

КРИТЕРИИ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ БЕЗ СМАЗКИ

В статье рассматриваются вопросы определения критериев и построения математической модели выбора материалов деталей при проектировании узлов трения скольжения, работающих без смазки, формализуются требования, предъявляемые к материалам. Предлагаемая методика основана на применении метода анализа иерархий в сочетании с элементами теории нечетких множеств

Введение. Работа машин и агрегатов современной техники происходит с возрастающими скоростями и нагрузками, при высоких и низких температурах, в агрессивных средах и вакууме. Повышаются требования к надежности и долговечности наряду со стремлением к упрощению и удешевлению разрабатываемых конструкций, к кондиционности вырабатываемых продуктов. В этих условиях все большее применение находят подшипники скольжения, работающие без смазочного материала.

Основными областями, в которых используются пары «сухого» трения, являются:

- экстремальные температурные условия, так как смазочные материалы работоспособны в диапазоне от -30 до $+300$ °С, а подшипники «сухого» трения позволяют работать с температурами свыше $+400$ °С;

- работа узлов трения при высоких нагрузках, так как в этих условиях смазочное вещество выдавливается из зоны контакта и создать гидродинамическую смазку невозможно;

- работа при низких скоростях скольжения также нарушает работу гидродинамической смазки, так как давление в масляном клине оказывается недостаточным для восприятия нагрузки;

- работа узлов трения в вакууме вследствие высокой упругости паров жидкостей и смазок приводит к их испарению, они теряют смазывающие свойства;

- работа в пищевой, текстильной и химической промышленности, так как минеральные смазки приводят к загрязнению маслом производимого продукта;

- узлы герметичной аппаратуры работают при высоком давлении и подвержены периодическому колебанию давления в системе, что приводит к выбросам смазки из подшипников.

Материалы, применяемые для деталей типа втулка прямой пары трения скольжения, подразделяются на следующие группы: I – металлические материалы (коррозионно стойкие стали и сплавы, углеродистые и легированные стали, чугуны, цветные металлы, наплавочные материалы), II – материалы на основе углерода, III – неметаллические высокотвердые материалы, IV – материалы на основе полимеров, в том числе металлополимерные.

Вследствие недостаточно обоснованного выбора материалов для деталей пар трения скольжения сроки службы машин и агрегатов уменьшаются, возрастает количество ремонтных работ, и, как следствие, снижается производительность из-за дополнительных простоев оборудования. От выбранного материала зависит конструктивное оформление узла трения. Конструкции деталей разрабатываются исходя из свойств материалов таким образом, чтобы наиболее полно использовать низкий коэффициент трения и высокую износостойкость материала, при этом сведя до минимума или полностью устранив вредное влияние отрицательных характеристик материала (физико-механических свойств: недостаточная прочность, хрупкость, низкая теплопроводность, нестабильность размеров во времени и геометрических параметров качества трущихся поверхностей).

Материалы деталей пар трения скольжения, работающих без смазки, выбираются в зависимости от свойств рабочей среды, ее температуры и давления, от скорости скольжения по валу, от реакции в опоре (нагрузки), от теплоотвода из зоны трения, графика межремонтных периодов и срока наработки узла на отказ.

Таким образом, выбор конкретного материала деталей пары трения осуществляется в условиях наличия многих критериев, при этом для ряда критериев характерна неполнота и неточность информации, необходимой для оценивания, вследствие чего подобного типа задачи обычно решаются проектировщиком на интуитивном уровне, с использованием эвристических подходов, а зачастую – методом проб и ошибок.

Разработка и применение средств программной поддержки решения таких задач, ключевую роль в которой играет определение критериев выбора и построение соответствующих математических моделей, учитывающих структуру и специфику исходной информации, позволит проектировщику более детально и

последовательно отразить и формализовать свои предпочтения, заранее оценить и проанализировать последствия выбора каждого решения, исключить недопустимые варианты и выделить наиболее удачные решения, вследствие чего сократить сроки проектирования, повысить научную и инженерную обоснованность и снизить субъективный фактор принимаемых решений.

В качестве основных критериев выбора должны использоваться контактная прочность (несущая способность) и износостойкость. Задачи определения требуемых параметров теплостойкости, сопротивляемости агрессивным средам, оптимальной стоимости не представляют научных и технических проблем.

Критерий контактной прочности. По конструктивному исполнению вкладыши опор подразделяют на толстостенные и тонкостенные, последние, в свою очередь, могут выполняться разъемными. Для всех видов вкладышей расчеты контактных параметров известны, при этом учитываются конструктивные отличия и особенности материала (полимеры, металлы и антифрикционные покрытия) деталей узла трения [1]. Согласно приведенным исследованиям в лучших условиях работают тонкостенные вкладыши, так как максимальное давление находится в зоне корпуса (рис. 1).

