

УДК 621.8

Расчетная оценка совместимости трибосистем, содержащих подшипниковые сплавы

Зелинский В.В.

В статье рассмотрена возможность расчетной оценки совместимости трибосистем, обеспечиваемой упругим деформированием твердой основы бинарных антифрикционных сплавов при пластическом деформировании мягкой составляющей.

Ключевые слова: трение, совместимость, давление, текучесть, материал, свойство, деформация, поверхность.

Введение

Устойчивая работа трибосистемы с подшипниковым материалом во многом зависит от способности трущихся поверхностей приспособляться друг к другу на основе различных механизмов, объединенных понятием совместимости трибосистемы. Это особо важно для подшипников скольжения мощных (например, тепловозных) двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Под совместимостью трибосистемы понимают ее способность обеспечивать оптимальное состояние в заданном диапазоне условий работы по выбранным критериям [1]. Применительно к подшипниковым сплавам ДВС решающее значение приобретает их способность сопротивляться схватыванию с материалом цапфы, которое ведет к образованию непоправимых повреждений, приводящим к задирам либо к выходу из строя по ускоренному износу [2]. Создание подшипниковых материалов, обладающих высокими показателями совместимости, является актуальным, но их оценка до сих пор основана исключительно на сравнительных экспериментах.

Целью работы является развитие аналитического подхода в оценке совместимости бинарных подшипниковых сплавов с макроструктурой «мягкая составляющая (МС) в твердой основе (ТО)», что предполагает расширение возможностей в создании таких трибоматериалов. К сплавам с отмеченной структурой относятся алюминий-

оловянные, медно-свинцовые, алюминий-оловянные.

Основное содержание работы

Для алюминий-оловянных сплавов экспериментально доказанным является эффект увеличения содержания МС, представленной оловом, на поверхности в результате повышенного трения. Предполагается [3], что пластическое деформирование поверхностного слоя ТО приводит к частичному вытеснению олова на поверхность, чем и обеспечивается снижение схватывания с материалом цапфы и повышение совместимости. Но есть основания также предполагать, что дополнительно механизм частичного вытеснения пластически деформированной МС может быть обусловлен также и упругим деформированием основы сплава, так как глубина проникновения упругих перемещений значительно больше глубины распространения пластически деформированной области и существенно превышает размеры мягкой включений. Расчеты показали, что, например, в случае контакта стального вала диаметром 60 мм с шатунным подшипником ДВС из сплава на основе алюминия при средней нагрузке 2000 Н максимум контактных напряжений располагается на глубине около 2,7 мм. То есть упругие деформации по глубине охватывают весь антифрикционный слой в биметаллическом подшипнике. Поэтому, в эффекте частичного вытеснения МС на поверхность трения суще-

ственное значение могут иметь и упругие перемещения нижележащего достаточно большого объема материала, в то время как пластические перемещения локализируются лишь в тонком наружном слое до 5 мкм [4,5].

Наступлению состоянию текучести в МС всегда предшествует упругое деформирование от сжимающего действия охватывающего материала ТО и, главным образом, от стенок включений, расположенных перпендикулярно направлению движения индентора. Поэтому можно допустить, что началом текучести МС является ее предельное упругое состояние и для оценки эффекта вытеснения мягкой составляющей можно использовать механизм упругости в объеме ТО, считая допустимым в направлении нормали к общей стенке объемов МС и ТО следующее соотношение

$$\sigma_{np} = E_m \mathcal{E}_{np} = \sigma_T, \quad (1)$$

где σ_{np} , \mathcal{E}_{np} - предельные значения, соответственно, нормального напряжения и относительной упругой деформации МС; E_m , σ_T - соответственно, модуль упругости и предел текучести материала МС.

