

УДК 621.432

В.В. ШПАКОВСКИЙ, О.Ю. ЛИНЬКОВ*Национальный технический университет “ХПИ”, Харьков, Украина***АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРШНЕЙ С КОРУНДОВЫМ СЛОЕМ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА**

Приведены результаты и анализ исследований показателей топливной экономичности двигателя МеМЗ-245, укомплектованного поршнями с корундовым поверхностным слоем и двигателя серийной комплектации на режимах холостого хода и на частичных нагрузках. Также рассматривается влияние толщины корундового слоя на показатели работы двигателя. Отмечается улучшение технико-экономических показателей двигателя, укомплектованного поршнями с корундовым слоем, происходящее во всём диапазоне нагрузок и особенно заметное на частичных режимах, что является важным для двигателя транспортного средства.

двигатель с искровым зажиганием, поршень, корунд, экономичность, расход топлива, характеристики, температура

Введение

Одной из проблем современного двигателестроения является снижение расхода топлива. Проблема эффективного использования органических светлых жидких топлив для двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием, в связи с ростом потребления топлива и значительным его подорожанием, является чрезвычайно актуальной.

В результате поиска путей снижения расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания некоторые исследователи предсказывали тридцати процентную экономию топлива [1, 2] в двигателях из керамических материалов или при применении теплоизоляции стенок камеры сгорания. Другие исследователи [3] экспериментально и путём численного моделирования получили значительный рост затрат топлива (примерно на 15 г/кВт ч) при полной нагрузке двигателя с поршнем, теплоизолированным слоем керамики толщиной 5 мм и коэффициентом теплопроводности 2 Вт/м.К. При этом температура головки теплоизолированного поршня при полной нагрузке дизеля без наддува достигала 800⁰С, а без теплоизоляции 250⁰С.

Отрицательное влияние теплоизоляции на эффективность работы двигателя объяснялось сле-

дующим. В процессе впуска происходит подогрев воздушного заряда, растёт удельная теплоёмкость топливной смеси, что и приводит к увеличению удельного расхода топлива. Так же причиной такого увеличения потребления топлива (вместо ожидаемого уменьшения), по мнению исследователей, является конвективное ускорение теплопередачи от пламени к поршню при повышении температуры поверхности во время периода воспламенения. Происходит так называемый конвективный всплеск. Возникает более крутой градиент температуры в поверхности поршня, а с ростом температуры поверхности теплоизоляции повышается коэффициент теплопроводности. И, несмотря на снижение полного (по циклу) теплового потока в детали камеры сгорания, расход топлива увеличивается.

Авторами сделан вывод, что теплоизоляция поршня увеличивает температуру поверхности поршня и уменьшает разницу между температурой газа и поверхностью. Это снижает тепловой поток, но при этом одновременно увеличивается коэффициент теплопроводности, что приводит к увеличению теплового потока в поршень. Превалирующее влияние первого или второго фактора сильно зависит от величины температуры поверхности. Значит,

при определённой температуре поверхности теплоизоляция не будет оказывать никакого влияния на рабочий цикл, потому, что уменьшение температурного перепада между газом и теплоизолирующей поверхностью будет компенсироваться ростом коэффициента теплопроводности.

В работе [4] отмечается, что с увеличением толщины теплоизолятора примерно от 1 мм до 20 мм температура поверхности поршня увеличивается от 300 до 1300 °С. И возможен случай, когда с увеличением теплоизоляции полный тепловой поток в поршень возрастёт. Приведен график удельного расхода топлива и толщины применяемой теплоизоляции, как функции средней температуры поверхности поршня (рис. 1).

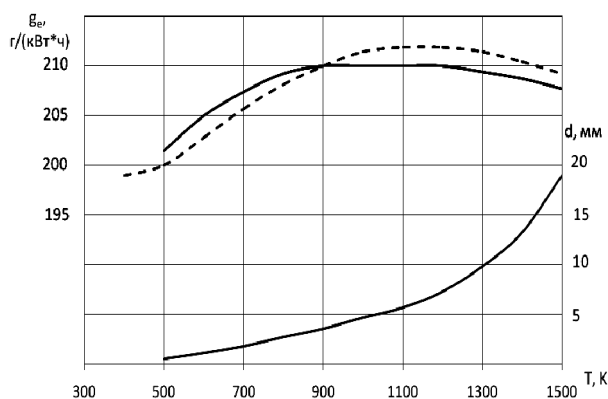


Рис. 1. Удельный эффективный расход топлива и толщина применяемой теплоизоляции, как функция средней температуры поверхности головки поршня:
 ———— - измеряемое потребление топлива;
 - - - - - расчетное потребление топлива.
 толщина применяемой теплоизоляции

