

РАСПЫЛИТЕЛЬ С ПЛАВАЮЩЕЙ ВТУЛКОЙ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ С ПОВЫШЕННЫМ ДАВЛЕНИЕМ ВПРЫСКИВАНИЯ

Мазинг М.В.¹, Тер-Мкртчян Г.Г.¹, Богачев С.А.²

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт (НАМИ)», (125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2), e-mail: georg@nami.ru

² Ярославский завод дизельной аппаратуры ОАО «ЯЗДА» (150051, г. Ярославль, проспект Машиностроителей, д. 81), e-mail: BogachevSA@yzda.yaroslavl.ru

В статье анализируется конструкция и работа распылителя форсунки с плавающей втулкой, предназначенного для сверхвысоких давлений впрыскивания топлива. В распылителе традиционной конструкции максимальные концентрации напряжений от воздействия высокого давления сосредоточены на поверхности топливного канала. При воздействии сверхвысоких давлений корпус распылителя растрескивается и распылитель разрушается. В распылителе новой конструкции с плавающей втулкой подвод топлива к распыливающим отверстиям осуществляется непосредственно вдоль всей поверхности иглы распылителя без топливоподводящего канала. Применение плавающей втулки позволяет снизить концентрацию напряжений в корпусе распылителя и обеспечивает повышенную надежность при работе со сверхвысокими давлениями, а также улучшенную технологичность конструкции.

Ключевые слова: дизель, топливная аппаратура, аккумуляторная топливная система, распылитель, форсунка с мультипликатором давления, плавающая втулка.

NOZZLE WITH SLIDING SLEEVE FOR HIGH PRESSURE INJECTION FUEL SYSTEMS

Mazing M.V.¹, Ter-Mkrtichian G.G.¹, Bogachev S.A.²

¹State research Centre of Russian Federation – “Central Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute (NAMI)” (2, Avtomotornaya st., Moscow, 125438, Russia), e-mail: georg@nami.ru

² Yaroslavsky Diesel Equipment Plant (YZDA) (81, Pr. Mashinostroiteley, Yaroslavl, 150051, Russia), e-mail: BogachevSA@yzda.yaroslavl.ru

The article analyzes the construction and operation of a diesel nozzle with a sliding sleeve, designed for high pressure fuel injection. In the nozzle of a traditional design maximum stress concentration from exposure to high pressure present on the fuel channel surface. When exposed to ultra-high pressure nozzle body crack and nozzle collapses. In the new design nozzle with sliding sleeve supply of fuel to the spray holes directly along the surface of the needle spray without channel. The use of sliding sleeve reduces the concentration of stresses in the nozzle body and provides increased reliability when working with ultra-high pressures, and improved manufacturability of the design.

Keywords: diesel, fuel injection equipment, Common Rail system, nozzle, hydraulically amplified injector, sliding sleeve.

Распылитель дизельной форсунки является наиболее нагруженным элементом топливной аппаратуры. Во время работы двигателя на него одновременно воздействуют высокие механические и термические нагрузки пульсирующего характера, максимальный уровень амплитуд которых за последние десятилетия значительно вырос. За последние 30 лет максимальные давления впрыскивания топлива возросли с 40...50 МПа до 200...250 МПа и имеют тенденцию дальнейшего увеличения [1–3]. Рост давления впрыскивания характерен не только для дизельного топлива, но и для не традиционных топлив, таких как диметилловый

эфир [4]. Это вызывает необходимость внесения в конструкцию распылителя изменений, обеспечивающих лучшую работоспособность в новых условиях при сохранении и даже улучшении его функциональных характеристик.

Распылитель традиционной конструкции

В распылителе традиционной конструкции в верхней его части выполнен наклонный топливный канал (рисунок 1), по которому топливо под давлением проходит в топливоподводящую полость (так называемый карман) в центральной части корпуса, из которой топливо подводится вдоль иглы непосредственно к распыливающим отверстиям. Максимальные концентрации напряжений от воздействия высокого давления сосредоточены на поверхности топливного канала и в зоне его выхода в карман.

