

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭПИЛАМИРОВАНИЯ

Гриценко П.А., Козлович П.А.

УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина»

Проблема уменьшения износа рабочих поверхностей в узлах трения для повышения их надежности и эксплуатационного ресурса имеет важное значение. В связи с этим большой практический интерес для промышленных предприятий представляет эффективный метод физико-химического воздействия на поверхности трения — эпиламирование, применение которого позволяет значительно повысить износостойкость сопряженных деталей, режущего, штамповочного и другого металлообрабатывающего инструмента.

Эпиламирование — это процесс нанесения фторсодержащего поверхностно-активного вещества (фтор-ПАВ) — эпилама — на поверхность твердого тела, в результате чего на обработанной поверхности образуется специальное защитное покрытие в виде мономолекулярной пленки толщиной 40–80 Å специальным образом ориентированных молекул фтор-ПАВ. Сформированное тонкопленочное покрытие понижает поверхностную энергию твердых тел (для металлов до 2...4 МДж/м<sup>2</sup>), что позволяет регулировать прилипание, смачивание, адгезию и другие параметры, хорошо удерживается на поверхности различных материалов благодаря высокой адсорбционной способности, не смывается при многократных промывках различными стандартными промывочными жидкостями, выдерживает давление до 3500 Н/м<sup>2</sup>, термостабильно до 250 °С. Обработка эпиламом узлов трения предотвращает растекание практически любых смазочных масел из зоны трения, а при его отсутствии обеспечивает снижение коэффициента трения, предохраняет металлические поверхности от коррозии, водородного изнашивания, в результате чего повышается срок службы, точность и надежность работы механизмов.

Благодаря своим свойствам, эпиламы нашли применение в часовой промышленности, машиностроении для повышения ресурса работы узлов трения, в приборостроении для обеспечения

влагозащиты и сохранения стабильных электро-механических и радиотехнических характеристик электронных печатных плат, волноводов, антенных устройств и т.п., нефтяной отрасли для снижения потерь при транспортировании нефти и газа по трубопроводам, для повышения эффективности технологических процессов обработки материалов давлением и резанием.

Разработаны и внедрены эпиламы Эфрен-1, Эфрен-2 (Э1, Э2), 6СФК-180-05(-20) (СК), Амидофен (АФ), Полизам (Полизам 05(20), Полизам-АКВА и др.), ЗПМ и др. Данные составы представляют собой растворы фторсодержащих поверхностно-активных веществ в легколетучем растворителе. При контакте твердого тела с раствором, ПАВ адсорбируется на поверхности, при этом ПАВ и растворитель выбираются таким образом, чтобы в процессе адсорбции молекул ПАВ обеспечивалась такая структура, когда полярная часть молекулы адсорбируется твердым телом, а гидрофобная часть направлена от тела. Благодаря этому в процессе эпиламирования высокая поверхностная энергия твердого тела заменяется на поверхностную энергию гидрофобного радикала молекулы ПАВ.

Применяемые эпиламы можно классифицировать: по природе ПАВ; по виду растворителей (фторуглеродородный, фторхлоруглеродородный растворитель или их смеси с этиловым, метиловым и другими спиртами, ацетон); концентрации фтор-ПАВ в растворах, влияющей на формирование моно- или мультимолекулярных слоев димеров; по механизму формирования молекулярных пленок (физическая адсорбция, хемосорбция).

Технология нанесения тонкопленочного покрытия достаточно проста и может быть применена непосредственно в производственных условиях. *Разработаны несколько технологических процессов эпиламирования* — это нанесение кистью, ватным тампоном, пульверизатором, погружением, кипячением в растворе. Выбор метода

определяется свойствами обрабатываемого материала, размерами деталей и условиями их работы. Наибольшее распространение получили: метод окунания с последующей сушкой на воздухе (холодное эпиламирование); метод окунания с последующим термостатированием; метод кипячения с последующей сушкой на воздухе (горячее эпиламирование). Для механизации процесса эпиламирования разработаны установки типа «Эпилам», а для его интенсификации и улучшения трибологических свойств сопряжений используют энергию ультразвуковых колебаний.

