

# Лучше смазка — легче ход

Высокомощное масло снижает потери мощности в трансмиссии

*Штеффен Хомберг*

*С ростом общих требований к трансмиссии от отдельных деталей также требуется повышенная эффективность и долговечность. Это в равной степени относится к используемым смазочным материалам. Немецкий производитель выпустил на рынок высокомощное трансмиссионное масло, способное адаптироваться к переменному коэффициенту нагрузки на зубья в зацеплении. Научные исследования и практические испытания показали, что при использовании этого масла достигается коэффициент полезного действия трансмиссии выше обычного; одновременно с этим в трансмиссии значительно снижаются потери мощности.*



Смазочные материалы призваны удовлетворять множество различных потребностей, обеспечивая при этом высокую производительность, максимальную надежность, гибкость и длительный срок эксплуатации. Любая экономия энергии дает дополнительное преимущество. Поэтому разработка трансмиссионных масел, рассчитанных на тяжелые условия эксплуатации, представляет особую задачу для каждого производителя смазочных материалов: ведь предстоит выбрать наиболее подходящую основу и сформировать комплекс сочетающихся присадок, которые в совокупности и придают маслу все нужные свойства.

## Основа как фактор влияния

Выбор основы масла и его вязкости определяет, среди прочего, то, подходит ли смазочное масло для той или иной температуры эксплуатации. Минеральные масла, к

примеру, малопригодны для эксплуатации при температурах значительно ниже 0 °С, поскольку их точка застывания (потери текучести) лежит именно в этой области температур. Поэтому, особенно для тех сфер применения, где возможны перепады температуры, предпочитают синтетические продукты. Они охватывают широкий диапазон рабочих температур и, несомненно, являются оптимальной смазкой как в редукторах ветровых турбин, эксплуатируемых при низких температурах окружающей среды, так и в редукторах промышленных агрегатов, работающих при высоких температурах.

Индекс вязкости (VI) синтетических масел зависит от основы масла и составляет, как правило, около 140, но может быть и значительно выше. Для масел на минеральной основе VI составляет примерно 90—100. Правило здесь следующее: чем выше VI масла, тем меньше энергии при одной и той же условной плотности расходуется на холодный пуск и работу при низких температурах окружающей среды.

Все смазочные материалы стареют в процессе эксплуатации. Молекулы масла реагируют с ки-

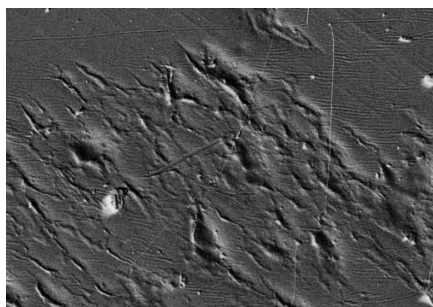
слородом и окисляются. Тем не менее, синтетические масла, как правило, выдерживают более длительный срок службы, поскольку имеют более устойчивую молекулярную структуру, чем минеральные масла. Кислород не способен разрушать их столь же легко.

Благодаря особой молекулярной структуре при тщательном выборе синтетической основы масла можно добиться снижения коэффициента трения готовой смазки.

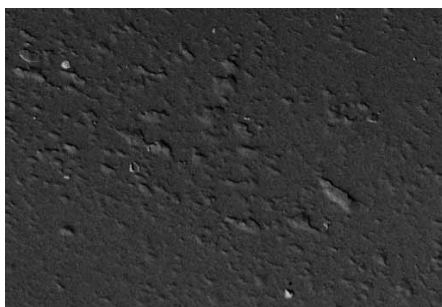
## Все дело в присадках

Повышенные требования, предъявляемые к трансмиссии (компактное исполнение, значительно повышенная способность выдерживать нагрузки, непрерывная эксплуатация и высокое давление, приходящееся на шестерни и подшипники) нельзя удовлетворить только лишь за счет выбора основы масла. Здесь, очевидно, наступает очередь присадок. Активные добавки и присадки в зависимости от объекта и способа воздействия можно разделить на поверхностно-активные и «флюидактивные», т.е. влияющие на свойства жидкости в массе.

