

ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ МУФТ

Польченко В.В., Богуславский В.А.
Донецкий национальный технический университет

Сучасні машини працюють при великих потужностях і швидкостях. Частина механічної енергії, що циркулює в машинах, витрачається на тертя, яке завжди супроводжується зносом та відказами. Зменшити знос можна застосуванням конструкторських, технологічних і експлуатаційних засобів. Деякі з них розглядаються у статті.

Развитие техники и машиностроения в частности придало проблеме повышения долговечности большую значимость с точки зрения экономии материальных ресурсов и рабочей силы и приобщило к этой проблеме широкий круг конструкторов, технологов, эксплуатационников и исследователей различных специальностей. Это позволило разработать конструктивные и технологические мероприятия по повышению срока службы машин и создать рациональные методы ухода за ними.

Дальнейшее развитие машиностроения происходит в соответствии с основными направлениями развития машин: концентрацией мощностей, интенсификацией рабочих процессов, автоматизацией. Повышаются параметры деталей машин, разрабатываются детали особо высоких параметров, например, зубчатые передачи, работающие со скоростями 10... 150 м/с и передающие мощность в тысячи киловатт, подшипники для таких же скоростей и для частот вращения до 0,5 млн. в минуту.

При таких параметрах большая часть вырабатываемой механической энергии затрачивается на трение в машинах и технологических процессах. Только механическая энергия, используемая после превращения ее в электрическую энергию, тепловую и на освещение, расходуется без связи с трением. Во многих машинах энергия, расходуемая на трение в механизмах, превалирует над энергией рабочих процессов. Это в первую очередь относится к транспортным машинам, машинам текстильной и легкой промышленности, станкам на отделочных операциях. В рабочих процессах энергия в свою очередь расходуется в большей части на внешнее и внутреннее трение.

Трение обычно сопровождается износом деталей и инструмента. 80-90% деталей машин выбраковывается по износу и основная часть затрат на восстановление работоспособности машин связана с их износом. Процесс трения сопровождается сложным комплексом явлений: взаимодействием контактирующих поверхностей, физико-химическим изменением поверхностных слоев трущихся пар, разрушением (изнашиванием) поверхностей. В связи с существенной дискретностью фрикционного контакта, различием температурного и напряженного состояний в отдельных точках контакта, неравномерностью разрушения контакта все названные выше явления имеют статистическую природу.

Сложный комплекс взаимосвязанных физико-химических явлений, происходящих на поверхностях контактирующих тел (в микро- и макромасштабах) и приводящих к изменению физико-механических свойств материалов в пятнах фактического контакта, действия температурных градиентов, стохастический характер разрушения микрообъемов затрудняют получение полного математического описания основных процессов, влияющих на формирование силы трения, ответственных за механизм и интенсивность процесса изнашивания материалов.

Однако теория и инженерная практика повышения износостойкости и надежности работы трущихся деталей располагает большим количеством важных качественных зависимостей, результатов экспериментальных исследований и наблюдений, использование которых позволяет существенно повысить сроки службы машин.

Рассмотрим вышеизложенное на примерах повышения долговечности зубчатых муфт.

Неисправности агрегатов и машин зачастую связаны с нарушением работоспособности зубчатых муфт. При этом большинство отказов связано с износом зубьев зубчатых муфт, их поломкой или увеличением выше допустимого предела вибраций машины, вызванных увеличенными зазорами в зацеплении муфты.

Важнейшим в вопросе повышения долговечности зубчатых муфт является установление видов разрушения зубьев. Для этого по специально разработанной методике исследовалось состояние поверхностного слоя зубьев муфты после изготовления и эксплуатации в производственных и лабораторных условиях при различных режимах работы муфт. По изменениям характера и величины шероховатости, волнистости поверхности, механических и физических свойств трущейся поверхности, внешнему виду поверхности делался вывод о виде износа, разрушения поверхностей зубьев.

На основании исследований видов разрушения и условий их возникновения разработана классификация основных видов износа зубьев зубчатых муфт, которая на стадии проектирования, после установления основных параметров эксплуатации определяет ведущий вид износа и предусматривает мероприятия по его минимизации [1].

Долговечность зубчатой муфты будет зависеть от износа зубьев. Для зубчатых муфт удобнее пользоваться линейной интенсивностью, представляющей собой толщину слоя изношенного материала зуба h на единицу пути трения L . Для случая пластического контакта И.В. Крагельским получена зависимость для линейной интенсивности на основе молекулярно-механической теории трения [2].

Однако к зубчатым муфтам непосредственно применить указанную зависимость не представляется возможным, потому что она выведена для условий однонаправленного трения скольжения, при котором интенсивность износа ниже, чем при возвратно-поступательном скольжении, что имеет место в зубчатых муфтах.

Учитывая переменность нагрузки на зубьях муфты в пределах контактной зоны и возвратно-поступательное скольжение, линейный износ зуба за один оборот муфты можно определить по зависимости [2], преобразованной к виду

$$h = 2 \frac{K_u}{HB^\gamma} \int_0^{\varphi_k} P_{ai}(\varphi_i) L_i(\varphi_i) d\varphi_i,$$

Где P_{ai} – давление, зависящее от угла положения зуба; HB – твердость материала зуба; K_u – экспериментальный коэффициент, учитывающий микрогеометрию контактирующих тел, условия смазки, напряженное состояние материала; γ - показатель степени зависимости износа от давления и твердости зубьев; φ_k - угол зоны контакта зубьев; φ_i – угол положения зуба.

