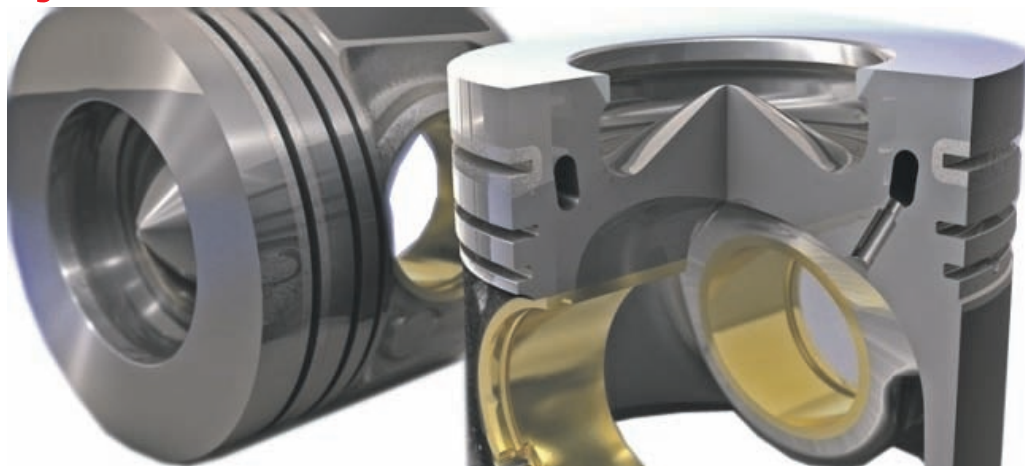


Поршень — як витвір технічної думки

Шевченко Ігор Олександрович, доцент кафедри «Трактори і автомобілі» Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка

Без перебільшення можна вказати, що поршень одна з головних деталей двигуна. Сучасний поршень еволюціонував разом з розвитком двигунів і досяг високого ступеня досконалості. Конструктивні особливості поршня повинні суворо відповідати характеристикам двигуна. Інакше можливі невідповідні матеріальні витрати при експлуатації двигуна і навіть його передчасний вихід з ладу (про відповідність розпилювачів форсунки камері згоряння в поршні дизельних газет писала раніше).



Вимоги до конструкції поршня визначаються його функціональним призначенням, тією роллю, яку він відіграє в злагоджено функціонуючому технологічному організмі, що називається поршневим двигуном внутрішнього згоряння. Поршень — це елемент, який сприймає енергію, що виділяється при згорянні заряду паливо-повітряної суміші і передає її через поршневий палець на шатун. Поршень піддається дії тепла і тиску газоподібних продуктів. Тому перше, що повинно забезпечувати нормальну роботу поршня — здатність тривало працювати в умовах високих, циклічно змінних механічних навантажень і теплових потоків. Окрім цього поршень повинен вносити свій внесок до забезпечення герметичності надпоршневого простору, перешкоджаючи прориву газів в картер і зустрічному надходженню масла з картера в камеру згоряння. Поршень повинен мати високу зносостійкість робочих поверхонь і низьке тертя при мінімально можливому зазорі в циліндрі. Перелік вимог, що поршень повинен виконувати, можна продовжити, але і згаданих досить, щоб зрозуміти, наскільки непросто їх задовольнити. Тим більше, що при цьому потрібно зробити головну деталь двигуна ще і максимально легкою.

Маса поршня — параметр, який опосередковано відображає ступінь досконалості його конструкції. Для середньостатистичного двигуна сучасного легкового автомобіля він складає близько 300–350 грам. Допустимо, що масу поршня довелось збільшити грами так на 50. Здавалось б, дрібниця. Тепер помножимо «приріст» на річну програму виробництва поршнів (звичайно це декілька мільйонів виробів) і отримаємо декілька «зайвих» вагонів стратегічного металу. До речі, металу недешевого. Адже це тільки у нас деякі виробники виготовляють поршні з вторсировини. На Заході для цієї мети використовують тільки первинні алюмінієві сплави, інакше неможливо гарантувати якість продукції. На жаль, це найменше з можливих наслідків прорахунків конструкторів і технологів. Пригадаємо, що поршень здійснює коливальні рухи в циліндрі з частотою до 100 разів в секунду (від однієї мертвої точки до іншої і назад). При цьому максимальна швидкість його переміщення на відрізу шляху завдовжки 70–80 мм досягає 25 м/с, а тисячкратні перевантаження, що виникають при цьому перетворюють кожен зайвий грам на декілька кілограмів надмірного навантаження. Навантаження передається на поршневий палець, шатун, колінчастий вал і, нарешті, сприймається блоком двигуна. Збільшення маси поршня однозначно відбивається на масі кожної з цих деталей, тим більше що вони працюють в циклічному режимі, що провокує втомні явища. В результаті початкові грами збільшення маси поршня перетворюються на десятки кілограмів додаткового якісного металу при виготовленні двигуна. Ще раз множимо на об'єм виробництва двигунів, приплюсуємо сюди підвищення витрати палива за рахунок збільшення втрат на тертя і маси двигуна, збільшення шкідливих викидів в атмосферу, інші невраховані наслідки. Гнітюче «разом» переконаливо доводить, що поршень — дійсно найбільш важлива деталь двигуна, що багато в чому визначає його конструкцію, виробничі витрати, економічність і екологічність.

