

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Бойко Владимир Михайлович, Физулаков Роман Анатольевич

Россия, Комсомольск-на-Амуре, ОАО «КнААПО»

fizulakov@rambler.ru

Функциональные качества деталей, а также и самих изделий во многом зависят от функциональных свойств поверхностей этих деталей. Потери энергии перемещения деталей в работе устройства зависят от трения поверхностей. Коррозия машин начинается с поверхности их деталей. И наконец, дизайн устройств во многом определяет состояние их поверхности. Отделке поверхности уделяется большое внимание в технологии изготовления деталей. Любая технология изготовления заканчивается упрочнением и нанесением на поверхность органического или металлического покрытия. Одним из современных видов покрытий, имеющих многофункциональное назначение, является эпиламирование.

Процесс эпиламирования заключается в нанесении на поверхность пленок поверхностно-активного вещества (ПАВ) из раствора. На поверхности изделия после испарения образуется тонкая пленка, 40-100 Å (ангстрем) ПАВ [1].

Термин «эпилам» изначально определял составы веществ, которые применяли для нанесения в узлах трения для предотвращения вытекания масла из области контакта. Эпиламы известны с 20 годов XX века, но результаты их применения не были эффективны. В 70 годы в результате совершенствования составов удалось добиться более высоких результатов. Широкое применение в мировой практике получили эпиламы марок – эфрен-1, эфрен-5 (СССР); филмс, парален (США); аретол, фиксадроп-Б (Швейцария); стоп-ойл (Япония) и др. Все они имели существенный недостаток - температура эксплуатации не более 200 °С.

Позднее, в Государственном институте прикладной химии, г. Санкт-Петербурге, были разработаны новые эпиламы с ПАВ на основе соединений с полным или частичным замещением атомов водорода в гидрофобных радикалах атомами фтора. Эти эпиламы представляют собой растворы фторсодержащих ПАВ в легкоиспаряющихся растворителях.

При нанесении раствора на поверхность объекта обработки, происходит ориентированная адсорбция ПАВ, при этом обеспечивается структура покрытия, в которой полярная часть молекулы адсорбируется поверхностью, а гидрофобная направлена от неё. В результате высокая поверхностная энергия тела объекта заменяется на низшую поверхностную энергию гидрофобного радикала ПАВ. В качестве растворителя в большинстве растворов используется хладон.

Благодаря высокой проникающей способности раствора, эпилам проникает в микротрещины и поры, выгоняя влагу и атомарные O₂, H₂, которые являются концентраторами напряжений и заполняют вершины микротрещин [2].

Наибольшее применение, из разработанных НПХ ГИПХ, нашли следующие составы: 6 СФК-180-05, эфрен К марка Н2, фамизон.

Позднее в НИИ Часпроме был разработан ряд эпиламирующих составов использующих в качестве растворителя спирты. Применение спирта позволило увеличить толщину покрытия. Разработано 9 составов различного назначения [3].

Все эпиламы имеют многофункциональные свойства:

- снижение коэффициента трения;
- снижение поверхностной энергии;
- предохраняет поверхности от проникновения влаги;
- предохраняет металлические поверхности от коррозии;
- хорошо удерживается на поверхности различных материалов;
- предотвращает адгезию к поверхности других (лакокрасочных) покрытий и загрязнение;
- имеет незначительную толщину (40...100Å) и бесцветно.

Но каждая марка эпилама в отдельности имеет выраженные свойства в соответствии с предназначением. Так эпиламы 6СФК-180-05, 3МП-1...3МП3 снижают коэффициент трения в

2...10 раз, хорошо удерживают смазку, имеют высокую проникающую способность. Основное их назначение – уменьшение налипания материала и износа инструмента при механической обработке режущим и деформирующим инструментом [4, 5], а также износа деталей подвижных механизмов.