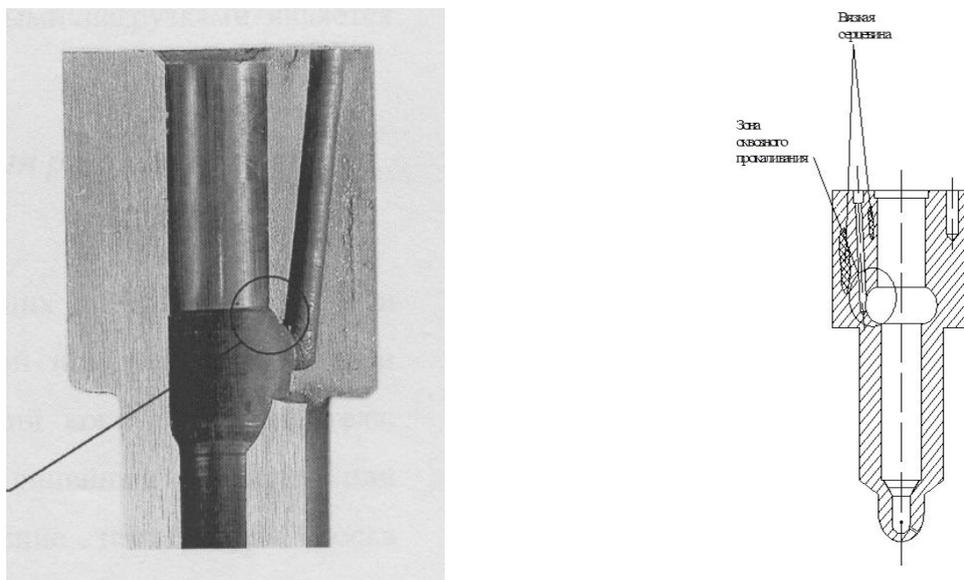


Рис.1. Зоны повышенных напряжений в корпусе распылителя с боковым каналом

В процессе закалки корпуса распылителя поверхность топливного канала и направляющая поверхность под иглу подвергаются сквозному прокаливанию, и структура материала становится неоднородной. При этом возникают зоны, в которых отсутствует вязкая сердцевина в металле, препятствующая распространению трещин из этих зон.

На рисунках 2а и 2б показаны фотографии шлифов современных распылителей традиционной конструкции типоразмера «Р» производства немецкой фирмы Bosch и отечественного предприятия АЗПИ. Здесь тёмный цвет соответствует большему содержанию углерода и, следовательно, большей твёрдости структуры, а светлый слой - менее твёрдый, но с большей ударной вязкостью. Эти данные свидетельствуют о том, что проблема надёжности распылителей традиционной конструкции не зависит от производителя изделия.



Рис. 2. Шлифы распылителей типоразмера «Р»:
 а - распылитель DLLA 146P600 фирмы Bosch;
 б – распылитель производства АЗПИ

При воздействии сверхвысоких давлений корпус распылителя в указанной зоне растрескивается, и распылитель разрушается.

Для современных зарубежных и отечественных распылителей форсунок характерно уменьшение диаметра направляющей части иглы, величина которого в распылителях типоразмера «S» снижена с 6 до 5 мм, а в распылителях типоразмера «Р» не превышает 4,5 мм. Уменьшение диаметра иглы позволяет расширить зону вязкой сердцевины и при той же конструкции соплового аппарата уменьшить силу сжатия возвратной пружины, увеличить давление подъёма иглы, снизить силу удара при посадке иглы и уменьшить износ конуса, повысив тем самым надёжность работы распылителя [5].

Зона выхода топливного канала в карман является наиболее критичной для распылителей форсунок аккумуляторных топливных систем, поскольку в этой зоне постоянно действует высокое давление топлива, в то время как в зоне распыливающих отверстий воздействие высокого давления проявляется только в процессе впрыскивания топлива.