На перший погляд поршень має правильну геометричну форму циліндра. Проте, якщо «пройтися по ньому» з точним вимірювальним інструментом,

визначиться, що це зовсім не так. Практично всі «форми» поршня — неправильні. Їх «неправильність» обумовлена бажанням забезпечити рівномірний, мінімально можливий зазор між стінкою циліндра і поршнем по всій його висоті. Трудність цього завдання полягає в тому, що різні частини поршня при роботі нагріваються нерівномірно, а це означає, що вони неоднаково змінюються в розмірах. Ситуація ще більше ускладнюється тим, що поршень має нерівномірну конструкцію, що також впливає на наслідки теплового розширення. Днище поршня — найбільш термічно навантажена його частина. При роботі двигуна його температура може досягати 300–350°C. Тому діаметр поршня в області вогняного поясу зменшують на 0,4–0,6 мм щодо діаметру циліндра. Температура поршня в зоні поясу ущільнювача нижча. До того ж теплові потоки, що проходять через перше і друге компресійні кільця, відрізняються у декілька разів. Як наслідок, перемички між кільцями матимуть різну температуру. Верхня — більш гаряча, нижня — менш. Щоб компенсувати їх неоднакове теплове розширення на працюючому двигуні, діаметр поршня від днища до юбки поступово збільшують. Температура юбки плавно спадає в напрямі від її верхньої частини (у районі маслоземного кільця) донизу. Цим обумовлюється конічний характер її поверхні. У нижній частині юбки зазвичай влаштовують зворотний конус. Він дозволяє поршню при перекиданні в нижній і верхній мертвих точках працювати м'якше, без різких ударів. На додаток до цього при русі поршня вниз зворотний конус сприяє виникненню гідродинамічного ефекту, завдяки якому поршень як би «спливає» на масляній плівці. Плавне збільшення діаметру поршня від днища до нижньої частини юбки, а також наявність на ній зворотного конуса надає йому бочкоподібну форму в подовженому перетині.

Не менш важлива умова працездатності поршня — особлива форма в поперечному перетині, відмінна від форми кола. Необхідність такої міри обумовлена наявністю бобишок, посилен в місці з'єднання поршня з поршневим пальцем. Бобишки нагріваються більшою мірою, ніж частини юбки, що сполучають їх. Як наслідок — діаметр поршня при нагріванні збільшується переважно в напрямі, що співпадає з віссю поршневого пальця. Щоб компенсувати цей ефект, поршень в поперечному перетині роблять овальним. Менша вісь овалу збігається з віссю пальця, а овальність зазвичай складає 0,4–0,5 мм. Величина невелика, але дуже важлива. Саме вона дозволяє поршню працювати в циліндрі з мінімальними зазорами. Таким чином, форма поршня в холодному стані характеризується бочкоподібністю і овальністю. Закономірності «викривленої геометрії» поршнів враховують при конструюванні поршнів.

Більшість рецептур матеріалів, що застосовуються для виготовлення поршнів, були розроблені ще в 20-х роках минулого століття. В цьому відношенні сучасні поршні недалеко пішли від тих, що пройшли майже 100 років. До цих пір вони в основному виготовляються з силуміну з процентним вмістом кремнію близько 12%. Цей сплав був вперше запропонований фірмою Mahle, яка упродовж його в масове виробництво поршнів. У ряді випадків (наприклад, для деяких дизельних двигунів) застосовуються спеціальні

сплави алюмінію, в яких вміст кремнію може досягати 18%. Такі силуміни менш пластичні, капризніші в обробці і дорожчі. У «доалюмінієвий» період поршні виготовлялися з чавуну. Силумін виявився дуже вдалим матеріалом, що поєднує достатню міцність з легкістю. Підбір концентрації кремнію дозволив добитися прийнятної коефіцієнта теплового розширення, істотно меншого, ніж у чистого алюмінію.

