

Повышение надежности прецизионных пар дизелей и оценка толщины антифрикционного покрытия при их восстановлении

Предложен способ оценки несущей способности и определена критическая толщина газопламенного напыленного покрытия из порошка самофлюсующего сплава ПГ-10Н-01, нанесенного на плунжер прецизионной пары топливной аппаратуры дизеля Д50, обеспечивающая нормальную работу деталей в процессе эксплуатации в условиях абразивного износа твердыми частицами, попадающими в зазор между плунжером и втулкой.

Ключевые слова: надежность, топливная аппаратура, плунжер, антифрикционное покрытие, газопламенное напыление.

Состояние вопроса

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

Несмотря на очистку топлива фильтрами, часть твердых частиц проходит вместе с топливом под высоким давлением и с большой скоростью через малые зазоры и изнашивает рабочие поверхности прецизионных пар, в результате чего нарушается нормальная работа аппаратуры и ухудшаются технико-экономические показатели двигателей.

Так как топливная аппаратура выполняет очень ответственные функции в обеспечении устойчивой работы двигателя, прецизионные детали изготавливают с большой точностью, а в их сопряжении допускаются зазоры не более 3 мкм. Даже незначительный износ рабочих поверхностей этих деталей нарушает нормальную работу топливного насоса и форсунок.

На основе анализа работы прецизионных деталей топливной аппаратуры установлено, что на их износ и схватывание влияет комплекс трех взаимосвязанных факторов: конструктивных, технологических и эксплуатационных. [1,2]

Объем ремонтных работ в топливной аппаратуре тракторных и комбайновых дизелей, главным образом по износу, очень велик и практически соизмерим с масштабами производства новых деталей. Надежность и ресурс отремонтированных деталей и узлов традиционными методами значительно ниже уровня новых. Поэтому основным направлением по повышению износостойкости прецизионных деталей при их восстановлении и сокращении производства запасных частей является применение новых технологий, материалов и твердых покрытий.

Следует отметить, что основной причиной нарушения работы прецизионных деталей топливной аппаратуры является схватывание в процессе приработки деталей и абразивный износ при взаимодействии в процессе работы деталей с твердыми частицами, попадающими с топливом.

Износостойкость деталей может быть повышена технологическими методами: путем нанесения покрытий с увеличением твердости поверхностей прецизионных деталей выше твердости абразивных частиц и гарантированным удерживанием на поверхностях трения разделяющей их пленки топлива. [3]

Целью настоящего исследования является повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры при их восстановлении

нанесением антифрикционных покрытий способом интегрированного газопламенного напыления со щеточной обработкой и оценка необходимой толщины и геометрии деталей после нанесения покрытий.

Технология нанесения антифрикционных покрытий.

Для повышения качества деталей типа плунжеров при восстановлении разработана технология газопламенного напыления интегрированная со щеточной обработкой. Щеточная обработка как наиболее технологичный способ подготовки поверхности под нанесение покрытия применяется для очистки и активации поверхности, создания требуемой шероховатости, а также слоев покрытия в процессе его формирования, для удаления окисных пленок и частиц с низкой когезионной прочностью. Применение щеточной обработки позволяет увеличить механическое взаимодействие между частицами покрытия и основы, и как следствие адгезионную прочность покрытия. Механическое воздействие щетки в процессе формирования слоев покрытия обеспечивает релаксацию растягивающих напряжений, снижение пористости в покрытии, повышение его твердости и следовательно износостойкости напыленного покрытия. Результаты стендовых испытаний позволили установить, что износ плунжерной пары восстановленной интегрированным газопламенным напылением 3,8...5 мкм (при износе плунжерной пары, изготовленной по традиционной - 6...8мкм).

Технологический процесс восстановления плунжеров газопламенным напылением, совмещенным со щеточной обработкой, включает как основные операции по подготовке основы под напыление, нанесение покрытия, так и операции по подготовке детали и материалов к напылению, окончательной механической обработке восстановленных деталей.

На рис. 1 приведена схема технологического процесса восстановления детали типа плунжер интегрированным газопламенным напылением покрытия из порошка самофлюсующегося сплава ПГ-10Н-01 твердостью 58-62 HRC со щеточной обработкой.

Подготовка поверхности основы под напыление производится при скорости вращения щетки 150 об/мин и натяге игл 3 мм, подаче -1м/мин, скорость вращения детали -60 об/мин. Обеспечивается получение шероховатости поверхности Ra 10-12 мкм.

При напылении скорость вращения щетки составляла 2100 об/мин, натяг 3 мм, подача -1м/мин. Толщина напыленного слоя не должна превышать 0,05 мм за один проход. Напылив пять слоев необходимо провести контроль толщины слоя в 3-х сечениях. Давление, расход кислорода и ацетилена при напылении составили: $P_{O_2}=0,07-0,11$ МПа, расход кислорода – 1,0-2,0 м³/ч, $P_a=0,1...0,2$ МПа, расход ацетилена – 0,7...1,0 м³/ч, дистанция напыления 150...180 мм.