Из графика рис. 1 видно, что с увеличением средней температуры поверхности головки поршня от 500 до 1200 К расход топлива увеличивается. На основании проведенных исследований Woschni сделал вывод о том, что применение теплоизоляции поверхности камеры сгорания в поршне приводит к увеличению расхода топлива. Делая такой вывод для толщин теплоизоляции от 1 до 20 мм, Woschni, тем не менее, показал, что при малых толщинах теплоизоляции происходит снижение расхода топлива

и повышается эффективность работы двигателя. Однако исследований при толщине теплоизолирующего слоя менее 1 мм не проводилось.

Для наглядности на рис. 2 показан график зависимости расхода топлива, а на рис. 3 – средней температуры поверхности поршня от толщины применяемой теплоизоляции (в соответствии с рис.1), так как именно толщина применяемой теплоизоляции влияет на перечисленные параметры.

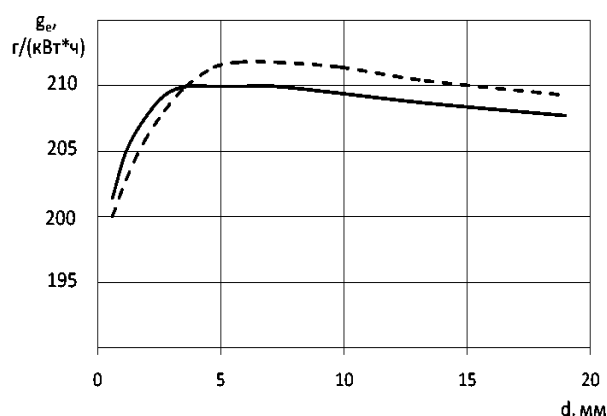


Рис. 2. Зависимость удельного эффективного расхода топлива и средней температуры поверхности поршня от толщины применяемой теплоизоляции:
 ———— - измеряемое потребление топлива;
 - - - - - расчетное потребление топлива

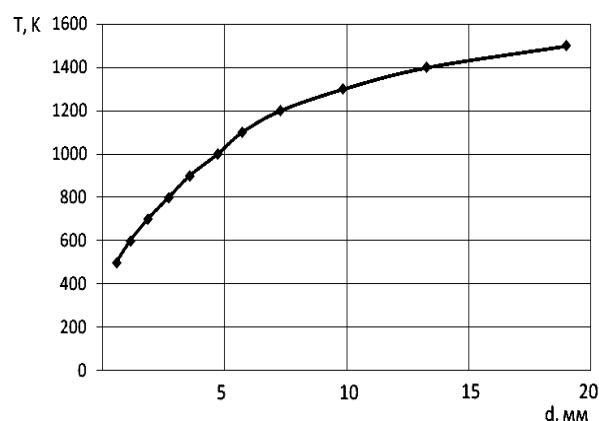


Рис. 3. Зависимость средней температуры поверхности поршня от толщины применяемой теплоизоляции

Как видно из рисунков, при применении теплоизоляции толщиной менее 2 мм на графиках прослеживается тенденция снижения расхода топлива.

Экспериментальные исследования [5] на дизелях, оснащенных поршнями с керамическим покрытием

толщиной 0,2 – 0,9 мм продемонстрировали снижение эффективного расхода топлива на 8 – 10 г/л.с.ч. за счёт более полного сгорания и уменьшения потерь теплоты. Здесь же подчёркивается, что эффективный расход топлива с покрытиями в большей мере зависит от характера процесса сгорания, чем от производительных потерь теплоты. А процесс сгорания зависит от температуры поверхностей камеры сгорания и от процесса смесеобразования. Умеренное повышение температуры поверхности поршня с покрытием улучшает экономичность дизеля. Делается вывод, что для дизеля с наддувом существует оптимальная температура поверхности покрытия, обеспечивающая наиболее эффективный процесс сгорания. Так для дизеля 1СН 25/34 (рис. 4) наибольшее улучшение экономичности обеспечивает покрытие из окиси алюминия толщиной 0,2 – 0,9мм.