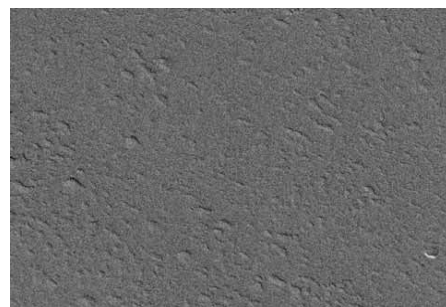
**Инженер Штеффен Хомберг** работает в фирме Addinol Lube Oil GmbH менеджером по производству высокомоющих смазочных материалов промышленного назначения.



Илл. 02. 100 мкм высок.напр. = 10.00 кВ  
рабоч. расстояние = 19 мм



Илл. 03. 100 мкм высок.напр. = 10.00 кВ  
рабоч. расстояние = 22 мм



Илл. 04. 100 мкм высок.напр. = 10.00 кВ  
рабоч. расстояние = 41 мм

Илл. 2—4: на боковых поверхностях зубьев трансмиссии ветрогенератора при заливке обычного трансмиссионного масла типа CLP спустя некоторое время были обнаружены явные признаки микроточечной коррозии. После перехода на масло Eco Gear были отмечены изменения поверхности.

**Поверхностно-активные добавки и присадки**, в свою очередь, можно разделить на следующие категории:

- Так называемые противозадирные присадки (типа EP), а также противоизносные присадки (типа AW) — это добавки, повышающие несущую способность механических частей и предохраняющие их от износа. Их действие основано на том, что на металлических поверхностях смазываемых узлов образуется чрезвычайно тонкий защитный слой. В процессе формирования активного противозадирного слоя происходит адаптация к шероховатости поверхности. Тем самым в зоне контакта повышается предел допустимой механической нагрузки. Присадки типа EP и AW снижают эрозию материала и опасность задиров (при местном заедании

или заклинивании), особенно при эксплуатации в тяжелых условиях.

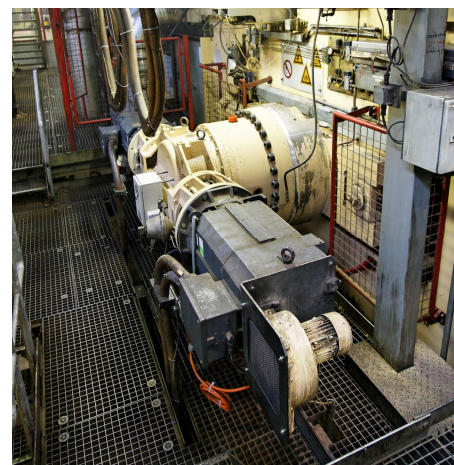
- Антикоррозийные присадки (ингибиторы коррозии), предохраняющие металлические поверхности от коррозии и ржавления.

- Наконец, присадки типа PD (промоторы пластической деформации) применяются для сглаживания неровностей и дефектов поверхности, а также для уменьшения трения качения и скольжения в местах контакта.

**«Флюидактивные» присадки** также можно классифицировать по группам:

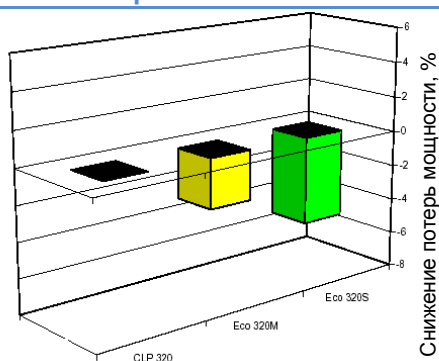
- Антиоксиданты, предохраняющие масло от преждевременного старения.

- Депрессоры застывания, растягивающие или сдвигающие температурный интервал, в ко-



Илл. 5: для привода ленточного конвейера, используемого в деревообрабатывающей промышленности, после перехода на высокомоющееся трансмиссионное масло Eco Gear 320 S рабочая температура упала в среднем на 7—10 °С.