Изменение поверхностных свойств веществ можно проследить на простом опыте. На одну половину поверхности образцов нанесли эпилам, а другая осталась без покрытия. На обе части образцов нанесли одинаковые капельки жидкостей: минерального масла (рис.1 а) и подкрашенной воды (рис. 1 б). Выявлено, что обе жидкости идентично проявляют свои реологические свойства. В горизонтальном положении поверхности образца они образуют не одинаковый мениск. На эпиламированной поверхности капля растекается, образуя мениск с малой кривизной и углом смачивания больше 90° , а при слиянии капли образуют единый объём. На не покрытой эпиламом поверхности капли имеют большую высоту и угол близкий к 90° , а при слиянии стремятся сохранить свою форму. При наклоне образца на 30° капли на эпиламированной поверхности скользят баз смачивания и закрепляются задним фронтом за линию раздела покрытия. Капли на не покрытой поверхности при наклоне на 30° остаются неподвижными и начинают двигаться по наклону при угле в 2 раза большем, смачивая поверхность тонким слоем жидкости. Мерой смачивания в соответствии с законом Кассье считается величина $\cos \alpha$ (рис. 2), определяемая по уравнению:

$$\cos \alpha = \frac{\sigma_{Т-Г} - \sigma_{Т-Ж}}{\sigma_{Ж-Г}},$$

где: α – краевой угол смачивания; $\sigma_{Т-Г}$ – поверхностный потенциал (ПП) на границе раздела «твердое тело – газ»; $\sigma_{Т-Ж}$ – ПП на границе раздела «твердое тело – жидкость»; $\sigma_{Ж-Г}$ – ПП на грани раздела «жидкость – газ»;

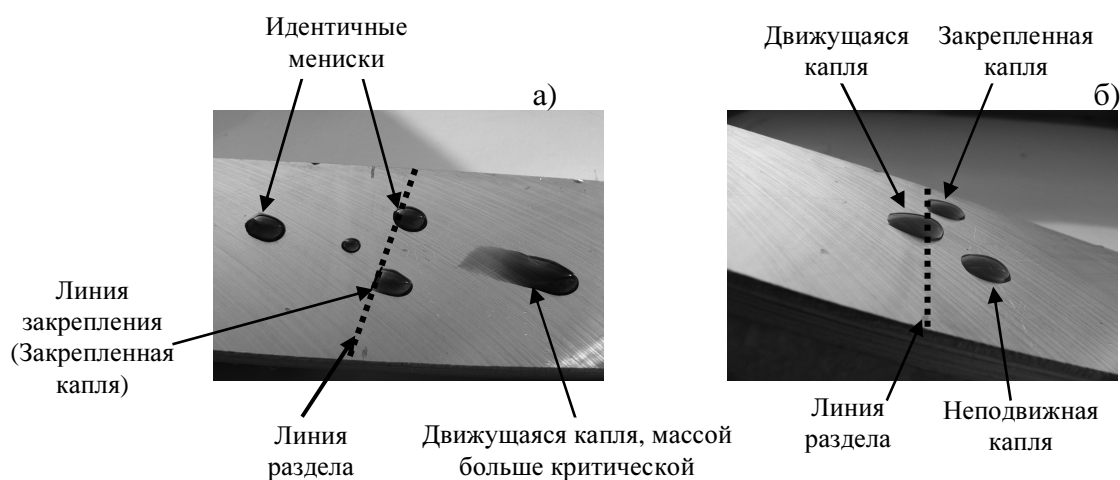


Рисунок 1. Изменение реологических свойств жидкостей.
а) минеральное масло, б) подкрашенная вода

Плоская поверхность капли и большой угол смачивания характеризуют случай называемый явлением отсутствия смачивания и не смачивания. При этом поверхностная энергия $\sigma_{Т-Ж}$ становится близкой к $\sigma_{Т-Г}$. Жидкость приобретает возможность к повышенной подвижности по твёрдой поверхности.

