

## **Повышение износостойкости деталей плунжерных пар дизелей методом эпиламинирования**

*Украинская инженерно-педагогическая академия  
Полтавский национальный технический университет  
имени Юрия Кондратюка*

Приведены результаты работы по исследованию возможности повышения износостойкости деталей плунжерных пар дизелей нанесением покрытия ПАВ – эпиламинирования. На основе исследований установлено, что при этом обеспечивается увеличение ресурса работы и снижение износа деталей трущихся пар и устраняется операция их смазки.

**Ключевые слова:** технология, поверхностно-активные вещества, эпилама, плунжерная пара, износостойкость, азотирование, термообработка.

**Постановка проблемы.** Надежность работы дизелей в значительной степени определяется работоспособностью деталей топливной аппаратуры и в первую очередь наиболее быстро изнашиваемых плунжерных пар.

Ввиду того, что плунжерные пары топливной аппаратуры подают точно отмеренные порции топлива под высоким давлением и в строго определенную фазу рабочего цикла, то они должны обладать высокой гидравлической плотностью и необходимой производительностью. Поэтому даже незначительный износ рабочих поверхностей этих деталей нарушает работу насоса и форсунок, что отрицательно сказывается на работе дизеля. В частности снижается его мощность, увеличивается расход топлива, затрудняется запуск холодного дизеля.

Установлено, что с износом деталей их макро- и микрогеометрия изменяется, начальные зазоры увеличиваются, вследствие чего уменьшается гидравлическая плотность прецизионных пар. Радиальный зазор новых плунжерных пар составляет 0,5...1,0 мкм, а при максимальной выработке допускается до 2...3 мкм.

В результате проведенного анализа установлено, что абразивный износ твердыми частицами, попадающими вместе с топливом, является основным для прецизионных деталей. Поэтому основным направлением по повышению износостойкости прецизионных деталей и сокращения производства их запасных частей является применение новых материалов и твердых покрытий в сочетании с новыми технологиями, в частности эпиламинированием рабочих поверхностей пар трения [1 – 3].

**Цель работы.** Целью настоящего исследования является определение возможности повышения износостойкости плунжерных пар топливной аппаратуры дизелей путем нанесения антифрикционных покрытий на основе эпиламинирования.

Покрытие эпиламой (фторосодержащим поверхностно активным веществом ПАВ) по данным работ [1, 2] позволяет снизить коэффициент трения, величину износа, увеличить ресурс и надежность работы инструмента и деталей машин.

Покрытие наносится на поверхность в виде тонкой пленки, представляющей собой мономолекулярные или близкие к ним слои, толщина которых составляет 40...100 Å, в результате чего пленка не оказывает влияния на размеры и шероховатость поверхности деталей [3]. Поэтому данное покрытие может быть нанесено после окончательного изготовления детали и не требует механической обработки. Основная особенность покрытия эпиламой заключается в способности прочного

соединения с поверхностью с образованием разделительного барьера пленки с очень низким запасом поверхностной энергии, что приводит к прочному удержанию смазочных жидкостей, внесенных в узлы трения.

**Основной материал статьи.** Технология нанесения покрытия ПАВ (эпиламирания) достаточно проста и может быть применена непосредственно в производственных условиях.

При нанесении покрытия фторосодержащим ПАВ применялись технологии холодного и горячего покрытия.

Перед нанесением покрытия обоими способами образцы и детали очищались и промывались от продуктов механической обработки и других загрязнений.

При холодном способе нанесения покрытия фторосодержащим ПАВ проводилось обезжиривание бензином Б-70 и ацетоном «Ч», погружение в закрытый сосуд с эпиламирующим составом 6СФК-180-05 (ТУ-6-02-1229-82), представляющим собой раствор фторосодержащего ПАВ в хладоне 113, выдержка в этом составе при температуре +40°C, выемка и высушивание образцов, деталей при температуре +50°C в течение 2 ч.