Оценка толщины покрытий и геометрии деталей после нанесения покрытий. При защемлении материала между плунжером и втулкой, в нем мгновенно возникают напряжения сжатия, и поскольку движение трущихся частей конструкции продолжается, то он либо внедряется в рабочие поверхности и производит микрорезание, либо разрушается. Процесс микрорезания может наступить при соблюдении соотношения

$$\frac{h_p}{R_{np}} = 0,5, \quad (1)$$

где h_p - глубина внедрения абразивной частицы в металл, при котором она разрушается

R_{np} - приведенный радиус частицы.



Рис. 1. Технология восстановления детали типа плунжер интегрированным газопламенным напылением со щеточной обработкой

Установлено, что величина критического напряжения абразивной частицы $\sigma_{аб}$ и поверхностная твердость материалов H , между которыми сжимается частица, связаны выражением:

$$\frac{h_p}{R_{np}} = \frac{\sigma_{аб}}{2H} \quad (2)$$

При ударном воздействии абразивных частиц возможно продавливание абразивом поверхностного слоя покрытия. Чтобы исключить это явление, необходимо определить критическую толщину слоя, при которой еще не будет происходить продавливание его заземленной частицей, а также твердость покрытия.

Будем рассматривать систему «слой-сердцевина» как плоский слой высокой твердости толщиной h , лежащей на пластичном полупространстве. На поверхность упроченного слоя действует абразивная частица радиусом R_{np} , нагруженная осесимметричной ударной силой P , перпендикулярной к поверхности. Примем допущения:

- верхний поверхностный слой однороден, имеет равномерную толщину и жестко связан с сердцевиной;

- трение между слоями отсутствует;
- материал сердцевины, слоя (покрытия) и частицы характеризуется собственными модулями упругости E , коэффициентом Пуассона μ , предельными напряжениями σ ;
- нормальное напряжение слоя и сердцевины в точке пересечения с направлением силы P равны между собой.

Для установления несущей способности системы «слой-сердцевина» достаточно определить величину критической силы $P_{кр}$, при которой происходит продавливание слоя, соответствующую ей критическую толщину напыленного слоя $h_{кр}$ и величину местного смятия α . Максимальная величина критической силы определяется выражением:

$$P_{кр} = \frac{8G \cdot a^3}{3R_{np}}, \quad (3)$$

где $G = \frac{E_{np}}{2(1-\mu)}$ - модуль сдвига, МПа;

E_{np} – приведенный модуль упругости, МПа;

$$E_{np} = \frac{E_2(1-\mu_3)}{(1-2\mu_2)(1-\mu_1)}, \quad (4)$$

где E_2 – модуль упругости покрытия, МПа;

μ_1, μ_2, μ_3 – соответственно коэффициенты Пуассона абразивной частицы, покрытий и сердцевины;

α – радиус отпечатка, мм;

R_{np} – приведенный радиус абразивной частицы, мм.

С другой стороны, из условия подвижности рассматриваемого сопряжения, величина критической силы не может быть больше силы, необходимой для разрушения абразивной частицы, и может быть определена из выражения:

$$P_{кр} = \pi \cdot R_{np}^2 \cdot \sigma_{аб} \quad (5)$$

Согласно данному выражению величина критической силы для разрушения частиц материала с размерами 20 мкм и 30 мкм будет составлять 0,31 Н и 0,71 Н.

Для расчета критической толщины напыленного покрытия, обозначив отношения его толщины h к радиусу отпечатка α через $\lambda = h/\alpha$, после преобразований получим:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{3R_{np} \cdot P_{кр} \cdot \lambda^3 (1-\mu_2)}{4E_{np}}} \quad (6)$$

С учетом выражения для $P_{кр}$ получим:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{3R_{np}^3 \cdot \lambda^3 (1-\mu_2) \cdot \pi \cdot \sigma_{аб}}{4E_{np}}} \quad (7)$$

Общую деформацию системы «слой-сердцевина» можно рассматривать как сумму двух составляющих

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (8)$$

где α_1 – упругая составляющая деформации, мм;

α_2 – пластическая составляющая деформации, мм.

Упругая составляющая деформации может быть определена по уравнению Герца:

$$\alpha_1 = k \cdot P_{кр}^{0,33} \quad (9)$$

где $k = \sqrt[3]{\left[\frac{3(1-\mu^2)}{4E_{np}}\right]^2 \cdot \frac{1}{R_{np}}}$ - коэффициент, зависящий от формы и упругих свойств соударяющихся тел.

