

К ВОПРОСУ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ СОВРЕМЕННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

СТЕПАНКИН И.Н.

УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого»
г.Гомель, Беларусь, тел: (0232)47-84-83, e-mail: igor-stepankin@mail.ru

Введение. Эффективность эксплуатации современных дизельных двигателей, во многом, обусловлена применением топливных систем высокого давления. Ключевым агрегатом в системе впрыска топливной смеси является насос-форсунка. Давление топлива внутри рабочей полости клапана насос форсунки может достигать 2200 бар [1]. Седло магнитного клапана, имеющее коническое углубление с отверстием для выхода топлива, перекрываемое шариком, является одной из наиболее чувствительных к качеству топлива деталей. Наличие даже незначительных взвесей в топливе, попадающих в рабочую зону клапана, приводит к интенсивному износу рабочей поверхности и нарушению герметичности системы в момент закрытия клапана, что в свою очередь изменяет закон впрыска топливной смеси и ухудшает эксплуатационные характеристики двигателя.

Наиболее простым и, казалось бы, логичным способом устранения повреждений является замена изношенных деталей. Возможность её проведения в настоящее время, сдерживается недостатком запасных частей, изготовление которых, как правило, осуществляется на специализированных предприятиях автомобильных концернов.

В этих условиях разработка технологии ремонта изношенных деталей является альтернативным вариантом для восстановления эксплуатационных характеристик дизельных двигателей.

Объект исследований. Объектом исследований является седло клапана насоса-форсунки дизельного двигателя. Коническое устье седла перекрывается шариком, смещение которого в осевом направлении участвует в процессе подачи топливной смеси в камеру сгорания.

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве материала для изготовления седла клапана и шарика, используется сталь ШХ15. Окончательная термообработка седла клапана обеспечивает металлу высокую твердость 62-64 HRC и износостойкость. Это обеспечивает надежную работу топливной аппаратуры двигателей новых автомобилей.

Большое количество автомобилей, ввозится в Республику Беларусь после продолжительной эксплуатации за рубежом. В этом случае большинство агрегатов проявляет первые признаки износа деталей. Не является исключением и топливная аппаратура. Дополнительным важным аспектом является и высокое требование к очистке топлива, а также, к своевременной замене фильтрующих элементов, что далеко не всегда осуществимо в условиях, когда сервисные предприятия не имеют достаточно развитой сети для квалифицированного обслуживания техники.

Износ рабочей поверхности седла клапана (рис.1) проявляется в виде совокупности микроскопических канавок, образованных в результате гидравлического изнашивания металла. Причиной возникновения данных повреждений могут быть кавитационные процессы, гидравлическое изнашивание мельчайшими взвесями и контактная усталость в результате пульсирующего воздействия сферической поверхности закаленного шарика [2].

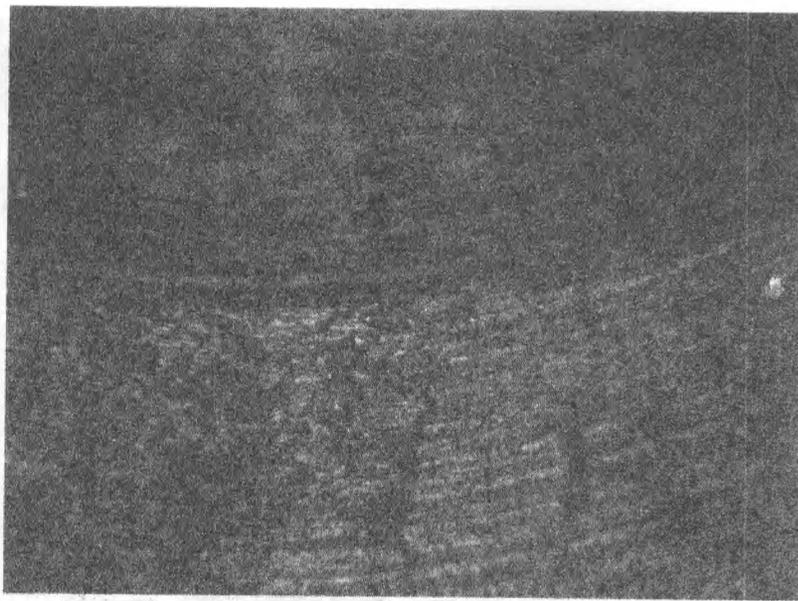


Рисунок 1 – Характер износа рабочей поверхности седла клапана

Уже при незначительной глубине обнаруженных дефектов нарушается герметичность закрытия клапана, и ухудшаются эксплуатационные характеристики работы двигателя. Ремонт поврежденной поверхности путем механической притирки рабочей поверхности седла устраняет повреждения. Это восстанавливает прежние характеристики двигателя, но сопровождается удалением упрочненного слоя на поверхности устья клапана.