Основний спосіб отримання заготовок поршнів (практично 99%) — литво, переважно кокільне. Ця технологія відпрацьована до досконалості. Незначну кількість складають поршні, заготовки для яких виготовляють методом кування. Це свого роду ексклюзив, який не застосовується на серійних виробках. Ковані заготовки через особливу структуру, якої набуває метал, мають дещо більшу міцність. Проте ця перевага зазвичай нівелюється обмеженнями по можливій формі заготовки і може бути зовсім зведена до нуля внаслідок окремих конструктивних недоліків.

Виробники, що поважають себе, наносять на поверхню поршнів різні покриття. Один з поширених способів — покриття поршня оловом (лудіння). Рідше застосовується покриття свинцем. Шар м'якого металу, товщина якого складає 5–10 мкм, зменшує тертя і вірогідність «прихвату» поршня з утворенням задири в період обкатки двигуна. Ту ж функцію він виконує і на приробленому двигуні у момент пуску, що супроводжується «масляним голоданням», а також при пікових навантаженнях. Переконаливий доказ дієвості цього заходу — порівняння стану поршнів двигунів класичних моделей ВАЗ перших поколінь і ВАЗ 2108–21083. У останніх навіть при незначному пробігу на юбках поршнів, що не мають покриття, обов'язково присутні задири. На луджених поршнях «класики» такого явища, як правило, не спостерігалося. Деякі виробники для зменшення тертя наносять на юбки поршнів антифрикційні покриття, композиції на основі графіту, рідше — дисульфиду молібдену. Товщина шару покриття може досягати 15–20 мкм. Зазвичай поршні з таким покриттям встановлюються в циліндр з мінімальним зазором. В результаті первинного прироблення покриття частково стирається і поверхня поршня набуває форми, що максимально відповідає поверхні циліндру. Поршні з покриттям, що приробляється, застосовуються, наприклад, на сучасних двигунах VAG, Mercedes, BMW, Opel і інших. Випуск таких поршнів освоєний також для двигунів вітчизняного виробництва.

У останні 20–30 років всі розробники двигунів услід за першопрохідцями, японськими конструкторами, рухалися приблизно в одному напрямі і досягли схожих результатів. Тому зараз, узявши в руки поршень, непросто визначити, де і для якого двигуна він вироблений. Тоді як 15–20 років тому відрізнити, наприклад, японський виріб від американського було простіше простого.

Відзначимо деякі етапи еволюції поршнів. Одна з основних геометричних характеристик поршня — компресійна висота. Вона визначається відстанню від його днища до осі поршневого пальця. З початку 80-х років минулого століття намітилася стійка тенденція до зменшення компресійної висоти поршня. Це дозволяє зменшити його масу за рахунок зменшення розмірів бобишок і висоти поясу ущільнювача. Відомі приклади, коли компресійну висоту поршня вдавалося зменшити до 24 мм. І це за наявності трьох кілець. Для порівняння: даний параметр у ВАЗівських поршнів складає 38 мм, а у поршнів автомобілів ГАЗ випуску минулих років — аж 52 мм! Зменшення компресійної висоти поршнів стало можливим багато в чому завдяки переходу на тонші кільця. Процес спостерігався повсюдно впродовж 90-х років минулого століття. Якщо раніше в порядку речей вважалась нормою товщина кілець 2–2,4 мм, то зараз звичайною справою стають набори близько 1,2–1,5, рідко до 2 мм. Це результат досягнень в області технології. Тонкі кільця забезпечують менші втрати на тертя, вони податливіші, швидше і точніше приробляються, а тому мають кращі властивості як ущільнювачі і, як не дивно, краще відводять тепло. Зниження компресійної висоти спричинило зменшення розмірів юбки поршня. Для центрування укороченого поршня висока юбка стала просто зайвою. В результаті загальна висота поршня бензинових двигунів по відношенню до двигунів розробки 70-х років минулого століття скоротилася майже удвічі: з 80–90 мм до 50–55 мм. Зменшення розмірів поршня спричинило зниження його маси на 30–40%. До яких наслідків це приводить, ми вже згадували. Зокрема, це дозволило полегшити поршневі пальці, зменшивши його діаметр, а, відповідно, і масу. На сучасних бензинових двигунах застосовуються пальці діаметром 17–20 мм, тоді як ще недавно за норму вважалось 22–26 мм.

