

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

А.В. Баранов, В.А. Вагнер, С.В. Тарасевич

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул, Россия

Большинство способов управления долговечностью узлов трения может быть достаточно эффективно использовано только при их конструировании. Однако конструктивные изменения в узлах машин, уже находящихся в эксплуатации, сопряжены с большими затратами средств и времени. Более универсальным (и практически единственным в условиях эксплуатации машин) способом повышения долговечности узлов трения является применение более эффективных смазочных сред.

В настоящее время в распоряжении конструкторов и эксплуатационников механического оборудования имеется широкая номенклатура смазочных материалов (более 300 наименований, только отечественных), однако существующие рекомендации по их практическому применению являются недостаточно корректными.

В машиностроении все более широкое применение находят металлонаполненные (металлоплакирующие) пластичные смазочные материалы (МПСМ), позволяющие значительно улучшать триботехнические свойства смазываемых ими сопряжений. МПСМ были апробированы практически во всех областях машиностроения. В некоторых случаях благодаря использованию МПСМ удавалось получать практически безыносные пары трения. Однако, следует заметить, положительный эффект достигался далеко не всегда. Во многих случаях применение МПСМ приводило к противоположному эффекту – к катастрофическому изнашиванию и заеданию. В настоящее время имеются лишь отдельные механические системы, в которых эффективность использования этих смазочных материалов проявляется в полной мере.

Известно также, что попытки использования МПСМ на ряде узлов трения, и стандартные испытания на четырехшариковой машине трения (ЧШМ), по понятной нам причине, показали крайне отрицательные результаты. Это, в известной мере, привело к сдерживанию темпов использования указанных смазочных материалов. Причиной тому является отсутствие научно обоснованных рекомендаций об областях эффективного

использования МПСМ в различных по конструктивному построению узлах трения. Разработка таких рекомендаций является целью настоящего исследования.

Создать универсальный смазочный материал, обладающий хорошими трибологическими свойствами в различных условиях эксплуатации, представляется нам задачей сложной и практически вряд ли осуществимой. Выбор типа смазочного материала для конкретных типов узлов трения необходимо осуществлять с учетом физико-химических процессов, протекающих в зоне фрикционного контакта.

К металлоплакирующим смазочным материалам относятся такие, которые обеспечивают получение на поверхностях трения защитные мягкометаллические пленки, регенерирующиеся по мере их износа. В результате образования этих пленок может обеспечиваться высокая износостойкость.

Первой стадией металлоплакирования является процесс адгезионного взаимодействия частиц металла-наполнителя, находящегося в смазочном материале, с поверхностями трения. Последнее возможно только тогда, когда на взаимодействующих поверхностях отсутствуют окисные соединения. Отсюда следует, что образование защитной пленки металла будет определяться характером окислительно-восстановительных реакций, протекающих в зоне трения. Исходя из этого, можно заключить, что изменение внешних условий должно приводить к сдвигу равновесия данного процесса к усилению или уменьшению эффекта металлоплакирования.

В качестве доказательств последнего вывода приведем результаты сравнительных испытаний пар торцевого трения (сталь 45 + сталь 45) в условиях окружавшего атмосферного воздуха и в вакууме. Смазывание испытываемых трибосопряжений осуществлялось пластичными смазочными материалами: Литол 24 и Литол 24 + 10 мас.% мелкодисперсного порошка меди (ЛМ10). Результаты испытаний приведены на рисунке 1.

В ходе проведения экспериментов было установлено, что при вакуумировании рабочей камеры интенсивность изнашивания ис-

питанных трибосопряжений снижалась, как это и характерно для нормального механохимического (окислительного) изнашивания. Причем для пары трения, смазываемой МПСМ, это снижение оказалось более существенным (более чем в 20 раз). В условиях вакуумирования трущиеся поверхности, смазываемые МПСМ, покрывались сплошной пленкой меди толщиной порядка 1 мкм, в то время как в атмосферных условиях наблюдались лишь незначительные "островки" меди толщиной порядка 4 мкм (рисунок 2).

