НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ

Свеча зажигания - неотъемлемый атрибут двигателя внутреннего сгорания с легким топливом. Свеча появилась на свет более 160 лет назад сначала в первом двигателе (без сжатия) француза Ленуара, а затем в более эффективном двигателе со сжатием немца Отто.

Свеча служит для воспламенения топливовоздушной смеси в камере сгорания двигателя. Классическая свеча, знакомая всем автолюбителям, содержит стальной корпус с резьбой и шестигранником, изолятор с центральным электродом, образующий искровой зазор с боковым электродом. Свеча по-прежнему является одним из самых напряженных узлов двигателя. Причина - в тяжелейших условиях эксплуатации: циклические воздействия высоких напряжений, температуры, давления, широкий диапазон режимов двигателя, отложения продуктов сгорания, электроэрозия и др. На совершенствование свечи тратились и до сих пор тратятся большие ресурсы. За последние пять лет в Патентном фонде США зарегистрировано более 7 тысяч "свечных" патентов.

Бытует мнение, что свеча и система зажигания достигли определенного совершенства, что от них мало что зависит, лишь бы были исправны. А главное - "железо" и объем двигателя. Так ли это?

Оценим, какая часть электрической энергии высоковольтного импульса выделяется в искре свечи. Как известно, основная доля энергии искры в современных двигателях выделяется на этапе индуктивной фазы разряда. Источником высоковольтной электрической энергии является катушка зажигания. Количество накапливаемой энергии пропорционально величине индуктивности катушки, поэтому последняя получается весьма тяжелой и материалоемкой. Суммарное сопротивление высоковольтной цепи системы зажигания составляет около 20 кОм. Оценим сопротивление искрового зазора. Учитывая, что напряжение между электродами после пробоя падает до 300 В, а ток разряда в среднем равен 300 мА, то сопротивление искрового зазора примерно равно 1 кОм. Отсюда следует, что электрический к.п.д. искры составляет около 5%.

Рассмотрим тепловой к.п.д. Ток разряда в искре превращается в джоулево тепло, которое и осуществляет поджигание воздушно-топливной смеси. Расчет возникающих потерь далеко не прост, поэтому согласимся с мнением других авторов, которые оценили потери тепла на разогрев электродов величиной около 70%.

Но электроды - не единственные паразиты, пожирающие драгоценное тепло искры. Сам вихрь, бушующий в камере сгорания, уносит тепло. Скорость вихря максимальна именно у стенок камеры сгорания, где расположен искровой зазор свечи. С учетом этого к.п.д. искры осторожно оценим величиной порядка 15%.

Приходится только удивляться, как двигатель с такими потерями еще работает. Но самое удивительное впереди. Из-за асимметрии горения возникают механические потери. Свеча является пассивным точечным источником тепла. Конфигурация фронта пламени при развитии горения воздушно-топливной смеси определяется вихревыми потоками. На первом этапе пламя от искры распространяется в виде постоянно расширяющейся трехмерной спиральной поверхности вдоль стенки в один из углов камеры, а оттуда в центр. Центром камеры сгорания является центр дна поршня в положении верхней мертвой точки (ВМТ). На втором этапе фронт пламени начинает распространяться практически равномерно во все стороны. Возникшая на первом этапе "спираль" продолжает поддерживаться от искры, поэтому горение завершается в другом углу камеры сгорания, противоположном "спирали".

Горение происходит в замкнутом, практически неизменном по объему пространстве. Поэтому по мере сгорания топлива давление в камере увеличивается, а это дает прогрессивный рост скорости распространения пламени. Из-за быстротечности процессов в

камере фактически нарушается закон Паскаля, поскольку в области завершения горения кратковременно давление будет заметно превосходить давление в других областях камеры сгорания. Другими словами, высокое давление генерируется со скоростью большей, чем скорость выравнивания давления в замкнутом объеме.

Напомню читателям об эффекте, открытом австрийским физиком Махом: "При завершении горения воздушно-топливной смеси в замкнутой камере температура сгоревших газов в зоне источника зажигания наибольшая и уменьшается к границам зоны горения". Опираясь на выполненные автором исследования, можно сформулировать положение, дуальное эффекту Маха: "В момент завершения в замкнутой камере горения воздушно-топливной смеси со скоростью, близкой к скорости звука, давление сгоревших газов в зоне завершения горения наибольшее и уменьшается по мере удаления от нее". Чем выше скорость завершения горения, тем больше указанная разница в давлениях.

