

УДК 621.43

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ДВС, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ МИНИ-ТЭЦ

А.В. Разуваев, Д.А. Костин, И.О. Кудашева, Т.И. Перельгина

Рассматривается вопрос повышения надежности работы газопоршневых мини-ТЭЦ посредством повышения надежности деталей ДВС методом поверхностного пластического деформирования с исключением кавитационного износа путем нанесения антифрикционных композиционных покрытий.

Ключевые слова: мини-ТЭЦ; надежность; долговечность; нагружение; поверхностно-пластическое деформирование; ультразвуковая обработка; поверхностно-активные вещества.

IMPROVEMENT OF RELIABILITY OF NODES AND PARTS OF ICE INCLUDED IN THE COMPOSITION OF MINI-CHP

A. V. Razuvaev, D. A. Kostin, I. O. Kudasheva, T. I. Perelygina

The article considers the issue of increasing the reliability of the operation of gas-piston mini-CHP by improving the reliability of ICE parts by the method of surface plastic deformation, with the exception of cavitation wear by applying antifriction composite coatings.

Keywords: mini-CHP; reliability; durability; loading; surface plastic deformation; ultrasonic treatment; surface-active substances.

Энергетика является одним из стратегических направлений развития промышленности любой страны. Наряду с развитием традиционной энергетики, перспективным и эффективным направлением является применение средств малой энергетики. Одним из таких средств являются малые теплоэлектростанции или мини-ТЭЦ.

Мини-ТЭЦ – электростанция с комбинированным производством электроэнергии и тепла (принцип когенерации), расположенная в непосредственной близости от конечного потребителя. В качестве источника энергии в мини-ТЭЦ используются двигатели внутреннего сгорания (ДВС): дизельные, газовые и газотурбинные.

Наибольшей эффективностью и надежностью отличаются установки на основе газовых (газопоршневых) двигателей. Они также удовлетворяют современным требованиям к экологическим выбросам в окружающую среду, снижению эксплуатационных расходов при работе на газообразном топливе и доступностью его использования. Актуальность повышения эксплуатационной надежности ДВС определяется также тем, что они могут использоваться для обеспечения работы абсорб-

ционных холодильных установок (тригенерация) в системах кондиционирования [1].

Надежность мини-ТЭЦ определяется надежностью высоконагруженных подвижных деталей ДВС. Для повышения их эксплуатационной надежности в настоящее время широко применяется поверхностное пластическое деформирование ППД на завершающих стадиях обработки, обеспечивающих снижение внутренних остаточных напряжений. Кроме того, данный метод позволяет сформировать предварительное напряженно-деформированное состояние материала поверхностных слоев прецизионных деталей, и тем самым в процессе работы частично компенсировать рабочие нагрузки, повысив эксплуатационную надежность [2].

Следует отметить, что надёжность включает такие понятия как, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, а также сочетание этих свойств [3]. Следовательно, проблема повышения эксплуатационной надежности должна рассматриваться при комплексном учёте взаимовлияющих факторов: остаточные напряжения, механические свойства материала, способы упрочняющей обработки, коэффициент динамичности нагрузки. При

работе в масляной среде добавляется проблема кавитационного износа, приводящего к образованию усталостных явлений в металлах [4].

Эксплуатационная надежность мини-ТЭЦ при выработке электроэнергии переменного тока в большей степени определяется надежностью работы регулятора скорости, который при переменной нагрузке должен обеспечить заданную стабильность частоты вырабатываемой электрической энергии. Это ставит задачу повышения эксплуатационной надежности элементов регулятора скорости ДВС.

В данной работе рассматривается эффективность комплексного подхода к обеспечению эксплуатационной надежности золотника регулятора скорости ДВС путем применения поверхностного пластического деформирования (ППД), поверхностно-активных веществ (ПАВ), мероприятий по снижению коэффициента динамичности.

Применение ППД позволяет снять технологические остаточные напряжения и сформировать заданные внутренние напряжения для частичной компенсации рабочих нагрузок. Методика использования данного подхода описана в [2]. В данном случае используется эффективный и экологически чистый способ упрочняющей обработки деталей ультразвуком.

Поверхностно-активные вещества используются для устранения кавитационного износа [4]. В [4] показаны два основных вида износа золотниковой системы – износ за счет ударов и вибраций при работе регулятора, а также кавитационный износ поверхности.

Причинами вибрации подвижных деталей являются, прежде всего, удары поршней и золотников регулятора скорости в процессе работы о внутреннюю поверхность направляющих втулок, в результате которых возникают внутренние затухающие колебания структуры золотника (рисунок 1).

При этом на внешних поверхностях золотников и поршней регуляторов в масляной полости возникают знакопеременные напряжения растяжения и сжатия, приводящие к образованию и захлопыванию кавитационных пузырей, что вызывает кавитационную эрозию. Следует иметь в виду, что существует перераспределение напряжений на наружных поверхностях золотников и поршней регуляторов [5]. При этом в зоне кавитационной эрозии увеличиваются сжимающие напряжения, а в противоположной зоне – растягивающие. Это перераспределение напряжений приводит к снижению эксплуатационной надежности сопряжений “поршень, золотник – втулка” регулятора и вызывает увеличение амплитуды вибраций – образуется положительная обратная связь, приводящая к увеличению амплитуды колебаний. Анализ имеющихся

литературных источников [6] показал, что основным механизмом изнашивания при кавитационной эрозии является ударно-усталостный. Диапазон колебаний (средняя частота срыва каверн), при которых возможен процесс кавитационного изнашивания, лежит в пределах от 5 до 10000 Гц [4], наиболее интенсивные тональные составляющие вибрации поршней и золотников регуляторов скорости, как правило, расположены в частотном диапазоне от 800 до 8000 Гц. Частота соударения микроструй смазочного масла при образовании кавитационной каверны составляет от сотен до десятков тысяч Герц [4]. При вибрационной кавитации каждый элемент поршня и золотника регулятора скорости подвергается воздействию большого числа циклов кавитации за малый период времени – несколько миллисекунд. При этом силы, её вызывающие, представляют собой высокочастотные колебания давления с большой амплитудой [7]. Причина этих колебаний – погруженная в масло вибрирующая в направлении нормали поверхность, которая и создаёт волны давления. Для поршней и золотников регуляторов, изнашиваемых движущимся потоком масла с образованием присоединенной каверны, ударно-циклическое изнашивание формируется под действием периодических соударений порядка 10^9 МПа микрокапель масла, образующихся в присоединенной каверне, с изнашиваемой поверхностью [8].