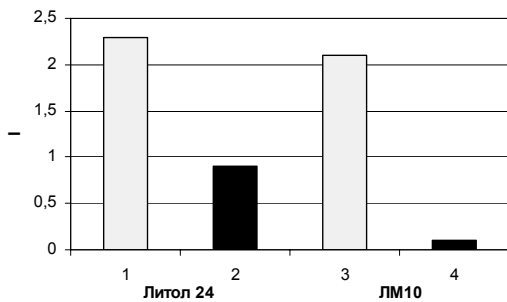


Рисунок 1 – Влияние вакуума на интенсивность изнашивания ($I \cdot 10^{-10}$) сопряжения сталь 45–сталь 45; темные столбцы – трение в условиях вакуума ($1,33 \cdot 10^{-1}$ Па)

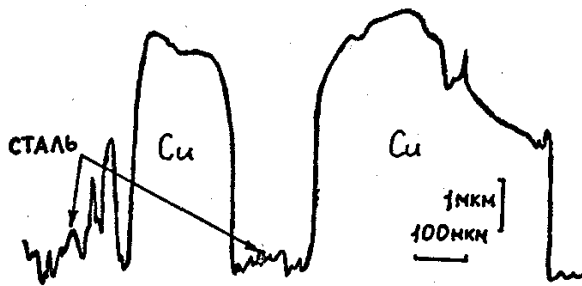


Рисунок 2 – Профилограмма поверхности трения при работе сопряжения в условиях атмосферного давления. Смазочный материал: ЛМ10

При этом, как показали замеры микротвердости поверхностей трения, такие медные образования находились в сильно упрочненном состоянии (~ 250 HV), что является отрицательным фактором для фрикционной поверхности.

При проведении испытаний было также установлено, что в вакууме коэффициент трения трибосопряжения, смазываемого МПСМ, увеличивался в 1,25– 1,4 раза, а при его смазывании материалом Литол 24, напротив, несколько снижался (рисунок 3).

Полученные результаты можно интер-

претировать следующим образом. При трении металлов с использованием смазочного материала Литол 24, содержащего достаточное

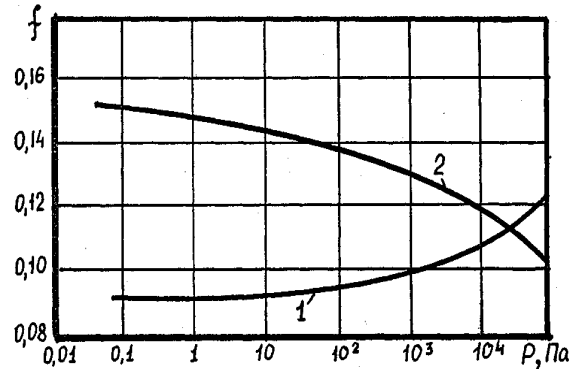


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента трения f трибосопряжения от давления окружающей среды P . Нагрузка $p_a = 2,5$ МПа, скорость скольжения 0,3 м/с, смазочный материал: 1 – Литол 24, 2 – ЛМ10

количество кислорода, реализуется режим окислительного изнашивания. Вакуумирование рабочей камеры снижает концентрацию растворенного кислорода. В результате этого уменьшается скорость окислительных процессов, что, в свою очередь, и приводит к снижению интенсивности окислительного изнашивания.

Результаты исследований показывают, что при трении с использованием смазочного материала ЛМ10 наблюдаются аналогичные явления. Однако происходит более существенное снижение интенсивности изнашивания. В последнем случае замедление окислительных процессов на поверхностях стали и частиц металла-наполнителя создает условия для их адгезионного взаимодействия с образованием защитных пленок. Об этом свидетельствуют и визуальные наблюдения. Пленки мягкого металла в условиях высоких фактических давлений пластически деформируются, что неизбежно приводит к нарушению окисных образований, вырастающих на мягкометаллическом слое. Образование неокисленных зон на поверхностях сопряженных тел создает предпосылки к возникновению ювенильных контактов и перехода внешнего трения во внутреннее, локализованное, однако, в защитном слое пленки. Это, вероятно, и является причиной увеличения коэффициента трения при высокой износостойкости.