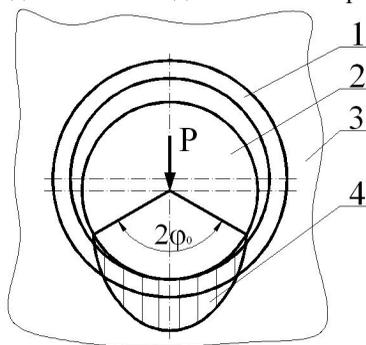


Рис. 1. Расчетная схема подшипника скольжения:

1 – вкладыш; 2 – вал; 3 – корпус подшипника; 4 – эпюра напряжения

Однако при выборе материала необходимо ориентироваться на толстостенный вкладыш, поскольку в момент пуска механизма может оказаться, что максимальное давление на какое-то время будет располагаться в зоне тонкостенного вкладыша, то есть критерием выбора является следующее выражение:

$$P_{\max} < \sigma_T, \quad (1)$$

где P_{\max} – максимальное давление; σ_T – предел текучести материала вкладыша.

Согласно [1]:

$$P_{\max} = \frac{2P}{\pi R_1 l \sin \varphi_0}, \quad (2)$$

где P – нагрузка в стыке; R_1 – внутренний радиус вкладыша; l – длина контакта; φ_0 – половина угла контакта,

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left[(1 - \mu_1^2) + (1 - \mu_2^2) \frac{E_1}{E_2} \right] \frac{P}{E_1 (R_1 - R_2) l}}, \quad (3)$$

где E_1 , E_2 , μ_1 , μ_2 – модули упругости и коэффициенты Пуассона соответственно материала вкладыша (индекс 1) и вала (индекс 2); R_1 и R_2 – радиусы вкладыша и вала ($R_1 - R_2$ – радиальный зазор сопряжения).

Критерий износостойкости и теплостойкости. Для расчета величины износа и температурного режима также известны зависимости [1]. При выборе материала по условию теплостойкости нередко пользуются упрощенным критерием – характеристикой $[pv]$, где v – окружная скорость вала, но этот критерий весьма серьезно критикуется [1, 2]. При увеличении нагрузки на поверхность контакта давление на единичном пятне существенно не изменяется, а увеличивается число пятен контакта, так как условие «нагруженности» на одном пятне контакта сохраняются. В условиях же работы подшипников скольжения со смазкой конечным мерилем тепловой напряженности является температура масляного слоя, а тепловыделение зависит от ряда конструктивных параметров (длина контакта, диаметр) и коэффициента трения, что не учитывается приведенным критерием.

Предлагается для выбора материала вкладышей по характеристикам износостойкости и теплостойкости использовать единый критерий – это минимальное значение работы трения (W_{\min}).

Работа трения определяется следующим выражением

$$W = fPL, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения; P – нагрузка; L – путь трения.

Если выразить нагрузку P через максимальное давление P_{\max} , а путь трения через скорость (v) и время (t), учесть площадь контакта ($S_{пл}$), то:

$$W = fP_{\max} S_{пл} vt, \quad (5)$$

где площадь контакта

$$S_{i\bar{e}} = \frac{2\varphi_0^\circ}{360^\circ} 2\pi R_1 l = \frac{\pi\varphi_0^\circ}{90^\circ} R_1 l, \quad (6)$$

и тогда

$$W = \frac{\varphi_0^\circ}{45^\circ \sin \varphi_0} P v t f. \quad (7)$$

Полученный критерий учитывает практически все конструктивные, нагрузочные и временные параметры. Кроме того, время t работы узла может быть задано необходимым, поскольку отражает ресурс работы подшипника.

Автоматизация выбора материала опор скольжения. В соответствии с предложенной методикой созданы структурная схема и математическая модель автоматизированной подсистемы выбора материалов.

Процесс моделирования выбора материала деталей пар трения можно представить в виде последовательного выполнения нескольких этапов (рис. 2).

Вначале для каждого материала выполняется процедура сравнения входной информации с множеством параметров, характеризующих допустимые значения свойств материалов, которые могут обеспечить функционирование узла трения в заданных условиях.

В результате формируется начальное множество альтернатив, содержащее сочетания «материал–предельно допустимые значения», параметры которых удовлетворяют входным данным. Например, для параметров $\{P_i, T_i, V_i\}$ (P_i – допустимые значения нагрузки, T_i – температуры и V_i – скорости скольжения) входная информация представляется в следующем виде:

$$A = \{ \langle M_k, P_i, T_i, V_i \rangle \mid M_k \in M; P_i < P_B; T_i < T_B; V_i < V_B; \}, \quad (8)$$

где P_B, T_B, V_B – условия функционирования узла трения.

Примером альтернативы может являться сочетание < материал – графит АМС-3, допустимые условия работы: нагрузка $P < 0,5$ МПа, температура $T < 400$ °С, скорость скольжения $V < 1,5$ м/с>.