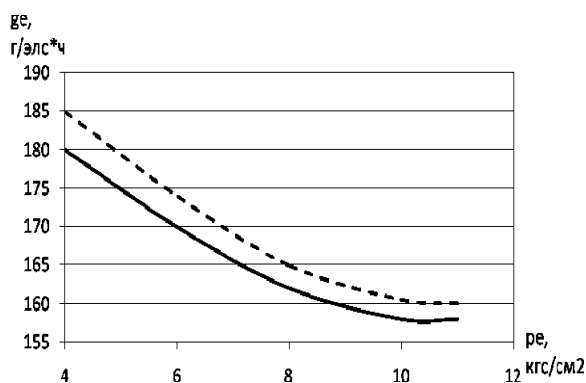


Рис.4. Зависимость удельного эффективного расхода топлива дизеля 1СН 25/34 от нагрузки [5]:

----- поршень с покрытием;
 - - - - - поршень без покрытия

При использовании оксидных керамических покрытий [6] для тепловой защиты рабочих поверхностей деталей цилиндро-поршневой группы двухтактного двигателя внутреннего сгорания были улучшены основные характеристики двигателя. Керамические покрытия на поршне и головке цилиндра толщиной около 60 мкм уменьшили теплоотвод и, за счёт повышения максимальной температуры в камере сгорания, на 6% увеличилась максимальная мощность двигателя и на 3,2% снизился удельный расход топлива. Однако в промышленности керами-

ческие покрытия не нашли применения из-за их отслаивания, что приводило к остановке двигателя.

Таким образом, наметился путь решения проблемы теплоизоляции деталей камеры сгорания - применение тонких (толщиной до 1 мм) неотслаивающихся оксидных керамических теплоизолирующих покрытий.

Целью данной работы является оценка влияния керамического корундового слоя деталей камеры сгорания, образованного гальваноплазменной обработкой, на мощностные и экономические показатели двигателя МеМз – 245, на базе проведенных экспериментальных исследований.

Изложение основного материала с обоснованием научных результатов

В экспериментальных исследованиях были использованы поршни, прошедшие гальвано-плазменную обработку огневого днища и кольцевого пояса поршня на наружной поверхности которых образован корундовый слой, толщиной до 0,2 мм. Такой тип обработки основан на преобразовании поверхностного слоя детали из алюминиевого сплава в корунд с высокой адгезией к основному металлу [7, 8]. Таким образом была решена проблема предотвращения отслаивания теплоизолирующих покрытий.

Исследования проводились на Мелитопольском моторном заводе в лаборатории испытания двигателей экспериментального цеха на тормозной установке с динамометром постоянного тока при участии А.И. Беседина, А.Ф. Реппих и Ю.Г. Оганова. Испытательное оборудование и приборы обеспечивали точность измеряемых параметров в пределах требований ГОСТ 14846-81. Двигатель МеМЗ-245 оборудовался поочередно серийными поршнями и поршнями с корундовым поверхностным слоем.

При проведении испытаний осуществлялось измерение температуры внутренней части поршней и температур в кольцевых канавках поршней с помощью датчиков ИМТК. Установлено, что поршни с

корундовым слоем имеют более низкую температуру с внутренней стороны на $12 - 15^{\circ}\text{C}$. Над верхним компрессионным кольцом температуры равны или ниже на $15 - 32^{\circ}\text{C}$, в перемычке между 1-м и 2-м кольцом равны или ниже на $7 - 21^{\circ}\text{C}$, в кольцевой канавке второго компрессионного кольца равны или ниже на $1 - 8^{\circ}\text{C}$.

Оценка влияния теплоизолирующего корундового слоя на экономические показатели проводилась сравнением нагрузочных характеристик для серийной и опытной комплектации двигателя при частотах вращения коленчатого вала 1500 и 3000 мин^{-1} . На рис. 5 и 6 приведены нагрузочные характеристики при $n = 1500$ и 3000 мин^{-1} , построенные по регулировочным пределам.

