

УДК 548.3:669.018

**АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМ
МЕТАЛЛ – ГРАФИТСОДЕРЖАЮЩАЯ СМАЗОЧНАЯ КОМПОНЕНТА**

Щербаков И.Н., Сербиновский М.Ю., Иванов В.В.

*ФГУП ОКБ «ОРИОН», Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru*

Обсуждаются антифрикционные свойства материалов систем металл – графитсодержащая смазочная компонента

Ключевые слова: антифрикционные свойства, твердофазная смазка, композиционный материал

**ANTI-FRICTIONAL PROPERTIES OF MATERIALS OF THE METAL – GRAPHITE
CONTAINING LUBRICANT COMPONENT SYSTEMS**

Shcherbakov I.N., Serbinovskii M.Y., Ivanov V.V.

*FGUE SDTU «ORION», Platov South-Russian state polytechnic university
(Novochoerkassk polytechnic institute), Novochoerkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru*

The anti-frictional properties of materials of the metal – graphite containing lubricant component systems were discussed.

Keywords: anti-frictional properties, solid state lubricant component, compositional material

Для обеспечения эффекта самосмазывания поверхности композиционных систем «металл – смазка» в качестве одного из компонентов композиции используют высокодисперсные твердофазные смазки, в частности, графит, свинец, сульфиды некоторых переходных металлов [1]. Наличие в порах металла твердой смазки предохраняет его при трении от катастрофического износа и схватывания, даже если отсутствует жидкая смазка между трущимися поверхностями. Эффективность проявления фрикционных свойств такими композиционными материалами (КМ) существенно зависит от индивидуальных трибологических характеристик введенной смазочной компоненты, характера пористости материала, условий механической обработки поверхности изделия перед трибологическими испытаниями [2, 3]. При этом необходимо также учитывать возможный синергизм свойств компонентов КМ, позволяющий предсказать оптимальное соотношение и распределение их в объеме [4–9].

Анализ системы «графит – жидкая смазка». В соответствии с моделью «концентрационной волны» [4, 9] коэффициент трения композиции «твердая смазка – жидкая смазка» $f_{ксм}$ в зависимости от объемной концентрации жидкой смазки p может быть записан следующим образом:

$$f_{ксм}(p) = (1-p)f_{тв.см} + pf_{ж.см} - \delta_{ф,ксм} (f_{тв.см} - f_{ж.см})$$

Здесь: $\delta_{ф,ксм} = 4(1-p)^2p(1-k(1-k_n))$ – относительный синергический эффект для коэффициента трения; $k = (r_{тв}/(r_{тв} + \Delta x))$ – размерный параметр твердой компоненты КМ, характеризующий соотношение между эффективным размером микрочастиц твердой компоненты $r_{тв}$ и средней толщиной слоя между двумя сопряженными поверхностями Δx ; k_n – параметр наноструктурности, учитывающий долю наночастиц твердых фаз с определенной формой в зоне трения (сферической или цилиндрической в случае ионно-ковалентного характера связи между атомами, пластинчатой или дискообразной в случае слоистых структур фаз с преимущественно Ван-дер-ваальсовым характером связи между атомными слоями). В нашем случае $k \cong 0,5$ и $k_n \cong 1$, поэтому $\delta_{ф,ксм} = 4(1-p)^2p$.

Из формулы нетрудно получить следующее выражение для величины коэффициента трения:

$$f_{ксм}(p) = (1-p)(1-2p)^2 f_{тв.см} + p(5-4p^2) f_{ж.см}$$

Тогда относительная величина коэффициента трения:

$$(f_{ксм}(p)/f_{тв.см}) = (1-p)(1-2p)^2 + p(5-4p^2)(f_{ж.см}/f_{тв.см})$$

При разных фиксированных значениях отношения $(f_{ж.см}/f_{тв.см})$ синергический эффект компонентов системы проявляется по-разному: чем меньше величина $(f_{ж.см}/f_{тв.см})$, тем более интенсивным является положи-

тельный синергизм. При изменении этого отношения от 0,5 до 0,1 максимум синергического эффекта смещается от значения $p \cong 0,15$ до 0,30 [10].

Таким образом, коэффициент трения композиционной смазки может быть рассчитан, если известны степень пропитки графита жидкой смазкой p и индивидуальные трибологические характеристики смазочных компонент $f_{ж,см}$ и $f_{тв,см}$ в режиме стационарного трения двух приработанных металлических («непористых») поверхностей.

Анализ системы ««пористый металл» – графитсодержащая смазка». В соответствии с моделью «концентрационной волны» [4, 9] для коэффициента трения f_{KM} и скорости линейного износа $I_{л, KM}$ композиции «металл – композиционная смазка» справедливы следующие соотношения:

$$f_{KM} = (1-x)f_{Me} + xf_{ксм} - \delta_{f, KM} (f_{Me} - f_{ксм}),$$

$$I_{л, KM} = (1-x)I_{л, Me} + xI_{л, ксм} + \delta_{I, KM} (I_{л, Me} - I_{л, ксм}),$$

где $\delta_{f, KM} = \delta_{I, KM} = \delta_{KM} = 4(1-x)^2x(1-k(I-k_n))$ – относительный синергический эффект, а x – объемная доля композиционной смазки в КМ, f_{Me} и $I_{л, Me}$ – коэффициент трения и скорость линейного износа пористого металлического тела без смазки, $I_{л, ксм}$ – скорость условного линейного износа композиционной смазки при определенном соотношении графит / жидкая смазка.