Распылитель с плавающей втулкой

Рациональным решением данной проблемы является подвод топлива к распыливающим отверстиям непосредственно вдоль всей поверхности иглы распылителя, удалив при этом наклонный топливоподводящий канал и так называемый карман. Работы в этом направлении ведутся фирмами Bosch, Denso, L'orange, которые разработали несколько вариантов распылителя форсунки, в котором в отличие от распылителей традиционной

конструкции наклонный топливоподводящий канал и т.н. карман отсутствуют (патенты: EP 2 444 649 A2, DE 10 2008 043 417 A1, US 2008/ 0302887, WO 2007/ 012433 A1 и др.). Новый тип распылителя получил название «распылитель с плавающей втулкой».

Корпус 1 нового распылителя (рисунок 3) выполнен в стандартных габаритных размерах, соответствующих требованиям ИСО к распылителям типоразмера «Р». Подвод топлива к распыливающим отверстиям производится вдоль иглы 2, на боковой поверхности которой с этой целью выполнены 3 лыски. В верхней части корпуса 1 на хвостовике иглы 2 размещены плавающая втулка 3, опорное кольцо 4 и пружина 5, прижимающая плавающую втулку 3 к проставке цилиндрической формы. Плавающая втулка служит для герметизации топливного стыка между проставкой и втулкой. Уплотнение происходит благодаря высокому давлению, которое и поджимает втулку к проставке.

Направляющей поверхностью иглы 2 является её средняя часть диаметром 4 мм, вдоль которой выполнены лыски для прохода топлива. Максимальный подъём иглы определяется величиной зазора между хвостовиком иглы 2 и расположенной над ним проставкой.

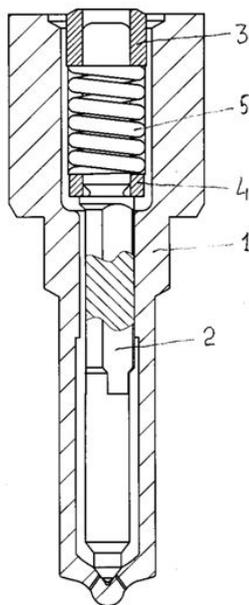


Рис. 3. Распылитель с плавающей втулкой

1 – корпус; 2 – игла распылителя; 3 – плавающая втулка;

4 – опорное кольцо пружины; 5 – пружина

Диаметр проволоки пружины 1 мм, средний диаметр витка 4,65 мм, число витков 3,5. Длина пружины в свободном состоянии 7,7 мм, в собранном состоянии – 7,2 мм. Жёсткость пружины 28,5 Н/мм, масса 0,4 г. Величина усилия, которым плавающая втулка прижимается к находящейся над ней проставке, не превышает 14,7 Н.

На рисунке 4 приведены фотографии деталей распылителя с плавающей втулкой модели F OO VX 50074, используемого в электрогидравлической форсунке CRSN4 фирмы Bosch.



Рис. 4. Детали распылителя с плавающей втулкой

Расчётный анализ распылителей традиционного типа и с плавающей втулкой с помощью твердотельных моделей показал, что при нагружении распылителя с плавающей втулкой давлением 250 МПа максимальные значения напряжения в его корпусе не превышают напряжений при нагружении корпуса распылителя традиционного типа давлением 160 МПа [8; 9]. Такая конструкция распылителя позволяет снизить концентрацию напряжений в его корпусе и обеспечивает надежность при работе со сверхвысокими давлениями. Следует также отметить лучшую технологичность конструкции распылителя.