Следующий эксперимент был проведен с целью исследования кинетики изнашивания

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

трибосопряжений при их смазывании ограниченным количеством смазочного материала (Литол 24 и ЛМ10). Испытания проводились на машине реверсивного трения при давлении в контакте 2 МПа.

Как видно из рисунка 4, эффективность снижения интенсивности изнашивания при использовании МПСМ наблюдается лишь в первые 300 м пути трения. При большем пути трения, износные характеристики сравниваемых трибосопряжений оказались практически одинаковыми. В начальной зоне графика при применении МПСМ износ оказывается отрицательным (восстановление поверхности), что является рекламным фактором для некоторых производителей «чудодейственных металлоплакирующих присадок». Последнее выражается во временном повышении компрессии в ДВС и т.д. Однако эффект кратковременен и на ресурс влияет слабо.

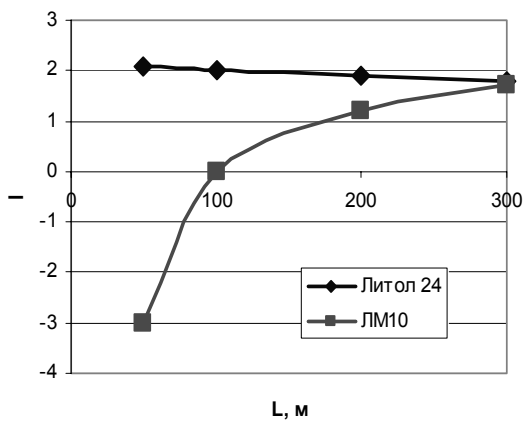


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности изнашивания ($I \cdot 10^{-10}$, весовой метод) от пути трения

Таким образом, для обеспечения высокой износостойкости пар трения, смазываемых МПСМ, необходимо подавлять в зоне трения окислительные процессы с целью интенсификации процесса металлоплакирования. Иными словами, эффективность смазочного действия базовых пластичных смазочных материалов проявляется при концентрации растворенного в них кислорода не менее концентрации диссоциации окислов Скр, а металлонаполненных – при C близким к 0.

Подавление окислительных процессов с целью повышения износостойкости трибосопряжений, смазывавшее МПСМ, оказывается возможным путем создания в зоне трения вакуумных условий. Как было показано ранее, такой способ повышения износостой-

кости до некоторой степени приемлем и для трибосопряжений, смазываемых смазочным материалом без металлических наполнителей. Однако глубокое вакуумирование таких трибосопряжений приведет к адгезионному схватыванию трущихся поверхностей. В случае использования МПСМ, благодаря образованию на трущихся поверхностях защитных металлических пленок, вакуум не приведет к катастрофическому изнашиванию, а лишь вызовет переход сдвиговых процессов в защитную пленку.

Известно, что условия близкие к вакуумным, в зоне фрикционного контактирования, возникают не только при низких давлениях окружающей среды, но и в случае, когда коэффициент перекрытия трибосопряжений достаточно велик. При этом концентрация кислорода зависит как от конструкции трибосопряжения, так и от режимов трения. Следовательно, от этих же факторов будет зависеть и целесообразность использования тех или иных смазочных материалов.

Экспериментальные исследования по оценке зависимости интенсивности изнашивания от коэффициента перекрытия осуществлялись на машине торцевого трения при $p_a = 2$ МПа и $V = 0,2$ м/с. Образцы - сталь 45, смазывание осуществлялось базовым пластичным смазочным материалом Литол 24, МПСМ ЛМ10 и оловосодержащим смазочным материалом ЛО10 (Литол 24+10 мас.% порошка олова). Данные испытаний приведены на рисунке 4.