Исследования микроструктуры оригинальных деталей показали, что толщина упрочненного слоя составляет порядка 4-5 мкм (рис. 2). Морфология слоя отличается от структуры подложки которая сформирована объемной закалкой. В мартенситной матрице подложки заметны мелкие карбидные частицы. Их присутствие закономерно для азевтктоидной стали ШХ15. В условиях высоких контактных нагрузок, возникающих при пульсирующем воздействии шарика на поверхность седла клапана, карбидные частицы становятся концентраторами напряжений. Их выкрашивание вызывает появление микроскопических повреждений и отказ клапана. Гомогенизированный рабочий слой препятствует этому. Из рисунка 3 видно, что поверхностный слой не является покрытием, а представляет собой модифицированный слой, сформированный в объеме основного материала. При этом заметен резкий структурный градиент между подложкой и поверхностным слоем. Данное наблюдение позволяет сделать вывод о том, что технология упрочнения основана на процессе высокоскоростной закалки. Данные процессы осуществляются с применением лазерного излучения [3].

Лазерная модификация обеспечивает формирование упрочненного слоя в зоне расположения шарика (рис. 3). В результате получается максимально однородная структура поверхностного слоя. За счет интенсивного охлаждения в тело детали, поверхностный слой претерпевает сверхбыструю закалку и его микротвердость возрастает до 13 ГПа, в то время как твердость подложки составляет 8,5-9 ГПа.

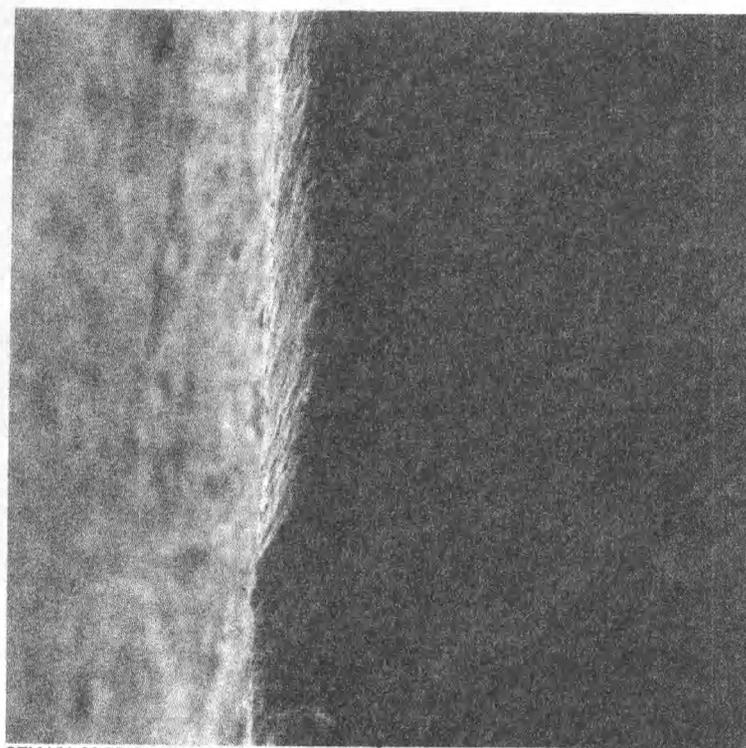


Рисунок 2 – Структура упрочненного слоя и подложки оригинальной детали – седло клапана