### Eco Gear в сравнении



На практике часто встречаются изменяющиеся рабочие условия, из-за чего преимущества масла Addinol Eco Gear проявляются по-разному. Так, например, в обычном ветрогенераторе мощностью 1,5 МВт с планетарной передачей и двумя цилиндрическими передачами снижение потерь мощности в номинальном режиме работы при использовании Eco Gear 320 M составляет около 3 %, а при

использовании Eco Gear 320 S — около 5 % по сравнению с обычными маслами CLP, изготовленными на основе минеральных масел. В то время как Eco Gear 320 S не оказывает в сравнении с обычным маслом CLP существенное влияние на потери при холостом ходе, но потери, связанные с переменной нагрузкой, могут быть снижены на 41 % (см. илл.). В целом при использовании Eco Gear достигаются значительно более высокие показатели эффективности по сравнению с CLP 320. В зависимости от температуры значительного понижения коэффициента трения и потерь можно достичь и в области граничного трения.

тором происходит кристаллизация и загустевание масла. Это позволяет повысить текучесть при низких температурах.

- Присадки для улучшения вязкотемпературных свойств (стабилизаторы VI), повышающие индекс вязкости масла.

- Ингибиторы пенообразования (пеногасители), затрудняющие образование водно-воздушной пены, благодаря чему вода быстрее отделяется от масла.

Компанией ADDINOL Lube Oil GmbH разработан специальный комплекс присадок Surftec®. Этот комплекс приспособлен к переменным нагрузкам на зубчатые передачи и «дружит» с трансмиссией. Данный комплекс противоизносных присадок также входит в состав различных сортов промышленных трансмиссионных масел Addinol Eco Gear, применяемых, в частности, в цементной, целлю-



лозно-бумажной, сахарной промышленности, а также в трансмиссиях, используемых на судах или в ветрогенераторах.

Сорт масла Eco Gear M создан на минеральной основе, сорт Eco Gear S — на основе синтетических масел. Оба масла препятствуют образованию серых пятен на макро- и микроуровне, а также повышают сопротивляемость абразивному износу и надежно защищают материал от эрозии и усталости. Доля несущей поверхности, даже поврежденной, может быть снова увеличена благодаря сглаживанию.

### Подтверждено практикой...

Вот пример: на боковых поверхностях зубьев трансмиссии ветрогенератора при заливке обычного трансмиссионного масла типа CLP спустя некоторое время были обнаружены явные признаки микроточечной коррозии. После перехода на масло Eco Gear были отмечены изменения поверхности. Для этого с боковых поверхностей зубьев были сняты слепки и подвергнуты анализу под сканирующим электронным микроскопом.

■ Спустя три месяца после смены масла под сканирующим электронным микроскопом по-прежнему были заметны вполне отчетливые шероховатости и выкрошенные участки (илл. 2).

■ Спустя 25 месяцев состояние поверхности значительно улучшилось. Выкрошенные ранее участки сгладились. Острые кромки практически исчезли (илл. 3).

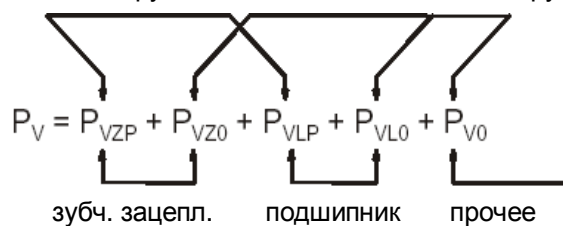
■ Спустя 36 месяцев под сканирующим электронным микроскопом была видна почти идеально сглаженная поверхность. Новых повреждений не обнаружено (илл. 4).

Расчеты с использованием программы САПР WTplus показали, что для промышленных трансмиссий, эксплуатируемых с применением масла ADDINOL Eco Gear, рабочая температура ниже при-

**6: В научно-исследовательском центре FZG при Мюнхенском техническом университете можно рассчитать потерю мощности и КПД трансмиссии.**

### Влияние смазочного вещества на потери мощности и КПД в зубчатой передаче

связанные с нагрузкой      не связанные с нагрузкой



- вязкость      потери при холостом ходе, состояние смазки
- баз. масло      потери при нагрузке, коэфф. трения при эласто-гидродинамическом и смешанном трении
- присадки      потери при нагрузке, коэфф. трения при смешанном и граничном трении

мерно на 2 °С. Однако на практике в некоторых случаях было зарегистрировано гораздо большее снижение температуры. Для привода ленточного конвейера (илл. 5), используемого в деревообрабатывающей промышленности и оборудованного трансмиссией производства Moventas, после перехода на масло ADDINOL Eco Gear 320 S рабочая температура упала в среднем на 7—10 °С. Из этих практических данных следует вывод: низкая рабочая температура указывает на уменьшение трения благодаря свойству смазки. Благодаря технологии Surftec® достигается повышенный КПД и срок эксплуатации, превосходящий средние показатели.