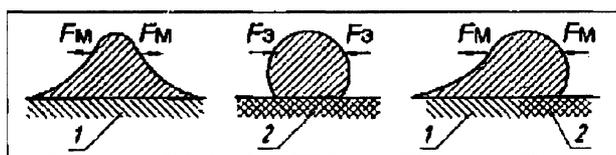


Рис. 1. Схема поведения капли на поверхности твердого тела при различных условиях смачивания: 1 – поверхность металла; 2 – эпиламированная поверхность;  $F_M$ ,  $F_Э$  – силы поверхностного напряжения соответственно на поверхности материала и эпиламированной

Результаты лабораторных испытаний, практического применения эпиламированных трибосопряжений указывают на высокую эффективность метода. Так, внедрение эпиламирования в локомотивных депо Гомеля и Жлобина Белорусских железных дорог позволило снизить износ моторно-осевых и подшипников качения тяговых электродвигателей в 4 раза [1], применение совместно финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО) и эпиламирования позволило снизить износ коленчатого вала, распределительного вала и других деталей двигателя ЗМЗ-53 в 3–4 раза [2] и т.д.

В работах [3–6, 10, 11, 14] приведены результаты экспериментальных исследований по применению эпиламирования для повышения стойкости различного режущего инструмента (резцы, сверла, метчики, концевые фрезы, ножовочные полотна и т.д.), изготовленного из быстрорежущих сталей, оснащенного твердосплавными пластинами, где метод применяется и как самостоятельный процесс, а также является одним из элементов комбинированного процесса (покрытия TiN, (Zr, Cr)N, (Ti, Zr, Mo)N и другие плюс эпилам). В ходе испытаний инструмента, исследований контактных характеристик процесса резания установлено, что эпиламирование способствует снижению составляющих сил резания на 5–20 %, температуры в

зоне контакта — до 70...80 °С, интенсивности развития очагов изнашивания передней и задней поверхностей инструмента и т.д., что в целом позволяет повысить стойкость инструмента в 1,5 и более раз. Также анализ литературных данных по эффективности различных методов повышения работоспособности режущего инструмента и в частности периода стойкости быстрорежущих сверл показывает, что эпиламирование является наиболее эффективным методом увеличения стойкости инструмента.

Однако попытки использовать метод в реальном производстве не всегда дают положительные результаты, что приводит к нерациональному использованию средств по подготовке и эксплуатации инструмента с покрытием. Это связано с отсутствием ясного понимания природы эпиламов и механизмов их действия в процессе резания, а также рекомендаций по эксплуатации и обслуживанию эпиламированного инструмента.

Для объяснения природы действия фтор-ПАВ при различных условиях эксплуатации выдвигаются следующие предположения:

1) поверхности с защитной молекулярной пленкой препятствуют растеканию масла из зоны трения вследствие истирания или искусственного создания участков с различной поверхностной энергией [7, 11–14.];

2) при нанесении молекулы ПАВ заполняют микровпадины и микронеровности (шероховатость поверхности снижается в 2,0...2,5 раза), образуют структуры Ленгмюра в виде спиралей с нормально направленными к поверхности материала осями, что позволяет надежно удерживать смазочные среды, обеспечивает нерастекаемость масел и предотвращение их сдвига [2, 11–13];

3) при эпиламировании резко снижается поверхностная твердость и прочность твердых тел, в связи с чем повышается эффективность процессов дробления и измельчения металлов [8, 11, 13];

4) покрытие эпиламом упрочняет поверхностные слои, повышая износостойкость материала.