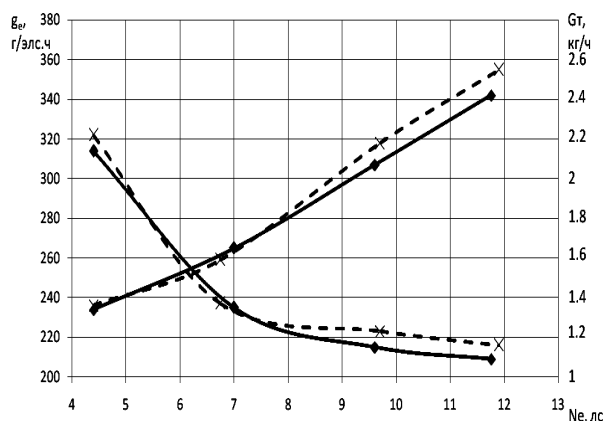


Рис. 5. Нагрузочная характеристика двигателя МеМз – 245 при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$
 — поршни с корундовым слоем;
 - - - - - серийные поршни

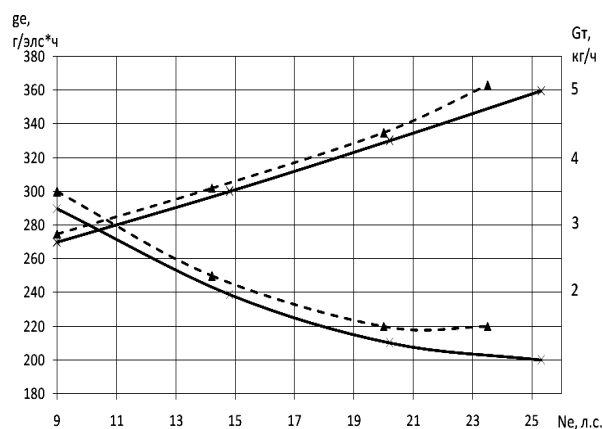


Рис. 6. Нагрузочная характеристика двигателя МеМз – 245 при $n=3000 \text{ мин}^{-1}$
 — поршни с корундовым слоем;
 - - - - - серийные поршни

В результате испытаний установлено, что двигатель, укомплектованный поршнями с корундовым поверхностным слоем, имеет более низкие расходы топлива.

Так для частоты вращения коленчатого вала 3000 мин^{-1} снижение удельного расхода топлива происходит во всем диапазоне нагрузок и составляет от 1,7 до 8,3%, а для частоты вращения коленчатого вала 1500 мин^{-1} — до 4,6%.

При определении регулировочной характеристики по расходу топлива на холостом ходу при $n = 800 \text{ мин}^{-1}$ установлено снижение расхода топлива на 10%.

Результаты испытаний по внешней скоростной характеристике приведены на рис. 7.

Как видно из рис. 7, применение поршней с корундовым поверхностным слоем позволяет:

- снизить расход топлива во всем диапазоне скоростной характеристики от 1,7% до 10%,
- повысить эффективную мощность двигателя и его крутящий момент за счет влияния теплоизоляции поршня на процесс сгорания топлива.

Улучшение технико-экономических показателей двигателя происходит во всем диапазоне нагрузок и особенно это заметно на частичных режимах, а именно эти режимы работы двигателя являются наиболее весомыми при оценке экономичности силовой установки транспортных средств.

Выводы

Теплозащитный корундовый слой на поршне двигателя, уменьшая теплоотвод через поршень, позволяет лучше использовать тепло для организации процесса сгорания и повышения экономических показателей двигателя.

Умеренное повышение температуры поверхностного корундового слоя толщиной 0,15 – 0,2 мм позволило снизить расход топлива двигателя МеМз-245 от 1,7% до 10% во всем диапазоне нагрузок двигателя.