В масляном слое золотников и поршней регуляторов скорости, за счет ударно-циклического нагружения элементов, параллельно с кавитационной эрозией возникают гидродинамические колебания, определяемые коэффициентом динамичности K_d . Расчетно-экспериментальными исследованиями показано, что для регуляторов скорости величина K_d в масляном слое составляет 1,20 [2]. С целью повышения эксплуатационной надежности элементов регуляторов скорости путем уменьшения кавитационной эрозии и снижения коэффициента за счет изменения условий смазки разработана конструкция поршня, золотника и направляющей

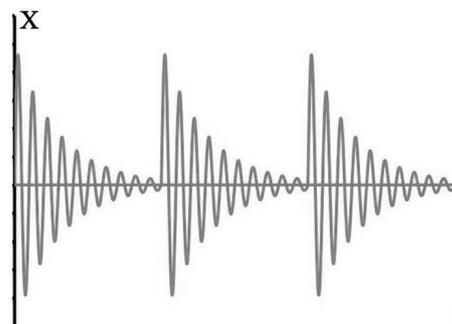


Рисунок 1 – Внутренние затухающие колебания

втулки с нанесенными с рабочей стороны поверхностно-активными веществами, представляющими композиционную смазку – эпиламирующий раствор высокомолекулярных поверхностно-активных веществ во фтор-содержащих растворителях хладагоне 112,113,114В₂ или их смесях [8]. В качестве ПАВ использованы отечественные эмульгаторы 6СФК-180-0,5. Внешний вид рабочей поверхности поршня регулятора с кавитационной эрозией без покрытия ПАВ представлен на рисунке 2, с покрытием ПАВ – на рисунке 3.

При покрытии рабочей поверхности поршня эмульгатором образуется защитная антифрикционная пленка в сопряжении “поршень – втулка регулятора”, что позволяет уменьшить кавитационную эрозию (рисунки 2, 3).



Рисунок 2 – Рабочая поверхность поршня регулятора с кавитационной эрозией



Рисунок 3 – Рабочая поверхность поршня регулятора с эмульгатором 6СФК-180-0,5

Технологический процесс покрытия рабочих поверхностей поршня, золотника и направляющей втулки регулятора скорости ПАВ включает:

- обезжиривание поверхностей в спирте, бензине, ацетоне или других растворителях: детали погружают в емкость с растворителем, механические примеси удаляют с поверхностей до обезжиривания;
- просушку на воздухе при комнатной температуре в течение 300–400 сек;
- погружение поршня, золотника, направляющей втулки в эпиламирующий раствор на 360–480 сек при температуре окружающей среды с периодическим перемешиванием состава. Емкость эпилама составляет 1 кг на 6 м² поверхностей деталей регулятора скорости;

- заключительной стадией технологии обработки эмульгатором является сушка эпиламированных элементов регулятора скорости на воздухе в течение 1200–1800 сек.

При необходимости длительного хранения, элементы регулятора после эпиламирования покрывают слоем консервирующего смазочного материала. Во избежание улетучивания растворителя состав хранят при температуре не более 30 °С вдали от нагревательных приборов.

Результаты экспериментальных исследований материалов образцов на усталость до и после совершенствования технологического ППД свидетельствуют о том, что упрочняющие обработки ПАВ и ультразвуком повышают эксплуатационную надежность прецизионных деталей по критерию “коэффициент влияния поверхностного упрочнения” до $K_{\nu} = 1,244$, который лежит в пределах ГОСТ 25.504–1,10-1,30.

Литература

1. Анализ эффективности применения когенерационных установок / Частное научно-производственное предприятие “Фрезия”. URL: <http://www.sinus.org.ua>.
2. Кудашева И.О. Оценка виброударного нагружения и начальных остаточных напряжений после поверхностного пластического деформирования поршней и золотников регуляторов скорости форсированных дизелей / И.О. Кудашева, С.П. Косырев // Вестник Саратовского госуд. техн. ун-та. 2007. № 3 (27). С. 62–67.
3. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 40 с.
4. Чугунов Г.П. Кавитационный износ гильз цилиндров и пути его уменьшения / Г.П. Чугунов // Актуальные проблемы транспорта Поволжья и пути их решения: межвуз. научн. сб. СГТУ. Саратов, 2001. С. 96–102.
5. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации / С.П. Козырев. М.: Машиностроение, 1971. 240 с.
6. Погодаев Л.И. Гидроабразивный и кавитационный износ садового оборудования / Л.И. Погодаев, П.А. Шевченко. Л.: Судостроение, 1984. 264 с.
7. Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хеммит. М.: Мир, 1974. 688 с.
8. Кудашева И.О. Кавитационная эрозия элементов регуляторов скорости форсированных дизелей / И.О. Кудашева, С.П. Косырев // Вестник Саратов. госуд. техн. ун-та. 2009. № 1 (37). С. 62–67.