Многоструйный распылитель с плавающей втулкой модели F OO VX 50074 устанавливается в электрогидравлической форсунке CRSN4, входящей в серийно выпускаемую фирмой Bosch аккумуляторную систему четвертого поколения с мультипликацией давления Amplified Common Rail System (ACRS), устанавливаемую на шестицилиндровых дизелях DD 13, DD 15 и DD16 фирмы Detroit Diesel, являющейся частью концерна Daimler AG. В конструкции форсунки использован принцип действия аккумуляторной системы непрямого действия типа HEUI с разделением процесса повышения давления на 2 стадии. В системе ACRS топливный насос создаёт пониженное давление 21...110 МПа, которое затем повышается до 210...250 МПа в форсунке [5]. Распылители с плавающей втулкой используются фирмой Bosch в других аккумуляторных системах с давлением впрыскивания топлива свыше 200 МПа [6; 7].

Заключение

Рост давления впрыскивания топлива в дизелях для обеспечения необходимой работоспособности требует изменения конструкции распылителя. В распылителе

традиционной конструкции максимальные концентрации напряжений от воздействия высокого давления сосредоточены на поверхности топливного канала и в зоне его выхода в карман. При воздействии сверхвысоких давлений корпус распылителя растрескивается, и распылитель разрушается. Зона выхода топливного канала в карман является наиболее критичной для распылителей форсунок аккумуляторных топливных систем, поскольку в этой зоне постоянно действует высокое давление топлива, в то время как в зоне распыливающих отверстий воздействие высокого давления проявляется только в процессе впрыскивания топлива.

В распылителе новой конструкции с плавающей втулкой подвод топлива к распыливающим отверстиям осуществляется непосредственно вдоль всей поверхности иглы распылителя без топливоподводящего канала. Применение плавающей втулки позволяет снизить концентрацию напряжений в корпусе распылителя и обеспечивает повышенную надежность при работе со сверхвысокими давлениями, а также улучшенную технологичность конструкции.

Списки литературы

1. Тер-Мкртчян Г.Г. Управление движением поршней в двигателях внутреннего сгорания. – М. : Metallurgizdat, 2011. – 304 с.
2. Тер-Мкртчян Г.Г., Мазинг М.В., Ветошников А.Г. Обеспечение малотоксичного рабочего процесса форсированных перспективных дизельных двигателей // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. - URL: www.science-education.ru/111-10237.
3. Тер-Мкртчян Г.Г., Мазинг М.В. Современное состояние и перспективы развития топливной аппаратуры автотракторных дизелей // Двигателестроение. — 2014. — № 1. — С. 30–35.
4. Тер-Мкртчян Г.Г. Диметиловый эфир – перспективы и проблемы // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + альтернативное топливо. – 2007. - № 4. – С. 66-67.
5. Тер-Мкртчян Г.Г. Комбинированные аккумуляторные системы с мультипликаторами давления – новый этап развития топливной аппаратуры дизелей грузовых автомобилей / Г.Г. Тер-Мкртчян, А.А. Демидов, Е.Е. Старков // Труды НАМИ : сб. науч. ст. – М., 2013. – Вып. № 255. – С. 86–110.
6. Тер-Мкртчян Г.Г. Тенденции развития аккумуляторных топлив-

ных систем крупных дизелей / Г.Г. Тер-Мкртчян, Е.Е. Старков //

Труды НАМИ : сб. науч. ст. – М., 2013. – Вып. № 255. – С. 22–47.

7. Тер-Мкртчян Г.Г., Мазинг М.В. Особенности аккумуляторных топливных систем дизелей большой цилиндровой мощности // Двигателестроение. — 2014. — № 2. — С. 11–15.

8. Яманин А.И., Кутенев В.Ф., Тер-Мкртчян Г.Г. Интегрированные системы автоматизированного проектирования : учебное пособие. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2011. – 76 с.

9. Яманин А.И., Кутенев В.Ф., Тер-Мкртчян Г.Г. Расчет быстропеременных процессов в среде ANSYS/LS-DYNA : учебное пособие. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2011. – 92 с.

Рецензенты:

Каменев В.Ф., д.т.н., профессор, ведущий эксперт, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», г. Москва.

Сайкин А.М., д.т.н., начальник управления, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», г. Москва.