Имея целью определение зависимости критического внешнего давления, соответствующего условию (1) (т.е. началу текучести МС), от сочетания металлов соприкасающихся ТО и МС, используем теорию напряженного и деформированного состояния [6], считая материалы ТО и МС изотропными и жесткопластическими. Рассмотрим напряженно-деформированное состояние гетерогенного полупространства с данными свойствами под действием движущегося жесткого штампа, нагруженного нормальной и касательной силами. Взаимодействие ТО и МС происходит по разделяющей их поверхности, поэтому выделим из полупространства элементарные объемы ТО и МС, соприкасающиеся по одной из граней и ограниченные главными площадками. Вследствие низкой адгезии между металлами ТО и МС трением между их объема-

ми пренебрегаем. Ввиду низкой относительной доли поверхности, занятой мягкой составляющей объем МС освобождает от действия нормальной и касательной сил. На основании обобщенного закона упругости и равенства деформаций объемов вдоль общей оси X связь их главных напряжений при плоском деформированном состоянии определяется уравнением

$$\sigma_x^M \cdot \frac{1 - \mu_m^2}{E_m} = \frac{1}{E_m} \left[\sigma_z^m \mu_m (1 + \mu_m) - \sigma_x^m (1 - \mu_m) \right], \quad (2)$$

где σ_x^M , σ_z^m , σ_x^m - главные нормальные напряжения (верхние индексы «М» и «т» соответственно для объемов МС и ТО, нижние индексы соответствуют осям координат X , Z); E_m - модуль упругости материала ТО; μ_m , μ_m - коэффициенты Пуассона материалов МС и ТО.

За предельное напряженное состояние принимаем состояние текучести МС. В соответствии с условием пластичности Мизеса при плоском деформированном состоянии σ_x^M определяется уравнением

$$\sigma_x^M = \sigma_T (\mu_m^2 - \mu_m + 1)^{-0,5}. \quad (3)$$

В связи с наличием касательного напряжения τ на гранях объема ТО в уравнении (2) главные напряжения следует заменить рабочими (в соответствии с [6]) с использованием соотношения

$$\tau = f q, \quad (4)$$

где f - коэффициент трения при движении штампа; q - давление на объеме ТО от внешней силы. Совместное решение уравнений (2), (3) и (4) с учетом формул замены напряжений позволило получить зависимость давления начала текучести МС в виде функции

$$q_T = \phi(\sigma_T, f, E_m, E_m, \mu_m, \mu_m). \quad (5)$$

На рисунке 1 приведены решения функции (5) для сочетания металлов МС и ТО, соот-

ветствующих антифрикционным материалам типа свинцовистых бронз (1), алюминиево-оловянным (3) и алюминиево-свинцовым (2) сплавам. Приведенные решения позволяют сделать оценку способности разных систем к пластическому вытеснению более мягкого металла из основы сплава при упругом деформировании ТО по уровню требуемого для этого внешнего давления q_T

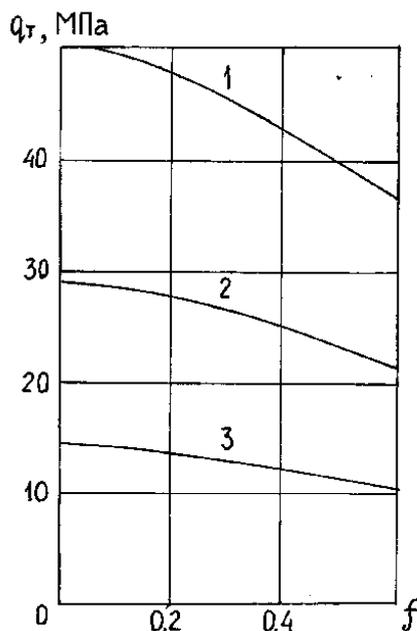


Рис. 1. Зависимость давления начала текучести q_T мягких включений от коэффициента трения f для систем:

1 - Cu+Pb, 2 - Al+Pb, 3 - Al+Sn

Анализ результатов расчетов показал их полное соответствие результатам экспериментов, опубликованных в работах [2,3,5,7], по целому ряду показателей совместимости – длительности и скорости приработки, температуре трения, коэффициенту трения, задиростойкости для бинарных сплавов. Например, расчет показал, что для системы Al+Sn требуется наименьшие q_T , необходимые для начала текучести МС, с более слабой зависимостью от f . Опыты выявили для алюминиево-оловянных сплавов наилучшие показатели по перечисленным параметрам. Расчет показал, что системе Cu+Pb для вытеснения свинца во