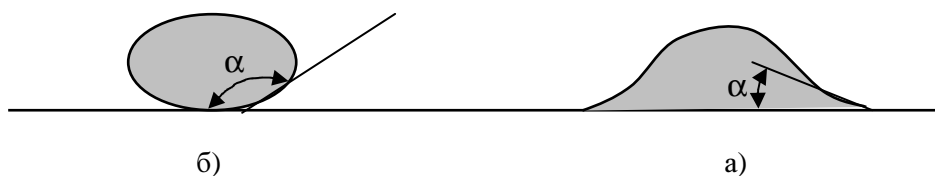


Рисунок 2 – Угол смачивания:
а) смачиваемой поверхности, б) гидрофобной поверхности

При нанесении эпилами, исходя из закона Кассье, меняется энергетический потенциал поверхности твердого тела и $\sigma_{Т-Г}$, $\sigma_{Т-Ж}$, поверхность не смачивается жидкостью, в тоже время жидкость лучше растекается по поверхности. Если в качестве жидкости рассматривать смазку, то она собирается в виде капель резервуаров и удерживается на границе эпиламированная поверхность и поверхностью контртела. При контактном вытеснении быстро заполняет освободившееся пространство и проникает в капилляры. Этим явлением объясняется уменьшение износа поверхности деталей.

Эпиламирование хорошо сочетается и дополняет другие виды упрочняющей обработки инструмента. Сочетание износостойких покрытий из нитридов и карбидов титана, алюминия, циркония и последующее эпиламирование повышает сопротивляемость изнашиванию инструмента [6]. Этот опыт следует распространить и на покрытия деталей машин, работающих в условиях изнашивания, а также на покрытия, нанесенные химико-термической и гальванической обработкой.

Хорошие результаты показала магнитная упрочняющая обработка проведенная совместно с эпиламированием. При этом улучшается не только износостойкость инструмента, но и повышается прочность за счет увеличения проникновения эпилама в микротрещины в результате действия магнитострикции [7].

Одним из методов повышения эксплуатационных свойств абразивного инструмента является импрегнирование (пропитка) различными составами. Одним из составов качественно влияющим на процесс шлифования является пропитка абразивных кругов эпиламами на основе фторсодержащих ПАВ, в частности композицией 6СФК-180-05. В результате импрегнирования поверхность зерен и связки покрываются тонкой пленкой, за счет этого существенно снижаются внутренние напряжения в массе круга, а также изменяются физико-технические свойства [8]. Изменение свойств выражается в снижении силы трения и молекулярного взаимодействия материалов инструмента и обрабатываемой детали. В результате уменьшается «засаливание» абразивного инструмента. Но наибольший эффект заключается в том, что после эпиламирования резко повышается капиллярность абразивного круга. Он пропитывается смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ) в течении минуты. В процессе шлифования на рабочей поверхности абразивного инструмента образуется тонкий слой (пленка) СОЖ, который предохраняет абразивные зерна и мостики связки от воздействия высоких температур и давлений, а также способствует очищению рабочей поверхности от продуктов износа. Кроме того подача СОЖ по капиллярам непосредственно в контактную зону резания предотвращает прижоги поверхности обрабатываемой детали.

Изменение капиллярности абразивного инструмента также объясняется изменением энергии поверхности и через нее краевого угла смачивания. Высота подъема жидкости в капиллярной щели определяется по формуле Жюрена:

$$h = \frac{2\sigma \cos \alpha}{\delta \rho q}$$

где: h - высота подъема или опускания; σ - величина поверхностного натяжения; δ - ширина щели; ρ - плотность жидкости; q – ускорения силы тяжести.

Исходя из формулы, высота подъема жидкости в капиллярах твердого тела, напрямую зависит от энергетического потенциала поверхности.

Проведенное опытное опробование постановки болтов с натягом показало, что усилие затягивания болтов покрытых эпиламом меньше, чем с рекомендованной НИАТ технологической смазкой ППУ. Также хорошие результаты получены при демонтаже плотных соединений, а также соединений имеющих повреждения коррозией. Эпилам проникает в мельчайшие щели, вымывает продукты износа, смазывает поверхности.

Эпиламы марок Эфрен-К, ЗМП-4...ЗМП6 предназначены для гидрофобной обработки поверхности материалов. Эпилам Эфрен-К марки Б2 рекомендуется для обработки плат печатного монтажа вместо полиуретановых лаков типа УР и других лаков. По влагозащите он превосходит их во много раз. Эпилам также защищает электрические платы от электрохимической коррозии и не мешает пайке и ремонту.

