

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПРОГАРА ПОРШНЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Дойников А.И.¹, Дударева Н.Ю.¹

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, anton.doinikov2013@yandex.ru

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, прогар, поршень, алюминиевый сплав, микроструктура, модель, 3D-моделирование

Прогар поршня остается одной из наиболее разрушительных форм отказа в двигателях внутреннего сгорания (ДВС), приводящей к выходу из строя всего двигателя и необходимости дорогостоящего капитального ремонта. Актуальность этой проблемы обусловлена жесткими условиями эксплуатации деталей современных ДВС, в которых поршни испытывают значительные механические и термические нагрузки, особенно в зоне днища, где температура может достигать 300–400 °С при пиковых значениях температур в камере сгорания ~2700 °С. Повышенные температуры, в сочетании с ударными и вибрационными нагрузками, ускоряют разрушение материала и инициируют процесс прогара. Для предотвращения прогара поршней и эффективной борьбы с этим явлением важно понимать механизм возникновения прогара. Анализ научной литературы показал, что на настоящий момент представления о механизме прогара поршней отсутствуют. По этой причине была сформулирована цель исследования.

Целью настоящего исследования является разработка модели механизма прогара поршня, основанной на анализе структурных изменений, происходящих в материале на различных стадиях разрушения. В качестве объекта исследования использовались поршни двухтактного двигателя РМЗ-551i, выполненные из иностранного алюминиевого заэвтектического сплава марки М244, характеризующегося высоким содержанием кремния (23–26 %). Исследование проводилось в два этапа: 1) сначала с использованием оптического и растрового электронных микроскопов выполнялся металлографический анализ материала поршня с прогаром и без прогара, что позволило выявить изменения, возникающие в структуре материала; 2) затем с применением программного комплекса SolidWorks и его приложения SolidWorks Simulation выполнялось численное моделирование температурного состояния поршня с учетом тепловых и механических нагрузок, действующих на него [1].

На первом этапе исследовалась структура материала поршней в разных состояниях: материал нового поршня, который не эксплуатировался; материал поршня, у которого замечена начальная стадия прогара в виде углубления на поверхности днища; материал поршня с прогаром, который представлял собой сквозное отверстие в днище поршня.

Металлографический анализ позволил выявить изменения в структуре алюминиевого сплава, возникшие на разных стадиях прогара. Анализ шлифов показал, что материал нового поршня плотный, какие-либо дефекты отсутствуют. В связи с тем, что сплав поршня является заэвтектическим – в алюминиевой матрице сплава наблюдаются крупные включения первичного кремния. У поршня с начальной стадией прогара начинается разрушение материала, характеризующееся образованием пор, которые сконцентрированы преимущественно вблизи поверхности днища. В материале поршня с прогаром в финальной стадии количество дефектов в виде пор увеличивается, они распространяются вглубь материала, формируя протяженные зоны деградации. В некоторых случаях поры, срастаясь, образуют трещины, способствующие сквозному разрушению материала поршня. Выявлено, что размеры пор коррелируют с размерами частиц кремния в алюминиевой матрице сплава.

Дополнительно была проведена оценка распределения пор по глубине материала поршня, что позволило выявить пространственную закономерность их формирования. Анализ микрошлифов показал, что поры возникают не только в приповерхностной зоне, подвергающейся непосредственному воздействию газов камеры сгорания, но и на глубине до нескольких сотен микрометров от поверхности. При этом плотность пор уменьшается по мере

удаления от зоны действия максимальных тепловых нагрузок, однако их наличие в толще материала свидетельствует о глубинной деградации структуры [2].

Сопоставление распределения пор с результатами моделирования теплового состояния поршня позволило выявить корреляцию между температурными зонами в материале днища поршня и концентрацией дефектов. Это подтвердило основную роль температуры в механизме формирования прогара.

Проведенное исследование показало, что механизм прогара поршня, выполненного из высококремнистого алюминиевого сплава, заключается в образовании пор, срастании пор в протяженные трещины, которые и приводят к разрушению материала [3]. Полученные данные указывают на необходимость учета при разработке конструкций распределения температуры в теле поршня, особенно в области днища, где тепловые нагрузки достигают максимальных значений.

Результаты исследования могут быть использованы в практике двигателестроения при проектировании поршней с повышенной стойкостью к термическому разрушению.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания № FEUE-2023-0007 (УУНиТ).

Список литературы

1. Гусев, А. В., Терещенко, А. Л. Моделирование прогара поршня внутреннего сгорания с использованием программного комплекса ANSYS // Техническая механика. - 2016. - №3. - С. 20-25.
2. Петров, В. И., Смирнов, А. Г. Особенности тепловых процессов при прогаре поршня двигателя внутреннего сгорания // Энергетика и теплотехника. - 2011. – №3. – С. 28-33.
3. Землянов А.В., Гатиятуллина Д.Д., Утяганова В.Р., Шамарин Н.Н., Никонов С.Ю., Романова В.А., Балохонов Р.Р. Особенности деформирования и разрушения эвтектики в композиционном аддитивном алюминиево-кремниевом сплаве // Физическая мезомеханика. – 2023. №26 (4). – С. 103–116.

Сведения об авторах

1. Дойников Антон Игоревич, аспирант, инженер. Область научных интересов: исследование причин прогара поршней и методов их упрочнения
2. Дударева Наталья Юрьевна, д.т.н., профессор кафедры ДВС УУНиТ. Область научных интересов: многофункциональные материалы и покрытия для деталей двигателей внутреннего сгорания.

INVESTIGATION OF THE PISTON BURNOUT MECHANISM IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Doynikov A.I., Dudareva N.Y.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, anton.doinikov2013@yandex.ru

Keywords: internal combustion engine, burnout, piston, aluminum alloy, microstructure, model, 3D modeling

The mechanism of piston burnout in a two-stroke engine is investigated. The material structure of the new piston and the piston with burnout is analyzed. It has been established that the burnout mechanism consists in the appearance and connection of pores in the volume of the piston material.