К чему это приводит? Посмотрите внимательно на поршень, находящийся в области ВМТ. По сути, это балансирующая система с точкой опоры практически в центре поршня. По мере увеличения реакции нагрузки данная балансирующая система приближается к стационарной. Между тем, балансирующие системы обладают очень важным свойством: малая асимметрия может привести к большим последствиям.

Аналогично, когда через 15° поворота коленвала, после прохода ВМТ завершается горение воздушно-топливной смеси, поршень, наряду с равномерным давлением на все дно, получает импульс по одному краю. Ему "ничего не остается", как повернуться относительно точки опоры, что приведет к кратковременному заклиниванию поршня в цилиндре. Двигатель перед тем, как заглохнуть, может "козлить". Это объясняется тем, что поршни по очереди "проскакивают" через заклиненное состояние. У холодного двигателя заклинивающий эффект максимален.

В мировой практике с этим явлением начали бороться не сразу. Когда в авиации из соображений надежности стали применять две симметричные свечи на цилиндр, то это повысило мощность двигателя на 5 %. Такое решение в автомобильной практике первой использовала HONDA, так как убедилась в значительном повышении крутящего момента на "низах". Далее к такому же решению прибегла Alfa-Romeo. И совсем недавно - Daimler-Chrysler. Однако внедрение дублированной системы зажигания - недешевое удовольствие и, кроме того, оно фактически означает необходимость разработки нового двигателя. А что делать с сотнями миллионов автомобилей, которые уже колесят по всему свету?

Кроме того, применение двух свеч на цилиндр не устраняет другой недостаток. Длина пути распространения фронта пламени в реальных камерах сгорания составляет не менее трех радиусов поршня. Большая протяженность пути фронта пламени приводила к тому, что при высокой частоте вращения вала приходилось поджигать воздушно-топливную смесь задолго до ВМТ (увеличивать угол опережения зажигания), а фаза сжатия заканчивалась уже после зажигания воздушно-топливной смеси. Если рассматривать индикаторную диаграмму, то при этом тепловая энергия нарастает в фазе сжатия и, естественно, уменьшается в фазе расширения. Таким образом, с ростом частоты вращения вала крутящий момент падает "с удвоенной скоростью". Затем наступает момент, когда двигатель "визжит, но тянуть уже не может", так как способен обслуживать только сам себя. И все это, в основном, из-за долгого горения или неверного способа зажигания.

В итоге мы можем сделать вывод, что системы зажигания современных двигателей грешат принципиальными недостатками.

Все недостатки, рассмотренные выше, устраняются, если горение воздушно-топливной смеси начать в центре камеры сгорания.

И сделать это разумнее всего с помощью факельного зажигания по аналогии с лучшими форкамерными двигателями. Первый форкамерный двигатель был предложен Рикардо в 1918

г., а последний был снят с производства в начале 80-х. И это удивительно, так как форкамерные двигатели были лучше обычных по всем показателям, кроме одного - они были сложнее, особенно в отношении системы питания и газораспределения. Вероятно, последнее и перевесило в извечном компромиссе: цена - качество.

Главное достоинство факельного зажигания - активность. Факел способен преодолеть заметные расстояния как поперек, так и навстречу вихрю.

В 1994 г. автором и его коллегами были начаты исследования по созданию системы зажигания и свечи с факельным эффектом.

Мы остановились на принципиально новом решении. У нашей свечи центральный искровой зазор симметрично окружен конусным резонатором. Конус изготовлен из жаростойкого сплава, обладающего антикалильными свойствами.