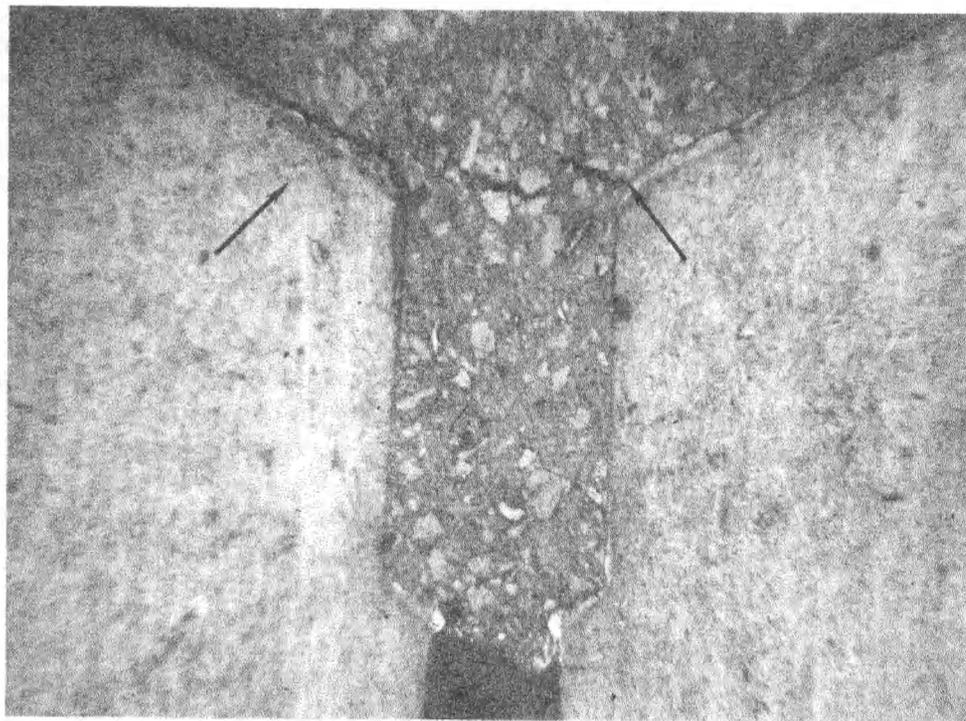


Рисунок 3 – Модифицированный поверхностный слой седла клапана в зоне сопряжения с поверхностью шарика

Исследования, проведенные на плоских заготовках из стали ШХ15 твердостью 62-64 HRC, показали, что лазерная гомогенизация способствует снижению шероховатости

первоначально притертой поверхности (рис.4). При упрочнении на глубину свыше 20 мкм поверхностный слой образует переходную зону. (рис.5).

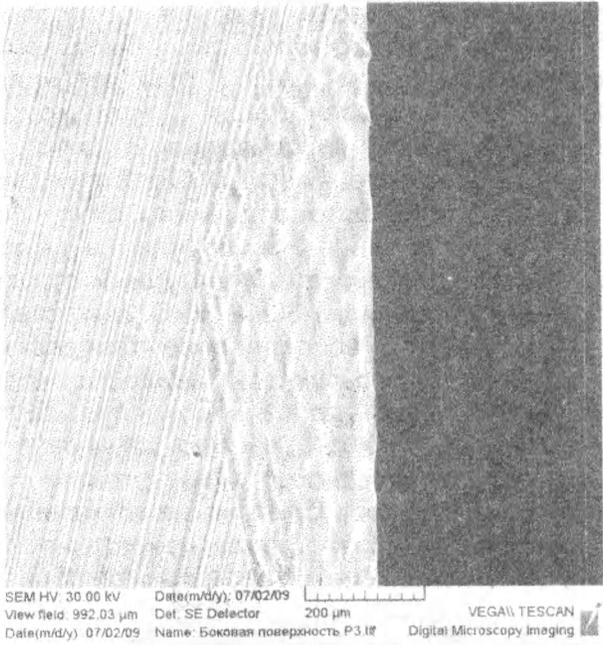


Рисунок 4 – Фронтальная поверхность плоской заготовки после её лазерной модификации

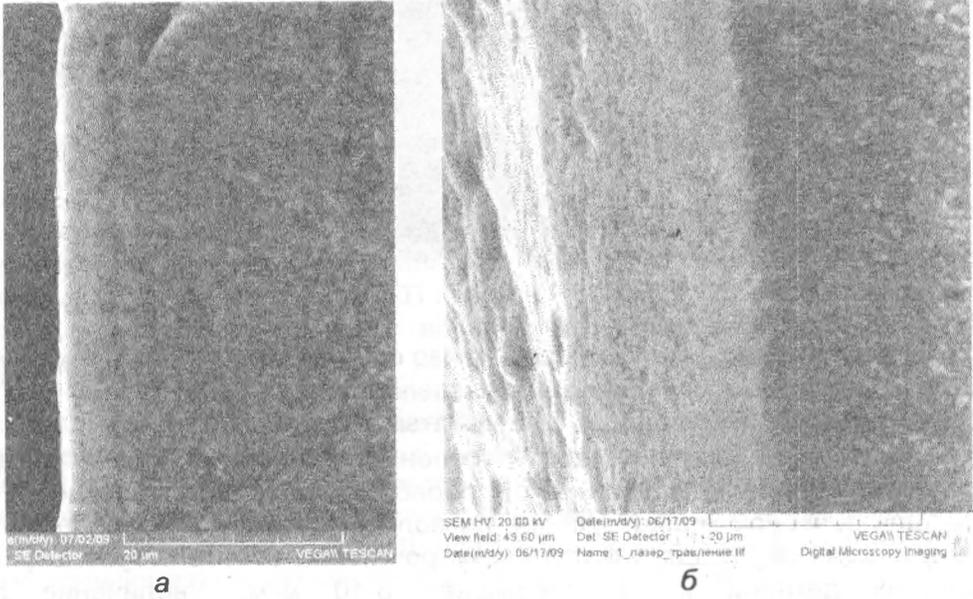
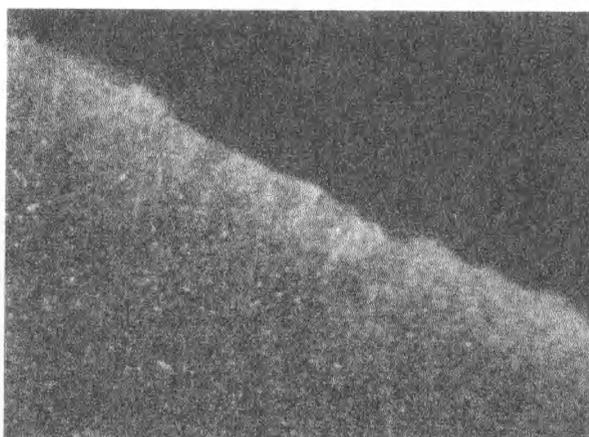