Горячий способ нанесения покрытия фторосодержащего ПАВ является более эффективным, чем холодный способ. При этом способе предварительно обезжиренные бензином Б-70 изделия (детали и образцы) на сетчатой подставке помещались в обезжиривающую емкость, плотно закрывающуюся и снабженную рубашкой для подачи горячей воды (сетчатая подставка и обезжиривающая емкость изготовлены из нержавеющей стали). Емкость была заполнена хладоном 113 ГОСТ 23-844-79 ниже уровня сетчатой подставки. Рубашка обезжиривающей емкости заполнялась подогретой от электронагревателя до +70...80°C водой, в результате чего обеспечивалось кипение и частичное испарение хладона 113 и обезжиривание изделий его паром в течение 0,5 – 1,0 ч. Одновременно с этим обеспечивался непрерывный процесс улавливания и конденсации паров кипящего растворителя с помощью обратного холодильника.

Работа по обезжириванию и эпиламиранию образцов, деталей проводилась с использованием специальной установки (рис. 1), имеющей три аналогичные камеры (рис. 2) с воздушной рубашкой для обогрева и охлаждения, которые могут подключаться к расположенному в верхней части установки электронагревателю или системе холодного водоснабжения. Рабочие камеры соединены с двумя обратными холодильниками, предназначенными для конденсации паров рабочих жидкостей и возврату их в рабочие камеры.

По окончании обезжиривания проводилось охлаждение изделий до комнатной температуры, выемка и перенос сетчатой подставки с ними в эпиламирующую емкость, имеющую рубашку для подачи горячей воды. После этого емкость заполнялась эпиламирующим составом 6СФК-180-05 в таком количестве, чтобы изделия были полностью покрыты. После плотного закрытия емкости она нагревалась горячей водой до +50°C, что обеспечивало обработку изделия парами эпиламы в течение 0,5 – 1 ч. После окончания указанной обработки проводилось охлаждение до окружающей температуры и выемка изделий с последующей сушкой и термообработкой их в электрошкафу при температуре +100...150°C в течение 1 – 2 ч.

После окончания нанесения покрытия ПАВ обоими способами изделия, подлежащие хранению, во избежание коррозии смазывались дизтопливом.

Поскольку покрытие эпиламой выдерживает удельное давление до 300 кг/мм<sup>2</sup>, термостабильно до 400°C и прочно удерживается на поверхности не

только твердых, но и эластичных материалов, эта технология была нами предложена к применению для деталей типа втулок и валов плунжерных пар.

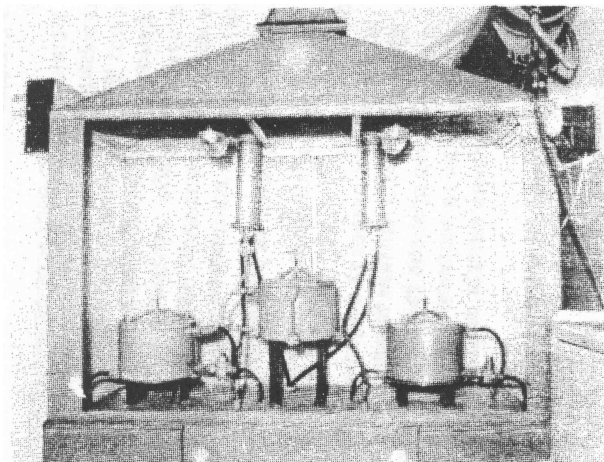


Рис. 1. Общий вид установки эпиламирования

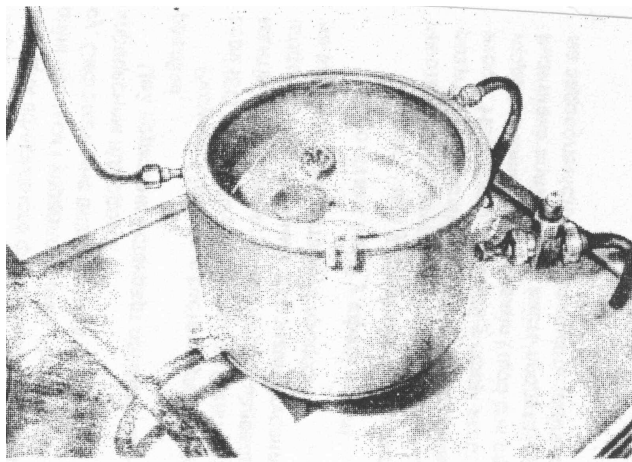


Рис. 2. Рабочая камера установки (с открытой крышкой) с расположенными на сетчатой подставке эпиламируемыми изделиями