Не менш важлива функція поясу ущільнювача — відведення тепла, що проникає в тіло поршня через поверхні вогняного поясу. Саме через поршневі кільця в стінку циліндра і далі — в сорочку охолодження блоку передається більше 80% теплового потоку. При цьому на верхнє компресійне кільце при-

падає приблизно 60%, друге відводить близько 20%. Процеси ущільнення і охолодження тісно взаємозв'язані. Хороше ущільнення означає ефективний тепловідвід. Навпаки, порушення ущільнення (знос і поломка кілець або перемичок між ними) приводить до погіршення охолодження поршня і, кінець кінцем, до його прогару.

Впровадження багатоклапанних двигунів також наклало свій відбиток на конструкцію сучасного поршня. Підвищення їх літрової потужності і швидкохідності привело до зростання теплових і механічних навантажень на поршень. Оскільки тиск на поршень сприймається також юбкою, виникло завдання її зміцнення. Ефективним способом стало використання вертикальних ребер жорсткості, що сполучають юбку з бобишками.

Бічні вибірки отримали дивну назву «холодильники». У багатьох поршнів сучасних двигунів вони дуже великі і глибокі. Глибокі холодильники забезпечують зменшення відстані між бобишками, а значить, застосування короткого пальця і легкого шатуна з вузькою верхньою головкою. Досягнуто цим радикальне підвищення жорсткості юбки дозволило поступово відмовитися від інших способів, що застосовувалися раніше для компенсації її теплового розширення. З конструкції поршня зникли термокомпенсуючі пази і сталеві пластини. Останні вставлялися в поршень при відливанні і працювали спільно із юбкою як біметал, стримуючи її розширення при нагріві. Глибокі холодильники і відсутність термокомпенсації радикально змінили картину теплового розширення поршня. Вузька і жорсткіша юбка стала більш чутливою до температурних дій. Для забезпечення працездатності поршня потрібно було збільшити діаметральні зазори і посилити вимоги до технології його виробництва. Великі зазори приводять до підвищення шуму при роботі двигуна, що критично для серійного автомобіля. Доводиться дуже точно підбирати профіль юбки і матеріал поршня. Додаванням легуючих елементів і підбором технологічних режимів лиття вдається отримати матеріали з мінімальним коефіцієнтом теплового розширення. Але це той випадок, коли «гра коштує свечок». Завдяки зменшенню розмірів і маси поршнів вдалося значно понизити механічні втрати в циліндро-поршневі групі, які, як відомо, складають близько половини всіх втрат в двигуні. Застосування легких поршнів з короткою і вузькою юбкою істотно скорочує втрати на тертя, відповідно, сприяє підвищенню потужності при зменшенні витрати палива і токсичності. ■

ТОВ «АЗС-СЕРВІС»
- Ремонт бензоколонок
 - Реконструкція, ремонт АЗС та нефтобаз
 - Доставка комплектації
 - Зачистка резервуарів

тел.: (0472) 65-71-51 azs-service@ukr.net
 моб.: (097) 336-79-27 www.azs-service.com.ua

Ліцензія № 573177 від 25 січня 2011

БЕНЗОКОЛОНКИ
 РЕМОНТ ОБЛАДНАННЯ,
 ПИЛЬНИКИ ПАЛІВА,
 НАСОСИ (12, 24, 220 В), ФІЛЬТРИ,
 РУКАВИ МБС, КРАНИ РОЗДАВАЛЬНІ,
 МІРНИКИ, ЗАПІРНА АРМАТУРА ТА ІН.

ТОВ «Ремполібуд»
 61037, м. Харків, пр-т Московський, 124-А
 Тел. (057) 754-77-16, факс (057) 751-98-90
 (050) 406-07-50

ООО ПКП ФОРСАЖ **РЕМОНТ**
 запчасті к тракторам КПП на Т-150, К-700,
 редукторов ВОМ, ГУР,
Т-150 главных передач
 с доставкой в регионы под заказ

ОБМЕННЫЙ ФОНД
 от официального Харьков, ул. Каштановая, 29
 диллера ПАО «ХТЗ» тел. (057) 7-525-525
 www.forsaj.com.ua (067) 572-72-37