всем диапазоне изменения коэффициента трения требуются очень высокие значения q_T , недостижимые на практике. И действительно в опытах медно-свинцовые сплавы по всем показателям совместимости дали наихудшие результаты. так как в экспериментах эффекта вытеснения МС достичь не удалось. Расчеты, как и опыты, показали, что в сплавах на основе алюминия лучшую совместимость дает использование олова в качестве МС, чем использование свинца, поскольку система Al+Pb для вытеснения МС требует более высоких нагрузок. И именно расчетом установлено, что причина в низком модуле упругости свинца и для достижения его текучести требуются значительные деформации ТО и, следовательно, большие нагрузки. Согласно расчетным зависимостям при уменьшении коэффициента трения (например, в результате приработки) эффект вытеснения МС при постоянных внешних условиях ослабляется в наименьшей степени для системы Al+Sn.

Заключение

Предложенный подход позволяет дать расчетную оценку совместимости трибосистем, содержащих бинарные подшипниковые сплавы. Достоверность оценки подтверждена экспериментами и ее применение может быть полезным при создании новых трибоматериалов.

Литература

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. А.В.Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 2003.-576 с.
2. Буше Н.А., Зелинский В.В. Совместимость трущихся пар в период приработки // Вестник ВНИИЖТ, № 2, 1981, с. 38-41.
3. Буше Н.А., Зелинский В.В., Трушин В.В. Оценка режимов трения и задиростойкости

трибосопряжений // Трение и износ. 1986, Т.7, № 5, с. 798-805.

4. *Зелинский В.В.* Новое о механизмах приработки антифрикционных подшипниковых материалов // Современные материалы и технологии – 2002. Сборник статей Международной научно-технической конференции, Пенза, ПГУ, 2002, с. 141-144.

5. *Зелинский В.В.* Исследование закономерностей приработки подшипниковых материалов транспортных двигателей // Дисс. ...

канд. техн. наук.- Москва: ВНИИНАМШ, 1979, 229 с.

6. *Филин А.П.* Прикладная механика твердого деформированного тела. Т.1. – М.: Наука, 1975. – 832 с.

7. *Зелинский В.В.* Феноменологические основы изофрикционной приработки опор скольжения машин. Часть 2 // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, № 3(10), 2011, с. 48-52.

Статья поступила в редакцию 23 марта 2012 г.

The article considers the possibility of estimation of compatibility tribosystems provided by the elastic deformation of solid basis of binary alloys with anti-friction plastic deformation of the soft component.

Keywords: friction, compatibility, pressure, flow, material property, the deformation of the surface.

Зелинский Виктор Васильевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

УДК 621.9.01

Оптимизация процессов обработки резанием на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения материалов

Карпов А.В.

В статье рассмотрены энергетические показатели резания и их применение в целях параметрической оптимизации процессами обработки заготовок металлорежущими инструментами.

Ключевые слова: Резание материалов, режущий инструмент, оптимизация резания, деформация, разрушение, технологические параметры, энергоёмкость, энергозатраты, работа резания, энергетическая эффективность.

Введение

Определение рациональных, экономичных условий осуществления сложных процессов в техносфере осуществляют с помощью оптимизации этих процессов.

Как известно, процедура оптимизации представляет собой отыскание максимально или минимально допустимого значения (Y_{\max} или Y_{\min}) некоторого показателя Y , характеризующего процесс и называемого критерием

оптимальности. Если для повышения эффективности (улучшения) процесса значение показателя Y желательно увеличить (например, «производительность процесса», «экономическая прибыль»), то при оптимизации ведут поиск Y_{\max} , если уменьшить (например, «себестоимость», «штучное время») – Y_{\min} из области допустимых значений Y .

В зависимости от конкретных задач и внешних условий в качестве критерия опти-