Для проверки влияния эпиламирования на износостойкость деталей были проведены лабораторные испытания образцов на машине трения УМТ-1 при следующих условиях:

- предел силы прижатия образцов – 400...4000 Н;
- диапазон изменения частоты вращения шпинделя – 15...3000 м/мин;
- диапазон изменения момента силы трения – 2...40 Нм.

Конструкция испытательной установки машины позволяла проводить испытания образцов по схемам: диск – палец, вал – втулка, кольцо – кольцо. Она оснащена электромеханическим моментоизмерителем и подключена к самопишущему потенциометру КСП-4. Машина оснащена счетчиком количества оборотов шпинделя, автоматическим выключением установки при достижении определенного регулируемого момента трения, другими устройствами.

Испытания проводились при подобранной в процессе испытаний нагрузке прижатия 600 Н в течение 150 000 циклов (оборотов), частота вращения – 320 м/мин, что обеспечивало соответствие скоростей перемещения образцов и плунжера во втулке при работе дизеля.

Для проведения лабораторных испытаний были подготовлены партии деталей «вал плунжера», изготовленные из стали ШХ15 с последующим нанесением покрытий и термической обработкой.

Варианты покрытий, количество циклов до схватывания и температура образцов приведены в табл. 1.

Твердость ШХ15 после термической обработки – 52...56 HRC.

Твердость ШХ15 после азотирования – 62...64 HRC.

Покрытие эпиламой термообработанных и азотированных поверхностей образцов деталей «вала плунжера» представляет собой раствор ПАВ смазочной композиции 6СФК-180-05 в хладоне 113, обладающий высокой адгезионной способностью, уменьшающий трение в 5 – 6 раз и служащий гидродинамической смазкой.

Таблица 1

Варианты покрытия	Количество циклов до схватывания	Температура образца, °С
Термообработка обоих образцов	4160	131
Азотирование обоих образцов	4600	152
Покрытие ПАВ (эпилама) азотированной поверхности образцов	5 860	160
Покрытие ПАВ (эпилама) термообработанной поверхности образцов	10 900	130

При нанесении покрытия ПАВ на рабочие поверхности происходит необратимый процесс адсорбции ПАВ в виде мономолекулярного или близкого к нему слоя толщиной не более  $(3...5) \cdot 10^{-3}$  мкм. Пленка уменьшает до минимума непосредственный контакт между микронеровностями трущихся деталей, препятствует возникновению между ними слоев молекулярного притяжения, что снижает силы трения до 6 – 8 раз. Пленка выдерживает нагрузки до 3 000 МПа (на уровне прочности основного материала), что дает основания отнести этот процесс к нанотехнологиям.

Длительность испытаний, подобранная опытным путем, составляла 8 часов. Принятые условия проведения испытаний более жесткие по сравнению с натурными, поскольку при работе на испытательном стенде рабочие поверхности плунжерной пары постоянно подвержены контакту и трению.

Результаты испытаний образцов на износостойкость приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты испытаний образцов на износостойкость

Варианты покрытия	Износ образцов, мкм		
	образца 1	образца 2	обоих образцов
Термообработка обоих образцов	3...4	3...4	6...8
Азотирование обоих образцов	3...4	3...4	6...8
Покрытие ПАВ (эпилама) азотированной поверхности образцов	0,4...1	0,5...1	0,9...2
Покрытие ПАВ (эпилама) термообработанной поверхности образцов	0,5...1	0,5...1	1...2

Полученные результаты показывают, что для всех испытываемых образцов в начальный период испытаний происходит приработка поверхностей, сопровождающаяся некоторым уменьшением, а затем стабилизацией момента трения и

ростом, а затем стабилизацией температуры образцов.

Как видно из табл. 2, износ образцов с термообработанной и азотированной поверхностями примерно одинаков (6...8 мкм).