Анализ результатов исследований и применения покрытий эпиламов в различных узлах трения показывает:

♦ **основная функция эпиламов** — удерживать смазочные масла в зоне трения в результате изменения поверхностной энергии твердых тел в процессе работы [2, 11–13];

♦ снижение коэффициента трения при применении покрытия без смазки возможно только при определенных давлении, температуре  $T$  в зоне контакта и скорости скольжения сопрягаемых поверхностей;

♦ изменение микротвердости поверхностного слоя зависит от физико-химических свойств материала;

♦ при нанесении тонкопленочного покрытия шероховатость поверхности не изменяется, т.к. его толщина составляет 3...50 нм;

♦ оптимальные параметры эксплуатации покрытий находятся в достаточно ограниченной области значений скорости скольжения и соответственно температуры поверхностей трения, изнашивание пленок практически линейно возрастает при увеличении пути трения и температуры в зоне контакта [1–9];

♦ действенность применения зависит от состава применяемых масел.

Задачей проведенных исследований являлось определение влияния покрытий эпиламов на состояние поверхностного слоя инструмента и процесс резания при сверлении, выбор условий эффективного применения эпиламированного быстрорежущего инструмента при обработке отверстий.

При проведении исследований использовались эпиламы Эфрен-2 (Э-2) и 6СФК-180-05 (СК), представляющие собой соответственно 0,05 и 0,5 % — растворы перфторполиэфиркислоты 6МФК-180 общего вида (i/COOH) в хладоне 113. Эпиламирование выполняли по технологиям, рекомендуемым производителем для нанесения данных составов.

Исследования влияния фторсодержащих поверхностно-активных веществ на состояние поверхностного слоя быстрорежущих сверл показали, что формирование полимолекулярного слоя фтор-ПАВ не влияет на микрорельеф и микротвердость рабочих поверхностей инструмента.

Для сокращения количества дорогостоящих экспериментальных исследований по изучению влияния режимов резания и условий сверления (без и с применением масляных и водосмешиваемых смазочно-охлаждающих технологических средств) на состояние пленок эпиламов были проведены трибологические испытания по специально разработанной методике [10]. В ходе исследований установлено: при обработке эпиламированным инструментом наиболее эффективно использовать масляные СОТС, при работе без СОТС наблюдается быстрое истирание покрытия; увеличение скорости резания над предельно допустимой по теплостойкости пленок эпиламов снижает эффективность эпиламирования; для более эффективной эксплуатации тонкопленочных покрытий в процессе резания необходимо производить подбор марок масляных СОТС.

Для изучения влияния тонкопленочного по-

крытия на процесс теплообразования при сверлении при различных условиях резания и установления зависимости влияния пленок эпиламов на температуру резания от скорости резания  $v$  выполнены температурные исследования методом естественной термопары. Приведенные зависимости позволяют сделать вывод о том, что при малой скорости резания ( $v = 0,125$  м/с) тонкопленочное покрытие при обработке без СОТС способствует снижению ТЭДС вследствие уменьшения коэффициента трения и действует в данных условиях как смазочная композиция. При обработке с применением СОТС минимальные значения ТЭДС связаны со способностью пленок эпиламов удерживать смазку в зоне трения. Увеличение скорости резания и соответственно температуры резания приводит к снижению эффективности применения эпиламированного инструмента в связи с тепловой деструкцией покрытий эпиламов.

В Российской Федерации работы по эпиламированию начались проводится с 1980 г. рядом организаций [14]. Однако во исполнение директивы Президента РФ В. В. Путина об увеличении ВВП в 2 раза к 2008 г. в феврале 2004 г. организации РФ, занимающиеся эпиламированием, объединили свои усилия, создав «Альянс научно-промышленных технологий» по эпиламированию инструмента, деталей, блоков и узлов в промышленности.

По данным материалов [15] назначение, область применения эпиламов предприятия ООО «АВТОСТАНКОПРОМ» приводятся в табл. 1.

По данным научно-производственного предприятия ЗАО «АВТОКОНИНВЕСТ» [14] по состоянию на 1.01.2008 г. указаны цены (с учетом НДС), наименования, назначения область применения и эффект применения эпиламов в табл. 2.

#### Заключение

На основании обзора исследований и литературных источников [1–15] установлено следующее.