Эпилам Эфрен-К марки Н2 предназначен для защиты от коррозии изделий из черных и цветных металлов. При нанесении на поверхность образует бесцветную, невидимую пленку толщиной до 100Å. Эпилам можно наносить на неокрашенную, а также окрашенную или с химическим покрытием поверхность. Но при этом следует учитывать, что на эпиламированную поверхность лакокрасочные покрытия не возможно нанести без механической зачистки.

Проведенные ВИАМом испытания показали, что наиболее эффективно Эфрен-К марки Н2 защищает алюминиевые сплавы. Состояние поверхности не изменилось в тропической камере в течении 200 часов, а в камере соляного тумана в течении 100 часов.

Благодаря хорошим антифрикционным качествам этот состав также рекомендуется для покрытия деталей в узлах трения и в качестве твердой смазки в технологических процессах. По сравнению с 6СФК-180-0,5 это покрытие имеет большую толщину и при абразивном износе способно работать более длительное время. Так при использовании покрытия на закладных деталях при прессовании изделий из пресс-порошков получают более качественные детали.

Эпиламирующее покрытие может наноситься кистью, помпоном, распылением или окунанием. Выбор способа нанесения определяется свойствами и размерами изделий. После нанесения покрытия на поверхность рекомендуется сушка при комнатной температуре в течении 8 часов или прогревание при температуре 100...150 С⁰ в течении часа. Перед нанесением покрытия поверхность изделия необходимо очистить от загрязнений и обезжирить.

Проведённые исследования показали, что наиболее полно положительные качества применения эпиламирующего покрытия можно увидеть на примере пресс-форм для изготовления резинотехнических изделий. Для того чтобы обеспечить гладкую глянцевую поверхность изделия пресс-форма должна иметь не только идеальную поверхность, но и быть износостойкой и не залипать с резиной. Для повышения износостойкости пресс-форм и хорошей идентификации деталей используются специальные химические покрытия и смазки.

Для обеспечения хорошего съема резиновых изделий из прессформ на предприятиях используются силиконовые смазки и композиция К-21, но на некоторых типах деталей и отдельных марках резины эти смазки не обеспечивают необходимого качества деталей. Имеют место такие дефекты, как залипание и вырыв с поверхности резины, а так же искажение поверхности. Испытания проводились на пресс-формах имеющих проблему залипания резины к поверхности. Сравнивалось количество запрессовок и годных деталей, полученных с применением штатных смазок и эпиламирующего состава 6СФК-180-05. Покрытие пресс-формы эпиламирующей композицией проводилось путем промазки кистью на два раза без термообработки, так как в технологический цикл входит прогрев пресс-форм перед запрессовкой резины. По количеству запрессовок эпиламирующее покрытие незначительно превосходит композицию К-21, но выход годных деталей увеличился в 1,5...3 раза за счёт высокого качества поверхности. Особенно хорошие результаты получены при изготовлении тонкостенных манжет. А при дополнительной, перед каждой запрессовкой, протирке пресс-формы салфеткой слегка смоченной силиконовой смазкой, период использования без полировок увеличился во много раз.

Хорошие результаты получены на пресс-формах с упрочняющими химическими покрытиями. Так на пресс-форме с азотированной поверхностью не было выхода годных изделий по причине залипания резины ИРП-1287 к азотированной поверхности. После нанесения состава 6 СФК-180-05 было сделано семь запрессовок без залипания резины. Таким образом, высокая поверхностная энергия износостойкого покрытия была изолирована от молекулярного сцепления с резиной наноразмерным покрытием эпилама.