Применение образцов с покрытием ПАВ по азотированной и термообработанной поверхностям сопровождалось значительным повышением их износостойкости – примерно в 2 – 3 раза.

При сравнении результатов испытаний покрытий, нанесенных горячим и холодным способами, установлено, что в первом случае имела место более высокая износостойкость образцов (износ составлял 0,5...1 мкм), а во втором – 1...2 мкм.

Вероятно, это связано с улучшением качества и большей адгезионной способностью покрытия.

Что касается задиростойкости покрытий ПАВ, то, как показали испытания (см. табл. 1), во всех случаях происходил рост моментов трения и температуры образцов до момента схватывания (задиорообразования) поверхностей трения образцов и соответствующего выключения машин трения.

Такой характер процесса связан с условиями контактного взаимодействия и удержания смазки.

Применение покрытия ПАВ обеспечивает повышение задиростойкости соответственно при нанесении на азотированную поверхность в 1,3 раза и на термообработанную поверхность – в 2,6 раза.

Полученные результаты показали, что покрытие ПАВ обеспечивает повышение термостойкости к процессу задиорообразования, т.е. более высокой температуре образцов, при которой начинается задиорообразование (158...190°C), по сравнению с другими процессами (130...150°C).

На основании проведенных испытаний установлено, что покрытие ПАВ значительно снижает износ, повышает задиростойкость образцов и может быть рекомендовано для промышленного применения.

## **Выводы**

1. Основной причиной износа и нарушения работы прецизионных пар топливной аппаратуры является схватывание и абразивный износ при взаимодействии в процессе работы с твердыми частицами, попадающими в топливо.

2. Износостойкость может быть повышена технологическими методами путем нанесения покрытий с более высокой твердостью, чем абразивные частицы, с гарантированным удержанием на поверхностях трения, разделяющих их пленки, топлива.

3. Испытания показали, что покрытие ПАВ на основе эпиламы обеспечивает увеличение износа и задиростойкости, а также увеличение их топливоудерживающих способностей.

4. Покрытие ПАВ, нанесенное на азотированную и термически обработанную сталь ШХ15 обеспечивает повышение задиростойкости в 1,4 – 2,6 раза и износостойкости – в 2 – 3 раза.

## **Список литературы**

1. Полевой, С.Г. Упрочнение металлов [Текст]: справ. / С.Г. Полевой, В.Ф. Евдокимов. – М.: Машиностроение, 2005. – 227 с.
2. Рыжих, В.Н. Эпиламирование деталей швейных машин [Текст] / В.Н. Рыжих,

Л.Г. Гулянский // Вопросы оборонной техники. – М.: НТЦ «Информатика». – 1991. – Сер. II. – Вып. 2 (231). – С. 37 – 39.

3. Мовшович, А.Я. Основные направления развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в современных условиях [Текст] / А.Я. Мовшович, Н.Д. Жолткевич // Вопросы оборонной техники. – М.: НТЦ «Информатика». – 1993. – Вып. 3 (247). – 68 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор Е.А. Фролов,  
Государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков.

Поступила в редакцию 20.06.12.

### **Підвищення зносостійкості деталей плунжерних пар дизелів методом епіламування**

Наведено результати роботи з дослідження можливості підвищення зносостійкості деталей плунжерних пар дизелів нанесенням покриття ПАР – епіламування. На основі досліджень встановлено, що при цьому забезпечуються збільшення ресурсу роботи і зниження зносу деталей тертьових пар і усувається операція їх змащування.

**Ключові слова:** технологія, поверхнево-активні речовини, епілама, плунжерні пари, зносостійкість, азотування, термообробка.

### **Increasing of wear resisting property of diesel engine pump element parts by using epilamination method**

This work presents results in research of probability to increase wear resisting property of diesel engine pump element parts by applying a surface – active substance coating – i.e. epilamination. Basing on this research it was found that provision has been made to increase lifetime and reduce wear process of friction parts and exclude their lubrication procedure.

**Keywords:** process, surface active substance, epilama, pump element, wear resisting property, nitride hardening, heat treatment.