### ...и доказано наукой

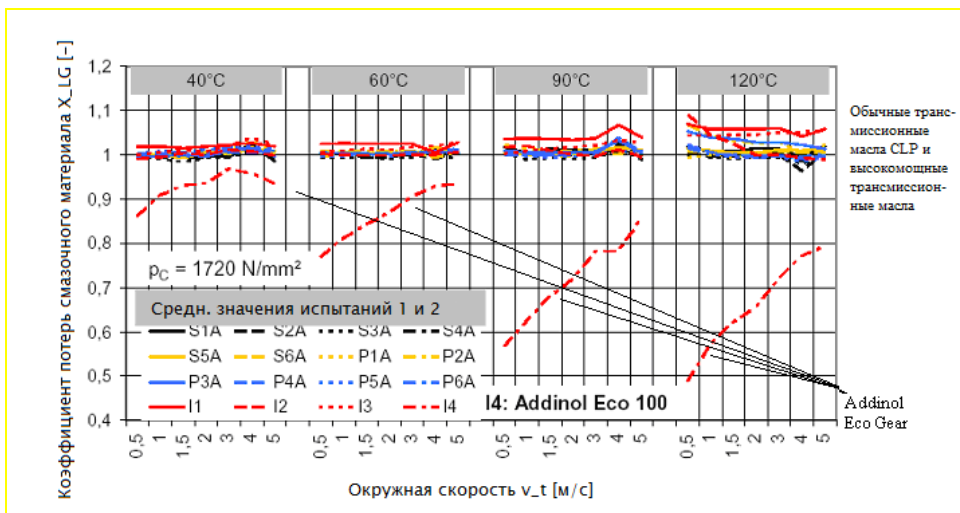
Для теоретического подтверждения этих результатов в «Научно-исследовательском центре зубчатых передач и трансмиссии» (FZG, Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau) при Мюнхенском техническом университете под руководством доктора технических наук проф. Б. Хёна и доктора технических наук К. Михаэлиса были проведены обширные исследования эффективности (КПД). Эффективность определяли на модифицированном испытательном стенде FZG. Условия испытаний охватывают широкий диапазон условий эксплуатации, встречающихся на практике. Основываясь на результатах испытаний эффективности согласно указаниям FVA 345 – E-C/0,5:20/5:9/40:120, по спе-

циальным методикам можно рассчитать потерю мощности и КПД трансмиссии (илл. 6).

В рамках проекта DGMK (отчет № 608) были проведены сравнительные исследования на различных эталонных маслах и модельных средах с разнообразными добавками (P и S) и на различной основе (минеральное масло и полиальфолефины (PAO)).

Трансмиссионное масло ADDINOL Eco Gear 100 M при всех изученных условиях обеспечивает наименьшие потери мощности по сравнению с эталонным маслом (илл. 7). При этом преимущества масла еще более возрастают по мере уменьшения толщины пленки (с повышением температуры и со снижением окружной скорости). Уже при температуре смазки 40 °С потери мощности можно снизить на целых 14 %. Данное свойство особенно отчетливо проявляется при самых высоких исследованных температурах (120 °С), когда снижение потерь мощности по сравнению с эталонным маслом может достигать 50 %.

Подытожим: эффект от снижения трения благодаря применению высокомоментного трансмиссионного масла наиболее ощутим при неблагоприятных условиях эксплуатации. Как свидетельствуют данные центра FZG, применение масла сорта Eco Gear позволяет добиться таких же показателей эффективности, какие ранее были достижимы только при использовании эластогидродинамической смазки (EHD).



7: В рамках проекта DGMK институт FZG провел сравнительные исследования. В них трансмиссионное масло Eco Gear 100 M при всех изученных условиях показало наименьшие потери мощности по сравнению с эталонным маслом.

Перевод статьи «Gut geschmiert läuft besser», опубликованной в немецком журнале «Antriebstechnik», 5/2010, стр. 28—30.