Пластическая составляющая деформации α_2 может быть найдена на основе эмпирической зависимости Ишлинского Ю.А. [4]

$$\alpha_2 = \frac{0,18 \cdot P_{кр}}{\pi \cdot \alpha \cdot \sigma_3} \quad (10)$$

После подстановки выражений α_1 и α_2 получим:

$$\alpha = \sqrt[3]{\left[\frac{3(1-\mu^2)}{4E_{np}}\right]^2 \cdot \frac{1}{R_{np}} \cdot P_{кр}^{0,33}} + \frac{0,18 \cdot P_{кр}}{\pi \cdot q \cdot \sigma_3} \quad (11)$$

Полученные выражения позволяют производить оценочные расчеты по определению несущей способности покрытия (слоя). Видно также, что критическая толщина слоя прямо пропорциональна размеру абразивных частиц, их глубине внедрения и пределу прочности при сжатии, обратно пропорциональна приведенному модулю упругости системы «слой-сердцевина». Из выражений следует, что с увеличением твердости материала сердцевины (увеличение E_{np} , σ_3) несущая способность системы повышается.

Несущую способность покрытия определяли методом взаимодействия алмазной призмы твердомера ПМТ-3 с углом при вершине 136° при заданной нагрузке. Считалось, что слой покрытия имеет достаточную несущую способность, если после снятия нагрузки с индикатора на краях четырехугольной лунки не обнаружилось трещин характерных для разрушенного покрытия [5]. На критическую толщину покрытия существенно влияет твердость сердцевины. При ее недостаточной твердости возникает продавливание слоя покрытия. Во избежание этого необходима термообработка сердцевины. Замер критической толщины напыленного покрытия на исследуемых образцах показал, что она находится в пределах 28-36 мкм.

Выводы

1. Установлено, что причиной износа и нарушения работы прецизионных пар топливной аппаратуры является схватывание в процессе приработки деталей и абразивный износ при взаимодействии в процессе работы деталей с твердыми частицами, попадающими с топливом.
2. Разработана технология восстановления деталей способом интегрированного газопламенного напыления покрытий со щеточной обработкой.
3. Предложенный способ восстановления деталей типа плунжеров интегрированным газопламенным напылением покрытия ПГ-10Н-01 со щеточной обработкой повышает износостойкость рабочих поверхностей в 1,75-2,5 раза и может быть рекомендован к использованию в действующем производстве.
4. Установлена критическая толщина напыленного покрытия обеспечивающая нормальную работу деталей в процессе эксплуатации и его твердость, обеспечивающая препятствие продавливания слоя покрытия абразивными частицами.
5. Предложен способ оценки несущей способности покрытия.

Список литературы

1. Бахтиаров Н.И. и др. «Повышение надежности работы прецизионных пар топливных аппаратов диффузией». М: Машиностроение, том 1, 1972, с 207.
2. Бахтиаров Н.И., Логинов В.Е. «Производство и эксплуатация прецизионных пар» М: Машиностроение, 1979, с. 205.
3. Бугаев В.Н. «Восстановление плунжерных пар топливных насосов» М: Техника в сельском хозяйстве, №12. 1987, с. 46-48.
4. Ишлинский А. Ю. «О проскальзывании в области контакта при трении качения» М: АН СССР ОТН – 1993 - №6, с. 3-15.
5. Бугаев В.Н., Долматов А.И., Кривцов В.С., Мовшович А.Я. и др. «Повышение ресурса модулей двигателей технологическими методами» Запорожье, ОАО "Мотор Сич", 2008, с. 269.

Рецензент: д.т.н., проф., Е.А. Фролов Украинская Государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков

Поступила в редакцию 11.04.12

Повышение надежности прецизионных пар дизелей и оценка толщины антифрикционного покрытия при их восстановлении

Запропоновано спосіб оцінювання несучої здатності та визначено критичну товщину газополум'яного напиленого покриття з порошку самофлюсуючого сплаву ПГ-10Н-01, нанесеного на плунжер прецизійної пари паливної апаратури дизеля Д50, що забезпечує нормальну роботу деталей в процесі експлуатації в умовах абразивного зносу твердими частинками, що потрапляють в зазор між плунжером і втулкою.

Ключові слова: надійність, паливна апаратура, плунжер, антифрикційне покриття, газополум'яне напилення.

Enhancement of reliability of high-precision diesel twains and assessment of antifriction coating thickness while their restoring

A method for estimating bearing strength is proposed and critical thickness of flame-sprayed coating of the PG-10N-01 self-fluxing alloy powder, applied to plunger of high-precision twain of D50 diesel fuel-injection equipment providing normal operation of parts under conditions of abrasive wearing caused by solid particles penetrating into gap between the plunger and sleeve is determined.

Keywords: reliability, fuel-injection equipment, plunger, antifriction coating, flame-sprayed coating.