В результате анализа распределения нагрузки между зубьями установлено, что давление на зубьях в значительной мере зависит от деформаций изгиба, контактного сжатия и перемещения, обусловленного упругой деформацией прилегающей к зубу части обода [3].

На составляющие суммарного перемещения, обусловленные деформациями изгиба и контактного сжатия воздействовать, в смысле их увеличения, не представляется возможным без снижения изгибной и контактной прочности зубьев. Перемещениями, вызванными упру-

гой деформацией прилегающей к зубу части обода можно управлять оптимальной конструкцией ступицы, снижая при этом давление на зубьях и повышая долговечность муфты.

Эксперимент по исследованию распределения нагрузки между зубьями муфты, имеющих различную конфигурацию показал, что изменением жесткости обода можно увеличить число зубьев, передающих нагрузку на 40%, без снижения изгибной прочности.

Благоприятное распределение нагрузки между зубьями муфты, может быть достигнуто также уменьшением ширины зуба втулки и увеличением расстояния между зубчатыми венцами втулок. При этом необходимо учитывать другие факторы, ограничивающие размеры названных параметров. В частности, увеличение расстояния между зубчатыми венцами втулок приводит к увеличению габаритов муфты, хотя при этом возрастает компенсирующая способность муфты.

В процессах изнашивания важную роль играют состояние и свойства тонкого поверхностного слоя деталей машин, от которых зависит характер образования и разрушения вторичных структур. Поверхностный слой формируется при окончательной обработке деталей машин. В настоящее время в машиностроении применяется большое число способов формирования поверхностного слоя деталей. К основным методам, обеспечивающим повышение надежности и долговечности деталей машин, относятся: упрочнение пластическим деформированием, термообработка, наплавка и напыление износостойкого материала на рабочие поверхности деталей, электролитические и химические покрытия, электроискровое упрочнение, покрытие полимерными материалами и т.п. Эти методы дают возможность получать поверхностные слои с нужными эксплуатационными свойствами.

Из перечисленных методов наиболее технологичным для зубьев зубчатых муфт может быть дробеструйный наклёп.

Эксперимент по исследованию влияния режимов обработки на состояние поверхностного слоя были проведены на образцах зубчатых муфт, изготовленных из стали 45. Дробеструйный наклёп повышает твердость поверхностного слоя зубьев на 20... 30%. Изменением времени дробеструйной обработки можно управлять шероховатостью обрабатываемой поверхности и достигать R_a 3,2...6,3 мкм. Исходная шероховатость при этом на окончательную шероховатость не влияет.

Упрочнение поверхностного слоя зубьев муфты дробеструйным наклепом способствует повышению износостойкости рабочих поверхностей, главным образом за счет наклепа. Повышение твердости,

прочности и активизации поверхностного слоя при наклепе способствует установление динамического равновесия разрушения и восстановления вторичных структур. А это оказывает существенное влияние на расширение диапазона нагрузок, при которых происходит нормальный окислительный износ. На образцах зубчатых втулок, предварительно обработанных дробью, при трении в среде смазки индустриальное 30, даже при высоких давлениях (до 890 Мпа) не развивается схватывание I рода и стабильно сохраняется нормальный окислительный износ.

Одним из основных эксплуатационных методов повышения долговечности зубчатых муфт является применение смазочных материалов по физическим и химическим свойствам соответствующих условиям работы зубчатых муфт. Параметры трения между зубьями муфты не обеспечивают создания устойчивого масляного клина. Поэтому для снижения износа в процессе трения должны непрерывно создаваться разделительные вторичные структуры, экранирующие непосредственное взаимодействие твердых тел.

Максимальный эффект функционального назначения смазочной среды достигается при применении масел с присадками. При этом возникает возможность управления процессами трения износа, создание устойчивого протекания процессов.

Проведенные эксперименты показали, что присутствие ПАВ в смазочной среде снижает износ зубьев. Хорошие противоизносные свойства показали присадки с серой. Серные присадки создают на трущихся поверхностях металлов пленки сульфидов, для которых характерна высокая твердость, прочность и температура плавления. Сульфиды образуются при температуре порядка 200° С, поэтому антизадирный эффект этих присадок может проявляться только при высоких температурах. Так как температура в зоне трения зубьев не повышается выше 150° С, то полностью противозадирные свойства серных присадок не проявляются.

Самые хорошие противозадирные и противоизносные свойства показали присадки с хлором. Хлорные присадки образуют на трущихся поверхностях металлов пленки хлоридов. Они также образуются при высоких температурах, но ниже чем сульфиды, а именно при температуре примерно 150° С, что соответствует температуре на площадке контакта зубьев. Пленки хлоридов железа характеризуются пластинчатой структурой, что обеспечивает малое сопротивление сдвига и низкий коэффициент трения.

Литература:

1. Польшенко В.В., Михайлов А.Н. Износ в зубчатых муфтах. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 1997. Вып. – с. 131-135.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968.
3. Польшенко В.В., Соловей А.В. Распределение нагрузки между зубьями зубчатой муфты. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 1998. Вып. 5 – с. 177-181.