Лабораторные испытания физико-механических свойств образцов резины изготовленных в пресс-формах с эпиламирующим покрытием и без него показали идентичность свойств, так как покрытие химически инертно в условиях вулканизации. На основании проведенных исследований и продолжительного опыта работы с пресс-формами для резинотехнических изделий с эпиламирующим покрытием выявлено, что в сравнении с другими смазками оно не искажает формы, размеров и физико-механических свойств изделий; обеспечивает хороший съём изделий и глянец на поверхности; снижает энергетический потенциал твердых металлических покрытий, а в месте с ним и адгезию поверхности пресс-формы; может применяться самостоятельно в качестве смазки, но лучшие результаты дает в сочетании с микро слоем силиконовой смазки.

Выводы:

Многолетний опыт работы с эпилами на основе фторсодержащих ПАВ позволяет судить об их эффективности в различных технологических процессах. Нанопокртия на основе эпиламов существенно меняют функциональные характеристики поверхности объектов, а вместе с ними и характер процессов, происходящих на поверхности. Изменение характеристик происходит за счет того, что сформированное нанопокртие снижает поверхностную энергию на поверхности объекта, это позволяет изменить смачивание, адгезию, предотвращает растекание смазочных и технологических жидкостей из зоны контакта, предохраняет металлические поверхности от коррозии, снижает затраты на трение за счет уменьшения коэффициента трения в 2...10 раз. Высокая проникающая способность, выше нормы в 5...6 раз позволяет пропитывать эпиламом мелкопористые поверхности, гальванические покрытия, вытесняя влагу и газы. Кроме того покрытие характеризуют такие качества, как малая толщина (40...100Å), бесцветность, прозрачность, выдерживает давление до 3500 Н/м², несмываемо, термостабильно до 400 °С, химически инертно, гидрофобное, не токсично, легко наносится на поверхности и сочетается с другими способами инженерии поверхности. Эти качества позволяют применять эпиламирующие покрытия в любой отрасли техники и хозяйственной деятельности от производства электроники и часов до транспортировки нефти по трубам.

Вместе с тем следует отметить, эпиламирующие покрытия применяются не достаточно широко как необходимо. Они используются на отдельных предприятиях и в ограниченном объеме в основном для интенсификации технологических процессов. Непосредственно как покрытие конструкций используются редко. Недостаточность использования является следствием недостаточности исследований свойств и отсутствия отраслевых рекомендаций по применению. Авиационная промышленность в этом плане не является исключением. Для того, чтобы эти покрытия заняли соответствующую нишу в авиационном производстве необходимо проведение исследований, выявление областей применения и разработка рекомендаций по использованию.

Список литературы

1. Киричел А.В., Звягина Е.А. Эпиламирование – нанотехнология для повышения эффективности механической обработки. //Инженерный журнал, 2007. - №2 – с. 15 – 18.
2. Хрипунов В.В., Медведовских Т.В., Макарова В.А., Никулин Е.Я.. Работоспособность инструмента, упрочненного методом эпиламирования // Вестник машиностроения, 2000.- №5. – с. 62-63
3. Патент РФ № 2215766 «Состав для нанесения защитной молекулярной пленки» МПК 7 С09Д171/02, С23С22/02, опубл.10.11.2003, О.Г. Андреева, Н.Н. Лукоянов, Н.А. Романова, Н.А. Рябинин.
4. Силуанов А.Е., Хлынов В.А. Эпиламированный инструмент и области его применения // Авиационная промышленность, 1985 - №12 – С. 35.
5. Гулянский Л.Г. Применение эпиламирования для повышения износостойкости изделий // Трение и износ 1992 т.13.№4 с.695-701.
6. Мигранов М.Ш., Шустер Л.Ш. Пути повышения эффективности механической обработки резанием // Технология машиностроения, 2004 - №5 – с. 19 – 22.
7. Патент 2213152 РФ МКИ В23Р15/00, В32Р15/23 Способ упрочнения металлообрабатывающего инструмента магнитной обработкой/ Бойко В.М. №348668. заявл.22.10.01 Оpubл. 27.10.01 опубл. 27.09.2007

8. Гарбар И.И., Кисель А.С., Рябин Н.А., Сапгир Е.В. Природа и механизмы действия эпиламов при трении. Влияние эпиламинирования на структуру и поверхностную энергию металла // Трение и износ, 1990 – Т.11 - №5 – с. 792 – 800.