Дальнейшие шаги моделирования связаны с ранжированием допустимых альтернатив в соответствии с уровнем их предпочтительности в условиях конкретной задачи выбора. На предпочтительности того или иного материала, помимо условий обеспечения требуемых параметров работы узла (нагрузка, температура, скорость скольжения), может влиять целый ряд дополнительных условий (критериев), к которым обычно относят коррозионную стойкость, износостойкость, теплостойкость,

предпочтительность по стоимости изготовления и обработки, прирабатываемость и др. При этом различные альтернативы удовлетворяют каждому из этих условий в разной степени, и увеличение предпочтительности по одному критерию часто ведет к ее уменьшению по другим. Таким образом, для построения процедуры синтеза оценок предпочтительности альтернатив необходимо привлечение методов многокритериального анализа решений, учитывающих данные условия и обладающих свойством устойчивости к неполноте и неопределенности исходной информации. Одним из таких методов является метод анализа иерархий, который и был применен в данной работе [3, 4].

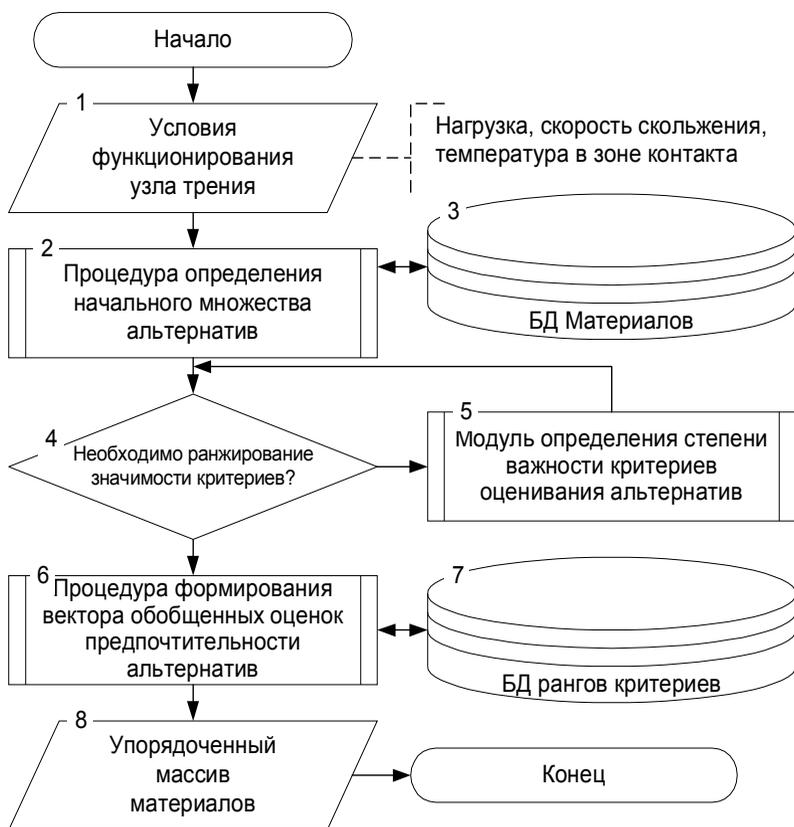


Рис. 2. Блок-схема модуля выбора материалов деталей пар трения-скольжения

Оценивание альтернатив по критериям, имеющим числовое выражение проводится по зависимости:

$$C_i(x) = \frac{C_i(x)}{\sum_{x \in X} C_i(x)}. \quad (9)$$

На заключительном этапе осуществляется иерархический синтез, результатом которого является вектор обобщенных оценок предпочтительности альтернатив $x \in X$. Указанные оценки определяются в соответствии с правилом

$$C(x) = \sum_j \lambda_j C_j(x), \quad (10)$$

где параметр λ характеризует степень относительной важности детализирующих критериев по отношению к детализируемому.

Полученные значения $C(x)$ упорядочивают допустимые альтернативы по степени их предпочтительности в условиях поставленной задачи выбора оптимального материала. Таким образом, в качестве решения задачи можно рассматривать набор $\langle X, \{C(x) \mid x \in X\} \rangle$, где множество X допустимых альтернатив представленных в форме (8).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Трение, изнашивание и смазка: справочник : в 2 кн. Кн. 2 / Под ред. *И.В. Крагельского, В.В. Алисина*. – М. : Машиностроение, 1979. – 358 с.
2. *Орлов П.И.* Основы конструирования : справ.-метод. пособие : в 3 кн. Кн. 2. / *П.И. Орлов*. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1977. – 577 с.
3. *Андрейчиков А.В.* Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения) / *А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова*. – М. : Машиностроение, 1998. – 476 с.
4. *Саати Т.* Принятие решений: метод анализа иерархий / *Т.Саати* : пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1993. – 314 с.

СОРОКИН Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Брянского государственного технического университета, Россия.

Научные интересы:

- процессы механической обработки в машиностроении;
- автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства.

Подано 08.06.2011