Для данной системы наиболее вероятными являются значения параметров модели $k = 0,5$ и $k_n = 0$ [4–6, 11–22]. В этом случае относительный синергический эффект для коэффициента трения и скорости линейного износа упрощается до следующего выражения: $\delta_{KM} = 2(1-x)^2x$. Тогда из представленных выше соотношений могут быть получены следующие выражения для относительных величин трибологических характеристик композиционных материалов:

$$(f_{KM}/f_{Me}) = 1 - (x + \delta_{KM})(1 - (f_{ксм}/f_{Me})),$$

$$(I_{л, KM}/I_{л, Me}) = 1 - (\delta_{KM} - x)((I_{л, ксм}/I_{л, Me}) - 1).$$

Из этих формул следует, что эффект синергизма антифрикционных и износостойких свойств компонентов КМ определяется объемной концентрацией композиционной графитсодержащей смазки x и отношением индивидуальных показателей твердой и смазочной компонент ($f_{ксм}/f_{Me}$) и ($I_{л, ксм}/I_{л, Me}$). Отметим, что положительный

синергический эффект для коэффициента трения КМ наблюдается практически во всем интервале изменения параметра состава x . Максимальное значение положительного синергического эффекта, определенное как отклонение при $x = 0,33$ отношения (f_{KM}/f_{Me}) от соответствующей величины, полученной по аддитивной модели, закономерно увеличивается при уменьшении отношения ($f_{ксм}/f_{Me}$) от 0,5 до 0,1 [10]. В случае проявления износостойкости положительный синергический эффект ($(I_{л, KM}/I_{л, Me}) < 1$) наблюдается только в интервале значений x от 0 до 0,30. По мере увеличения отношения ($I_{л, ксм}/I_{л, Me}$) от 1 до 11 величина относительного синергического эффекта увеличивается при $x \cong 0,165$ от 0 до 0,56 [10].

Таким образом, коэффициент трения и скорость линейного износа композита могут быть рассчитаны для каждого фиксированного значения x , если известны индивидуальные характеристики твердой и смазочной компонент материала. Отметим также, что для достижения максимального синергического эффекта необходимо целенаправленно изменять величину открытой пористости материала. Если учесть, что вероятная объемная доля смазочной компоненты композиционного материала пропорциональна величине открытой пористости материала, то целенаправленное изменение ее при заполнении пор графитсодержащей композицией позволит, вероятно, достигнуть максимально возможного синергического эффекта при заданных микроструктурных характеристиках и составе матрицы композита [23].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутьков А.А., Щеголев В.А. // Трение и износ. – 1980. – Т. 1, № 2. – С. 209–216.
2. Кутьков А.А., Щеголев В.А. Структурно-кинематическое моделирование подвижных молекулярных форм. – Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1984. – 160 с.
3. Щербаков И.Н. // Фундаментальные и прикладные проблемы современной техники. – Ростов на Дону: изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – С. 102–110.
4. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В., Башкиров О.М. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – № 3. – С. 141–145.
5. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М., Логинов В.Т. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – № 4. – С. 42–44.
6. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование композиционных никель-фосфорных покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2008. – 112 с.
7. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 3. – С. 113–115.

8. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 4. – С. 116–118.
9. Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т. и др. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. – 132 с.
10. Иванов В.В., Сербиновский М.Ю., Иванов А.В., Попова О.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Актуальные проблемы машиностроения: Спец. выпуск. Техн. науки, 2006. – С. 74–76.
11. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Иванов А.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2006. – Т. 79. – Вып. 4. – С. 619–621.
12. Иванов В.В., Курнакова Н.Ю., Арзуманова А.В. и др. // Журн. прикладной химии, 2008. – Т. 81. – Вып. 12. – С. 2059–2061.
13. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2009. – Т. 82. – Вып. 5. – С. 797–802.
14. Иванов В.В., Башкиров О.М., Марченко С.И. и др. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – Спецвыпуск. Композиционные материалы, 2005. – С. 15–17.
15. Иванов В.В., Марченко С.И. // Научная мысль Кавказа. – Спецвыпуск, 2006. – С. 87–89.
16. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 1. – С. 84–87.
17. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 5. – С. 72–75.
18. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 6. – С. 79–82.
19. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 3. – С. 54–57.
20. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 5. – С. 47–50.
21. Иванов В.В. // Междунар. журнал экспериментального образования, 2014. – № 4. – Part 2. – С. 58–59.
22. Иванов В.В. // Междунар. журнал экспериментального образования, 2014. – № 4. – Part 2. – С. 59–60.
23. Иванов В.В., Сербиновский М.Ю., Попова О.В., Иванов А.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – Спецвыпуск. Композиционные материалы и покрытия, 2005. – С. 40–42.