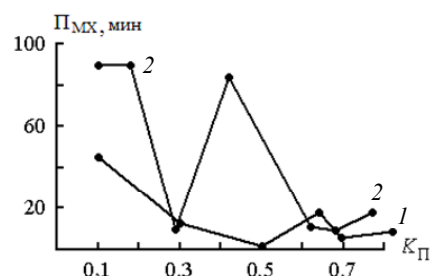


Рис. 10. Зависимость коэффициента механохимических процессов от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Коэффициент механохимических процессов характеризует совместное проявление механической и химической составляющих в процессе трения. С его помощью установлено, что при малых концентрациях продуктов окисления $K_{\Pi} \approx 0,3$ ед. время формирования контакта увеличено, а формирование защитных пленок на поверхностях трения незначительно. Поэтому в этот период при увеличении K_{Π} до 0,3 ед. преобладает механическая составляющая при формировании площади пятна износа, а при значениях $K_{\Pi} > 0,3$ ед. преобладает химическая составляющая механохимических процессов.

Важным показателем противоизносных свойств смазочного материала является несущая способность граничного слоя, определяемая отношением нагрузки и площади пятна износа (рис. 11). Влияние полярности тока на несущую способность граничного масляного слоя представлено зависимостью этого показателя от коэффициента поглощения светового потока. Несущая способность определялась при положительном потенциале на шаре (кривая 1, рис. 11, а) и при его отсутствии (кривая 1', рис. 11, а). Установлено, что до значения коэффициента поглощения светового потока, равного 0,5 ед., ток, пропускаемый через фрикционный контакт, практически не оказывает влияние на несущую способность, которая составила менее 100 Н/мм^2 . Однако при значениях коэффициента $K_{\Pi} > 0,5$ ед. полярность тока повышает несущую способность граничного слоя более чем в 2 раза. Это объясняется тем, что большая концентрация продуктов окисления ($K_{\Pi} > 0,5$ ед.) интенсифицирует хемосорбционные процессы, в результате, на поверхностях трения образуются защитные пленки, уменьшающие износ (площадь контакта).

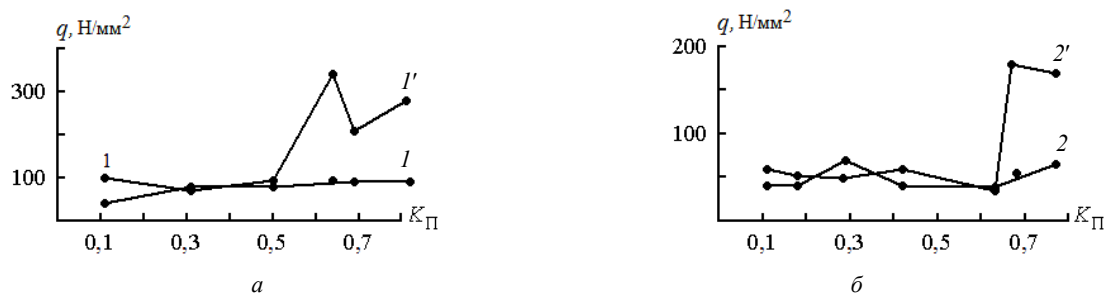


Рис. 11. Зависимость давления в контакте от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф:

a – при положительном потенциале на шаре: 1 – есть положительный потенциал на шаре; 1' – без потенциала;
 a – при отрицательном потенциале на шаре: 2 – есть отрицательный потенциал на шаре; 2' – без потенциала

В случае отрицательного потенциала на шаре (рис. 11, б) несущая способность граничного слоя практически одинакова, как при наличии потенциала на шаре (кривая 2), так и при его отсутствии (кривая 2'), до значения коэффициента поглощения светового потока $K_{\Pi} \approx 0,6$ ед. и составляет приблизительно 100 Н/мм^2 . При значениях $K_{\Pi} > 0,6$ ед. несущая способность граничного слоя повышается, однако при отсутствии отрицательного потенциала на шаре (кривая 2') несущая способность увеличивается в 1,5 раза. Это вызвано тем, что при отрицательном потенциале на шаре основные сорбционные процессы протекают на обойме, а так как ее площадь, контактируемая с поверхностью шара, значительно больше, то эффективность граничных пленок снижается, и они не способны уменьшить износ.

При отсутствии потенциала на испытуемых образцах хемосорбционные процессы более активно проявляются на поверхностях шара, вызывая уменьшение износа и повышение несущей способности граничного слоя. На активность хемосорбционных процессов оказывает влияние концентрация продуктов окисления.

В результате проведенных исследований установлено, что противоположными свойствами смазочных

материалов можно управлять путем создания на поверхности трения электрического потенциала, повышающего или понижающего поверхностную энергию твердого тела, изменяющую интенсивность механохимических процессов, протекающих на поверхностях трения, и несущую способность граничных слоев.

Продукты окисления синтетического авиационного масла ВНИИНП 50-1-4ф оказывают влияние на противоположные свойства при их определенной концентрации и полярности тока.

Библиографические ссылки

1. А. с. 983522 СССР, МКИ³ G 01 N 19/02. Устройство для испытания трущихся материалов и масел / Б. И. Ковальский, М. Е. Грибанов. 1982, Бюл. № 47.
2. А. с. 1054732 СССР, МКИ³ G 01 N 3/56. Способ определения смазывающей способности масел / Б. И. Ковальский, Г. М. Сорокин, А. П. Ефремов. 1983, Бюл. № 42.
3. Пат. 2186386 РФ, МКИ³ G 01 N 33/30, 3/56. Способ определения смазывающей способности масел / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, С. Б. Ковальский, Д. Г. Барков. 2002, Бюл. № 21.

B. I. Kovalskiy, Yu. N. Bezborodov, A. V. Kuzmenko, Yu. F. Kaizer

INFLUENCE OF A CURRENT PASSED THROUGH FRICTIONAL CONTACT ON ANTIWEAR PROPERTIES OF SYNTHETIC AVIATION OIL VNIINP 50-1-4f

The authors present a method for definition of influence of a direct current passed through frictional contact on antiwear properties of aviation motor synthetic oil VNIINP 50-1-4f. The criterion of an estimation mechanic-chemical processes on frictional contact is offered.

Keywords: mechanic-chemical processes, thermal-oxidative stability, process self-organizing, plastic and elasto-plastic deformations, chemisorptive boundary layer.

© Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Кузьменко А. В., Кайзер Ю. Ф., 2011