1. Эпиламирование состоит в образовании на поверхности детали пленки толщиной до 40 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ).

2. Величина поверхностной энергии определяется сортом эпилама и не зависит от эпиламируемого материала (сталь, резина и др.).

3. Обработка поверхностей трения в механизмах эпиламами позволяет значительно уменьшить износ рабочих поверхностей, увеличить эксплуатационный ресурс, снизить расходы на техническое обслуживание, ремонт и экономию горюче-смазочных материалов.

4. Процесс эпиламирования отвечает современным ресурсосберегающим технологиям, легко

Таблица 1

Наименование продукта	Название, область применения	Эффект применения
Эпилам 6СФК-180-05	Обработка нагруженных пар трения	Ресурс работы возрастает в 2–10 раз, трение снижается в 10 раз, снижается энергопотребление
	Обработка режущего инструмента	Стойкость повышается в 2–5 раз при одновременном снижении шероховатость обработанных поверхностей и повышенная скорости резания
	Обработка штампового вырубного и вытяжного инструмента	Стойкость вытяжных матриц и пуансона повышается в среднем в 2–4 раза при одновременном исключении их хромирования, стойкость вырубной оснастки повышается в 2–4 раза
	Обработка пресс-форм для литья изделий из пластмасс	Стойкость пресс-форм повышается в среднем в 2–4 раза, исключается их хромирование, исключает или снижается в 8–10 раз расход силиконовых смазок, повышается качество поверхности выход годных изделий, облегчается съём изделий с пресс-форм
	Обработка пресс-форм для вулканизации изделий из резины	Стойкость пресс-форм повышается в среднем в 3–4 раза, исключается хромирование инструмента, исключается применение силиконовых смазок
	Обработка измерительного инструмента в машиностроении	Снижение износа инструмента
	Обработка алюминиевых и алюминиймагниевого сплавов; защита лакокрасочных покрытий	Защита сплавов и ЛКП от атмосферной коррозии, особенно в труднодоступных местах
	Обработка деталей прецизионных узлов трения приборов и механизмов (часы, штурманские приборы и т.п.)	Кэфф. трения снижается в 8–10 раз; износ снижается в 2–5 раз; момент трогания снижается в 1000–10000 раз; предотвращается вытекание смазки
Эпилам ; «Эфрен-К» марка Б2, марка Н2	Для обработки микросборок, радиоплат печатного монтажа и изделий из алюминия, алюминемагниевого и магниевых сплавов	Защита микросборок, радиоплат от воздействия окружающих факторов, таких как влага, коррозия, пыль. Создание антикоррозийного покрытия на поверхностях изделий из металла и др. (алюминий, алюминемагниевого и магниевые сплавы)
Эпилам 6СФК-180-20 марка А	Обработка изделий из резины и пластмасс, деталей с драгоценными покрытиями	Уменьшается скорость старения в 2–3 раза и более; повышается химическая стойкость полимеров по схеме: нестойкие – ограниченно стойкие; ограниченно стойкие – стойкие снижается кэфф. трения; повышается износостойкость полимеров в парах трения в 2–5 раз; снижается толщина драгпокрытий как минимум в 2 раза в зависимости от их величины
Эпилам «Аквалин»	Противоизносная присадка к водоземulsionным СОЖ в процессах резания, шлифования, штамповки, прессования; в фотохимии	Эффект аналогичен эпиламу 6СФК-180-05. Особенностью является возможность нанесения через технологическую среду (смазочно-охлаждающую жидкость). Совмещение промывки, мойки и анти-адгезионной обработки фотошаблонов, снижение брака на 4–8 %. Модификация трубопроводов, позволяет снизить коррозию и уменьшить потери напора рабочих жидкостей (до 20 %)
Эпилам «КАМП»	Маслосовместимая композиция для использования в узлах трения, добавка ко всем видам моторных и трансмиссионных масел, гидрожидкостей	Облегчает «холодный пуск» двигателей внутреннего сгорания, снижает расход топлива, увеличивает компрессию и мощность двигателя. Усиливает антикоррозионные свойства, охлаждающих жидкостей как вновь заливаемых, так и обработавших ресурс, повышает точность, позиционирования станков с ЧПУ в сочетании с противоскачковым маслом, снижает кэфф. трения и расход электроэнергии, повышает ресурс и долговечность деталей