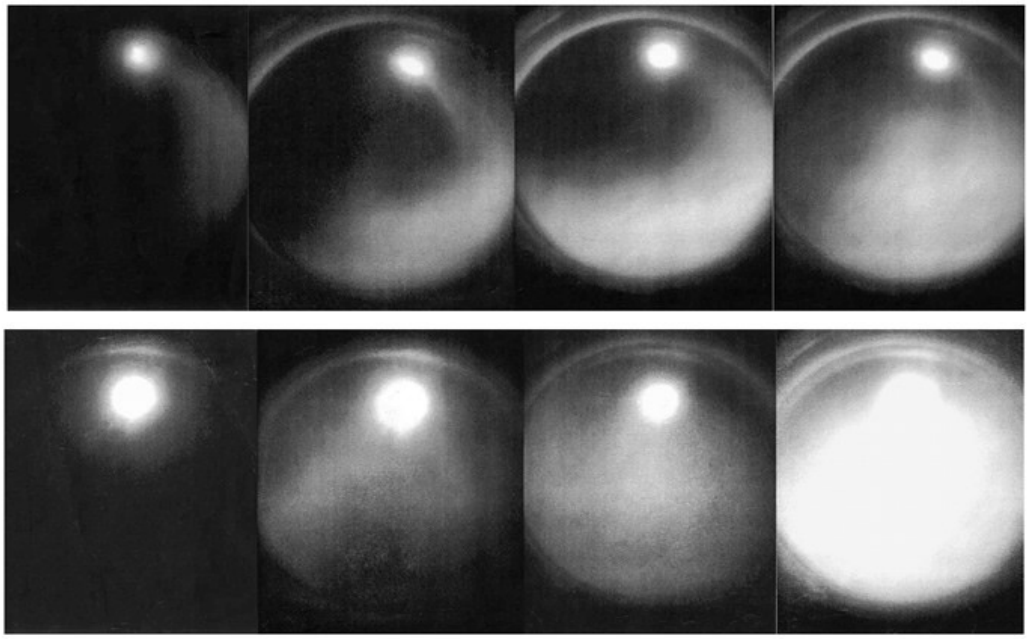
В чем неочевидность решения? Конструкция свечи полуоткрытая, но при этом свеча обладает факельным эффектом. Академик А.Е. Акимов назвал нашу свечу "торсионным генератором". Но главное все же не в том, как назвать, а в том, какими качествами обладает новая свеча.

Копия из книги: "Сгорание в быстроходных поршневых двигателях" Автор: Воинов А.Н.; Издательство: "Москва, Машиностроение" 1977 г.

Рис. 131. Распространение пламени в плоской цилиндрической камере сгорания при окружной скорости вихря 75 м/с:

а — примеры кинорегистраций; *б* — мгновенные положения фронта пламени через интервалы времени 10^{-4} с; *I* — примерный путь пламени от точки зажигания; *z* — точка зажигания [101]

Снимки Камеры сгорания, произведённые специальной оптико-телевизионной системой.



Динамика развития области горения:
Верхний ряд - при штатной системе зажигания.
Нижний ряд - со свечей, обеспечивающей факельное зажигание.

Именно благодаря "полуоткрытости" свечи ей не страшны проблемы вентиляции и засорения продуктами неполного сгорания.

Она работает лучше обычной свечи, лучше форкамерной свечи на всех режимах двигателя, так как формирует более мощный расходящийся факел.

В ходе одного из экспериментов проверялась приемистость двигателя со штатной и новой свечой без нагрузки. Двигатель со штатной системой зажигания набирал максимальную частоту вращения вала в течение примерно 3 с. После замены свечи на новую мотор без видимой задержки буквально "взрывается", при этом частота вращения вала "зашкаливает".

В процессе экспериментов были установлены зависимости к.п.д. новой свечи от ряда характеристик: формы камеры сгорания, положения, энергии и длительности искры, качества воздушно-топливной смеси.

Наши исследования позволяют констатировать, что факельное зажигание улучшает одновременно все параметры двигателя и автомобиля: скорость, приемистость, экономичность, экологичность. Особенно важным достижением представляется снижение уровня выбросов окислов азота. Резко уменьшилась тепловая нагруженность двигателя, появилась возможность осуществлять разгон с переходом от 1-й на 5-ю передачу. Машина "не замечает" подъемов, т.е. не снижает скорости на подъеме. Расход топлива сокращается и перестает зависеть от скорости, поэтому при движении со скоростью 120 км/ч и выше экономия нередко достигает 50%.

Замечено, для автомобилей с большей массой и двигателей с увеличенным диаметром поршней выигрыш увеличивается.

Многое еще предстоит исследовать, эволюция новой свечи только начинается. Надеюсь, что новинка заинтересует и автопром, и настоящих автолюбителей. В заключение автор выражает особую благодарность и признательность российскому изобретателю Г.Н. Березовскому, который первый предложил использовать свечу с конической поверхностью.

Источник: журнал "Двигатель"