На рисунке 5 можно выделить, по крайней мере, четыре области, в рамках которых применение тех или иных смазочных материалов наиболее рационально.

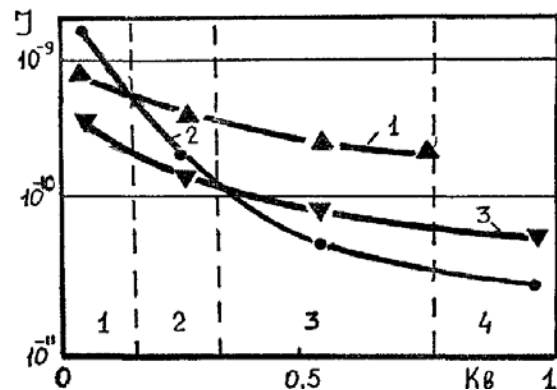


Рисунок 5 – Зависимость интенсивности изнашивания от коэффициента перекрытия K_B . Смазочный материал: 1 – Литол 24, 2 – ЛМ10, 3 – ЛО10.

При $K_b < 0,125$, что свойственно для высших кинематических пар и точечного контакта, самые худшие противоизносные свойства показал металлоплакирующий смазочный материал ЛМ10. Кроме того, при его использовании наблюдалась значительная склонность трущихся поверхностей к заеданию, механизм плакирования отсутствовал. Это можно объяснить следующим.

При малом коэффициенте перекрытия и достаточно высокой концентрации кислорода в смазочном материале равновесие окислительно-восстановительных процессов смещается в сторону окисления. Интенсификация окисления поверхностей частиц меди и поверхностей трения препятствует их адгезионному взаимодействию. В результате этого незакрепленные частицы меди при многократном передеформировании в контакте трущихся тел упрочняются и начинают играть роль абразива. Об этом свидетельствует отсутствие медной пленки на поверхностях трения и присутствие на них медных частиц, плохо связанных с основой и имеющих высокую микротвердость.

Хорошие противоизносные свойства ЛМ10 в этой области коэффициентов перекрытия объясняются тем, что олово - неупрочняемый материал и твердость частиц олова всегда меньше твердости поверхностей трения.

Во второй области (см. рисунок 5) смазочные свойства МПСМ ЛМ10 значительно улучшаются. На поверхностях трения образуются пятна пленок меди (рисунок 6). В третьей и четвертой областях коэффициентов перекрытия фрикционные поверхности покрываются пленкой почти полностью (рисунок 7). Износостойкость трибосопряжений при этом становится наиболее высокой. Типичная картина металлоплакирования оловом представлена на рисунке 8.

При использовании МПСМ ЛМ10 механизм плакирования реализуется во всех четырех областях коэффициентов перекрытия, однако с увеличением K_b толщина плакирующей пленки уменьшается и увеличивается площадь покрытия. При этом износостойкость трибосопряжений возрастает.

В четвертой области пары трения, смазываемые базовым смазочным материалом, оказались неработоспособными.



X 90

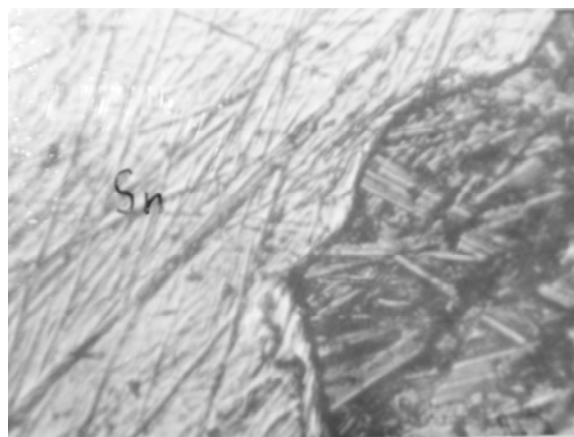
Рисунок 6 – Внешний вид поверхности трения при работе узла трения со смазочным материалом ЛМ10. $K_b=0,25$