Таблица 2

№ п/п	Продукт	Краткое описание	Цена*, руб./кг
1	Эпилам «АВТОКОН-0,5» ТУ 2229008-2799197095	Раствор фторсодержащего ПАВ для обработки пресованных и литевых форм, штампов, металлорежущих и деревообрабатывающих инструментов. Повышает их износостойкость и гидрофобные свойства	2650
2	Эпилам «АВТОКОН-20» ТУ 2229008-2799197095	Раствор фторсодержащего ПАВ для обработки полимерных, в т.ч. резинотехнических изделий. Повышает их износ-, водо-, бензостойкость	3150
3	Защитная резьбовая высокотемпературная паста ЗРВП-УДАР ТУ 0254017-2799197096	Предназначена для защиты от термоокислительного и коррозионного схватывания крепежных изделий (болтов, гаек, муфт и т.п.), а также для смазки подшипников и направляющих печных вагонеток, установок термического и каталитического крекинга, печей для коксования, котлов, оборудования горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности (рабочий диапазон температур 30...+800°C)	972
4	Защитная резьбовая паста ЗРП-УДАР ТУ 02540 17-2799 197096	Предназначена для защиты от коррозионного схватывания крепежных изделий, а так же для смазки узлов трения (рабочий диапазон температур -30...+200°C)	378
5	Модификатор «УМ-2» ТУ 2229002-2799197094	Противоизносная добавка к смазочным маслам на основе пилламов. Применяется для станков, компрессоров, редукторов, подшипников, трансмиссий и ДВС	450 за флакон 200 мл
6	Ингибитор коррозии «Телаз-Л» 100% ТУ 2461060-2799197002	Используется при приготовлении консервационных составов, смазок, грунтов и паст для защиты изделий из черных металлов от атмосферной коррозии	123,70
7	Ингибитор коррозии «Телаз-Л» (50% р-р в И-20А) ТУ 2461060-2799197002		81,90
8	Ингибитор коррозии «Телаз-ЛС» 100% ТУ 2461060-2799197002	Используется при приготовлении консервационных составов, смазок, грунтов и паст для защиты изделий из цветных и черных металлов от атмосферной коррозии	148,47
9	Ингибитор коррозии «Телаз-ЛС» (50%-ый р-р в И-20А) ТУ 2461-060-2799197002		94,20
10	Ингибитор коррозии водорастворимый «Телаз-А» 100 % ТУ 2461060-2799197002	Используется для межоперационной защиты деталей от атмосферной коррозии. Придает антикоррозионные свойства вододисперсионным ЛКМ, СОЖ, ТМС	136,50
11	Ингибитор коррозии водорастворимый «Телаз-СК» ТУ 2461060-2799197002	Используется для предотвращения коррозии металлических изделий, находящихся в помещениях с повышенным содержанием паров соляной кислоты	102,36
12	Консервационное масло «АВТОКОН-Л» ТУ 2389059-2799197000	Консервационное масло на основе ингибитора «Телаз-Л» для защиты изделий из черных металлов (проволока, метизы, сталепродукт, приводные цепи, стрелковое оружие и т.п.) от коррозии. Пропитывает ржавчину и останавливает коррозию	53,64
13	Консервационное масло «АВТОКОН-ЛС» ТУ 2389059-2799197000	Консервационное масло на основе ингибитора «Телаз-ЛС» для защиты изделий из цветных и черных металлов от коррозии	58,70
14	Эмульгатор «Телаз-15» ТУ 2433061-2799197004	Высокоэффективная добавка для эмульсионных алкидных, алкидно-нефтеполимерных ЛКМ	160
15	Диспергатор «Телаз» ТУ 2433061-2799197004	Диспергирующая добавка для алкидных ЛКМ	129,8

вписывается в существующие производства, не требует капитальных затрат, высокоэффективен в условиях единичного, серийного и массового производства.