Рисунок 5 – Морфология модифицированных лазерным излучением поверхностей при различных толщинах упрочненного слоя: а) 5-7 мкм, б) более 20 мкм

Присутствие переходной зоны при получении достаточно толстых упрочненных слоев объясняется, по-видимому, недостаточно высокой скоростью охлаждения той части металла, которая находится под гомогенизированным слоем. При этом видно, что структура переходной зоны (рис. 5 б) отличается двухфазным строением. Это свидетельствует о том, что в процессе лазерной обработки данный объем металла не был переведен в жидкую фазу, в отличие от поверхностного слоя. Учитывая необходимость последующей полировки устья седла клапана был сделан вывод о нецелесообразности формирования двухфазного слоя, так как

возможные различия в свойствах, и в первую очередь в величине остаточных напряжений, могут привести к появлению микродефектов или даже расслоению упрочненного слоя. По данному соображению толщину упрочненного слоя ограничили величиной порядка 8-10.

В качестве альтернативной технологии упрочнения седла клапана после восстановления геометрии поверхности устья была исследована возможность синтеза развитого диффузионно-упрочненного слоя. С этой целью после притирки детали подвергали газовому азотированию в порошковой среде. Длительность насыщения составляла 4 часа, температура – 540°C, что естественно, приводило к отпуску восстановленных деталей. Самой сложной, в технологическом отношении фазой обработки восстановленных деталей, являлась их закалка до необходимой твердости сердцевины. Этот процесс осуществляли с нагревом в защитной атмосфере. Охлаждение проводили в масле. Окончательной операцией термической обработки являлся низкотемпературный отпуск. В результате была достигнута твердость основного металла порядка 60-62 HRC. Микротвердость упрочненной поверхности достигала порядка 17-18 ГПа. Распределение твердости от максимального значения у поверхности до величины характеризующей твердость сердцевины характеризуется плавной зависимостью (рис. 6). Глубина упрочненного слоя составляет не менее 0,2 мм. Это обеспечивает возможность финишной обработки устья седла клапана с целью окончательного формирования его геометрии перед повторной установкой в топливную систему двигателя. Изменения установочных размеров детали не отмечены. Достаточно большая глубина диффузионного упрочнения позволяет предусмотреть несколько повторных ремонтов седла клапана без применения дополнительной термической обработки детали.



б

Рисунок 6 – Характеристики азотированного слоя: а- структура ($\times 500$), б- микротвердость

Заключение. Полученные результаты позволяют провести сравнительный анализ двух технологических процессов восстановления деталей топливной аппаратуры дизельных двигателей. Применение механической обработки рабочей поверхности седла клапана с последующей лазерной модификацией, позволяет сформировать поверхностно-упрочненный слой твердостью до 13 ГПа. Толщина упрочнения соответствует глубине модификации оригинальных деталей и не превышает 8-10 мкм. Увеличение данного значения нецелесообразно вследствие возможного отделения модифицированного слоя из-за появления переходной зоны между аморфизированным слоем и подложкой. Данная технология не требует проведения объемной термической обработки восстанавливаемых деталей. В тоже время технологически сложным этапом является процесс тонкой настройки характеристик квантового генератора, который требует подбора плотности мощности лазерного излучения и учета геометрии упрочняемых поверхностей.

Применение диффузионного упрочнения в качестве альтернативной технологии упрочнения после ремонта деталей топливной аппаратуры требует осуществления повторной объемной термообработки деталей в защитной среде с целью исключения окисления поверхностей деталей. При этом диффузионное упрочнение формирует твердый и развитый

упрочненный слой, который позволяет осуществлять несколько последующих ремонтов поверхности седла клапана без дополнительных затрат на термическую обработку деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bosch - Системы управления дизельными двигателями Перевод с немецкого. Первое русское издание. – М.: ЗАО «ЮКИ «За рулем», 2004. – 480 с.
2. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях.– М.: Мир, 1984.– 624 с.
3. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. Москва «Машиностроение» 1989г. – 301с.