X 50

X 600

Рисунок 7 – Внешний вид поверхности трения при работе узла трения со смазочным материалом ЛМ10, $K_b=1$



X 600

Рисунок 8 – Внешний вид границы металлоплакирования оловом

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

Поскольку фактором, определяющим формирование поверхностных пленок (как окисных, так и защитных металлических), является количество кислорода в смазочном материале, уменьшающееся с увеличением коэффициента перекрытия сопряжений, то его величина (средняя по времени) и будет определять границы этих областей. Метод определения средней концентраций окислителя в смазочном материале нам известен. Границы областей рисунка 5 соответствуют значениям концентраций кислорода 0,28; 0,24; $2,4 \cdot 10^{-2}$ моль/м³. Следует также отметить, что схватывание 1 рода в трибосопряжениях, смазываемых МПСМ, $K_b = 1$ не наблюдается при достаточно больших номинальных давлениях.

На основании проведенных исследований, могут быть даны следующие рекомендации по применению базовых и металлонаполненных смазочных материалов.

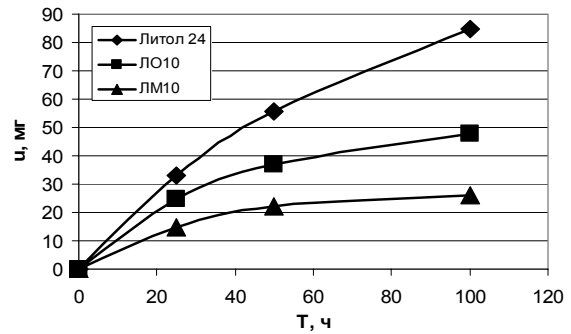
В открытых парах трения (зубчатые передачи, кулачковые механизмы и т.д.), как в тяжело нагруженных, так и в легко нагруженных, медьсодержащие МПСМ применять не рекомендуется. В этом случае наибольшую износостойкость может дать МПСМ, содержащий олово.

В закрытых парах трения (направляющие скольжения, тяговые цепи, подвижные шлицевые соединения) инактивный базовый смазочный материал использовать нежелательно. Наибольшая износостойкость в этом случае может быть достигнута при использовании МПСМ с медным наполнителем.

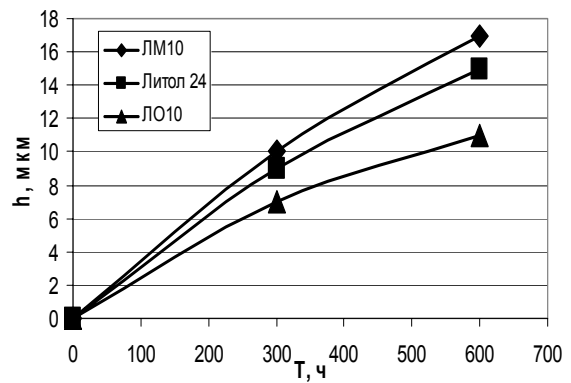
В парах трения, занимающих промежуточное положение между открытыми и закрытыми (направляющие скольжения), рекомендуется использовать в тяжело нагруженных - медьсодержащий МПСМ, в легко нагруженных - оловосодержащий МПСМ или базовый.

При пониженных давлениях окружающей среды (например узлы трения летательных аппаратов) или при работе трибосопряжений в инертных средах предпочтение следует отдавать МПСМ.

Рекомендуется также использовать МПСМ в узлах трения, поверхности которых склонны к схватыванию I рода (холодный задира).



а)



в)

Рисунок 9 – Весовой износ валиков тяговой цепи (а) и линейный износ зубчатых колес (в) в функции времени

С целью подтверждения выводов о различной эффективности смазочного действия базового и металлонаполненного смазочного материала в открытых и закрытых узлах трения были проведены исследования износостойкости зубчатых передач (K_b^{-0}) и шарниров разборных тяговых цепей (K_b^{-1}). Результаты испытаний приведены на рисунке 9.