5. Для дальнейшего широкого распространения процесса эпиламирования в РБ необходимо изучить опыт РФ [14, 15] и проводить поэтапное его освоение с целью накопления опыта применения эпиламов.

### Литература

1. Напреев, И.С. Управление трибологическими характеристиками подшипниковых узлов методом эпиламирования: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / И.С. Напреев. — Гомель, 1998. — 21 с.
2. Харченко, М.И. Повышение послеремонтного ресурса деталей автомобильных двигателей (на примере ЗМЗ-53) эпиламированием и ФАБО-эпиламированием: дис. канд. техн. наук: 05.02.03 / М.И. Харченко. — М., 2002. — 180 с.
3. Эпиламирование режущего инструмента / В.Л. Потеха [и др.] // Электрическая и тепловозная тяга. — 1990. — № 10. — С. 31.
4. Повышение работоспособности инструмента из быстрорежущей стали. Физикохимия процесса резания металлов / В.П. Табаков, Ю.Н. Николаев, С.А. Журавский // Межвузовский сб., Чебоксары: ЧГУ, 1986. — С. 51–55.
5. Мигранов, М.Ш. Пути повышения эффективности механической обработки резанием / М.Ш. Мигранов, Л.Ш. Шустер // Технология машиностроения. — 2004. — № 5. — С. 19–22.
6. Гулянский, Л.Г. Применение эпиламирования для повышения износостойкости изделий / Л.Г. Гулянский // Трение и износ. — 1992. — Т. 13, № 4. — С. 695–701.
7. Природа и механизмы действия эпиламов при трении. Влияние эпиламирования на структуру и поверхностную энергию металла / И.И. Гарбар [и др.] // Трение и износ. — 1990. — Т. 11, № 5. — С. 792–800.
8. Полянсков, Ю.В. Технологические методы повышения износостойкости режущего инструмента и деталей машин: учеб. пособие / Ю.В. Полянсков, В.П. Табаков, А.П. Тамарова. — Ульяновск: УЛГУ, 1999. — 69 с.
9. Потеха, В.Л. Теоретико-экспериментальная оценка оптимальных условий эксплуатации эпиламированных трибосопряжений машин / В.Л. Потеха, А.В. Рогачев, И.С. Напреев // Трение и износ. — 1996. — Т. 17, № 6. — С. 764–768.
10. Киричек А.В. Повышение периода стойкости быстрорежущего осевого инструмента эпиламированием / А.В. Киричек, Е.А. Звягина // Трибология — машиностроению: сб. докл. научн.-практ. конф. с участ. иностр. спец. — М.: ИМАШ, РАН, 2006.
11. Эффективность и перспективы применения новых эпиламов в машиностроении / С.М. Кудрявцев [и др.]. — Минск: Белорусский НИИНТИ и ТЭИ, 1988. — 41 с.
12. Лященко, М.Н. Увеличение срока службы машин и механизмов / М.Н. Лященко, С.М. Гайдай // Техномир. — 2004. — № 1 (19). — С. 18–20.
13. Вохидов, А.С. Эффективность применения эпиламирующих составов в промышленности / А.С. Вовидов, М.В. Малько // Промышленные регионы промышленности: специализированный журнал. — 2007.
14. Проспекты предприятий, связанных с эпиламированием: ЗАО «Автоконинвест» (г. Москва), НПО «Автокон» (г. Москва), ООО «Микромеханика», центр защитных технологий «Эгида» (г. С.-Петербург), НПО «Российские инновационные технологии» (г. Тверь ) и др., — 2008.
15. Альянс научно-промышленных технологий. Инф. материал 1–1831–3001. Долговечность и ресурсосбережение за счет применения эпиламирующих составов в промышленности. — М.: ООО «Автостанкопром», 2005.