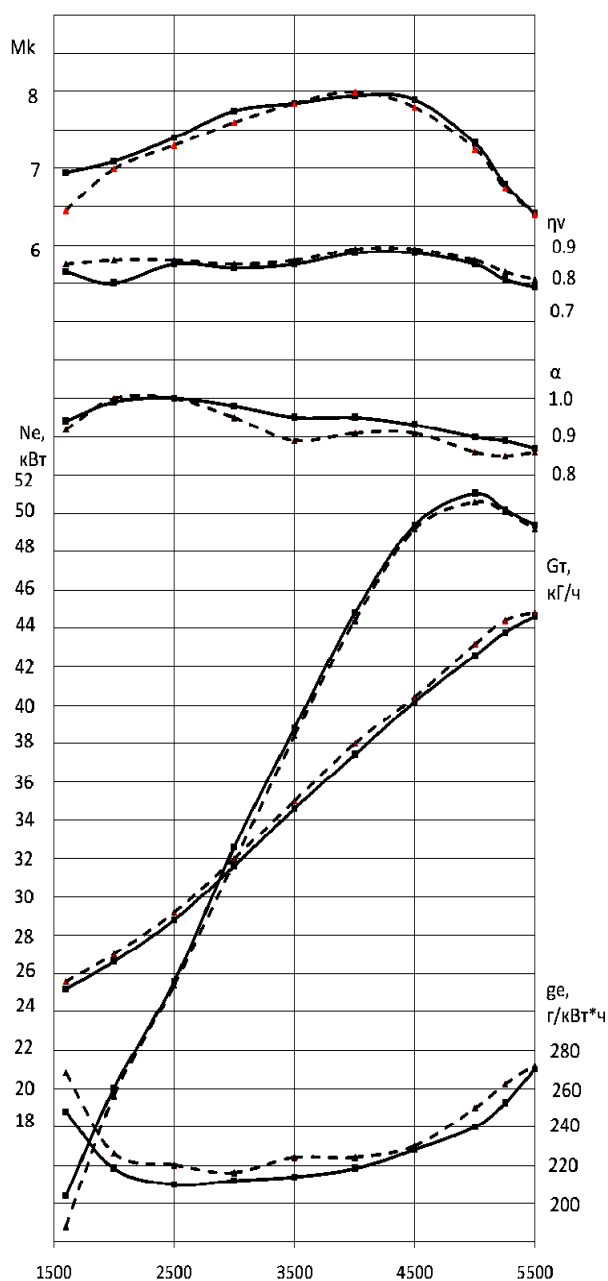


Рис. 7. Внешняя скоростная характеристика двигателя MeMz-245
 — поршни с корундовым слоем;
 - - - - - серийные поршни

Применение деталей камеры сгорания с керамическим поверхностным слоем позволяет не только влиять на рабочий процесс двигателя, но и увеличить ресурс этих деталей за счёт снижения температуры нагрева тела поршня [9] и уменьшения трения между движущимися деталями.

Литература

1. Bryzik W., R.Kamo. TAKOM / Cummins Adiabatic Engine Program. SAE Paper No.830314.
2. Kawamyra H. The Development Statys of Isuzu Ceramik Adiabatic Engine. Lecture Wiener Motoren-Suposium. – 1985. – 120 p.
3. Woschni G., Spindler W., Kolesa K. Heat insulation of combustion chamber walls-a measure to decrease the fuel consumption of I.C. engines? – SAE Techn. Pap. Ser. No.870339, 1987. – 11 p.
4. Woschni G. Experimental investigation of the heat transfer in internal combustion engines with insulated combustion chamber walls. Heat and mass transfer in gasoline and diesel engines. – England, 1987. – 13 p.
5. Никитин М.Д., Кулик А.Я., Захаров Н.И. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизелей. – Л.: Машиностроение, 1977. – 165 с.
6. Чигиринова Н.М., Чигиринов В.В., Чигиринов В.Е. Оксидные керамические покрытия – эффективная тепловая защита рабочих поверхностей деталей ЦПГ // Автомобильная промышленность. – 2004. – № 6. – С. 30-34.
7. Шпаковский В.В., Марченко А.П., Парсаданов И.В., Феоктистов С.А., Маслий С.М., Шпаковский И.В., Осейчук В.В. Повышение ресурса цилиндро-поршневой группы тепловозного дизеля образованием корундового слоя на поверхности поршней // Локомотив Информ. – 2007. – С. 28-30.
8. Шпаковский В.В., Пылёв В.А., Осейчук В.В. Применение поршней с корундовым слоем – способ повышения надёжности двигателей внутреннего сгорания // Автомобильный транспорт. – Х.: ХНАДУ, 2007. – Вып. 21. – С. 128-131.

Поступила в редакцию 30.04.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Г. Дьяченко, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.