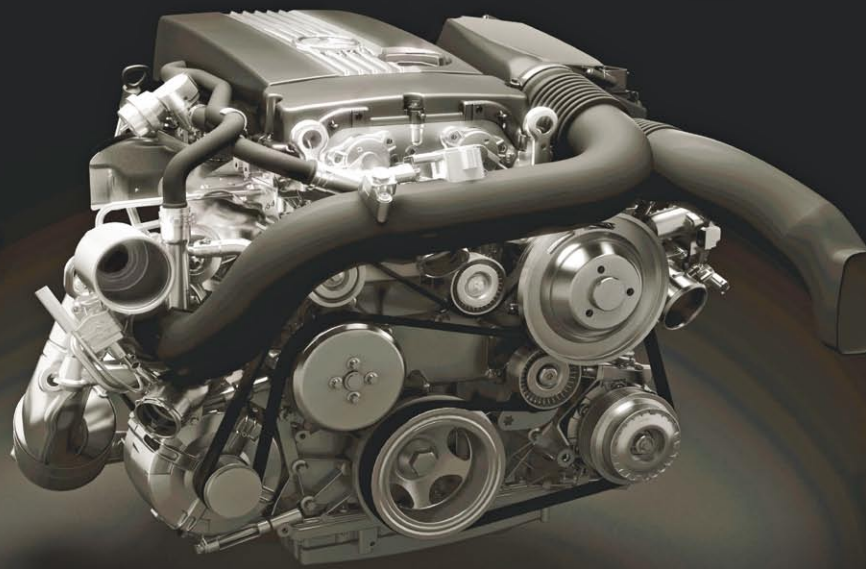


HCCI-körkép

Se nem dízel, se nem Otto - 1. rész

A homogén töltetű kompressziógyújtás koncepciója Japánból ered és egészen az 1970-es évek végéig vezethető vissza. A szikragyújtású és a dízelmotorok tulajdonságainak egyesítésével a HCCI-motor a dízelmotorokra jellemző nagy hatásfokot szinte jelentéktelen NO_x - és részecske-kibocsátás mellett érheti el. További előnye, hogy a motor különböző tüzelőanyagok változatos kombinációjával üzemelhet. Ezen jellemzőknek köszönhetően egyáltalán nem meglepő, hogy világszerte jelentős kutatások folynak a HCCI-motorral kapcsolatosan.



A fejlesztőket a következő célok vezérelték munkájuk során:

1. A hatásfok javításán keresztül csökkenteni a tüzelőanyag-fogyasztást.
2. A motor nyers károsanyag-kibocsátásának csökkentése (így a költséges kipufogógáz-utókezelési technikáknak legalább egy része elhagyható).
3. Rendelkezésre álló gyártási technológiák és motorkoncepciók felhasználásával, minimális többletköltséggel megvalósítható legyen.
4. Egyszerű kezelhetőség, a felhasználó számára ne okozzon nehézséget az alkalmazása (pl. hidegindítás, átkapcsolás az üzemmállapotok között stb.).

A benzin-levegő keveréket a hagyományos Otto-motoroknál a gyújtógyertya szikrája gyújtja meg. Ezzel szemben a HCCI-égésfolyamatot megvalósító motorokban a kompresszió során a hengerben felmelegedő töltet, illetve a (külső vagy belső) kipufogógáz-visszavezetés következtében jelen lévő forró kipufogógázok energiájának hatására a tüzelőanyag először hőbomlással megy keresztül, majd az égéstér számos pontján egyidejűleg kialakuló gyulladási magokból kiindulva egy lassú égési folyamat jön létre. Ez a szimultán öngyulladásos lassú égési folyamat

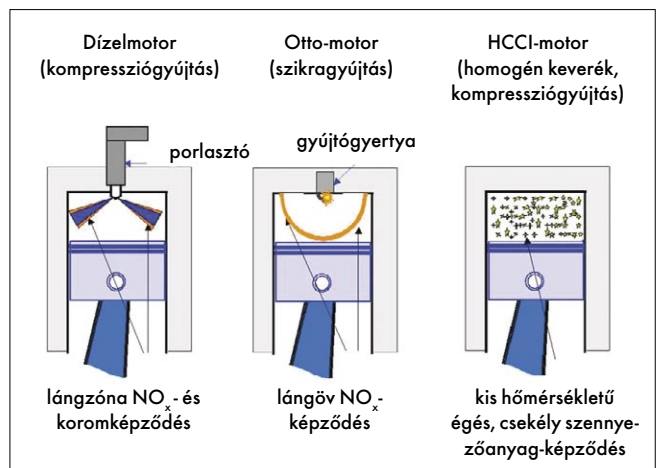
nem jár lángjelenséggel (ez ún. hidegláng - cold flame), így nagymértékben különbözik a hagyományos Otto-motorok esetében igen káros és ezért elkerülendő spontán detonációs égéstől, vagy más néven a kopogás jelenségétől (ilyenkor a lángfront terjedési sebessége az 1000 m/s-ot is meghaladhatja).

A HCCI oxidációs reakció nem más, mint egy kétlépcsős öngyulladásos folyamat: alacsony hőmérsékletű reakció (AHR) és magas hőmérsékletű reakció (MHR) közötti hőfelszabadulás. Az AHR közötti hőfelszabadulás a teljes hőfelszabadulás körülbelül 8-12%-a.

Az AHR hatásai figyelmen kívül hagyásának érdekében definiálták az égési időtartamot (Φ_{20-90}), amely a tüzelőanyag 20 és 90 tömeg% arányú égési állapotai között megtett főtengelyfordulatot fejezi ki ft° mértékegységben.

A hagyományos szikra- (Otto-) vagy kompressziógyújtású (dízel-) motorok ese-

tében a tüzelőanyagnak igen nagy hőmérsékleten kell elégnie, hogy az égésfolyamat kellően rövid idő alatt lejátsszódjon. A HCCI-motorokban ugyanakkor nincs szükség a gyorsan terjedő lángfrontra, hiszen az égéstér homogén módon kitöltő tüzelőanyag egyszerre számtalan helyen öngyullad. Így a lokális égésfolyamat a két szomszédos gyulladási mag közötti térrészre korlátozódik, nem pedig az egész égéstérre. Ennek eredményeként az égéstérben csökkenthető a hőmérséklet, ami a nitrogén-oxidok kibocsátását igen kedvezően befolyásolja.



Azonban a HCCI-motorokban lejátszódó égésfolyamat nagy szénhidrogén- (HC) és szén-monoxid- (CO) emisszióval jár együtt. Mindez a viszonylag kis égési hőmérséklet eredménye.

Öngyulladás leggyakrabban akkor lép fel, amikor a dugattyú a felső holtpontra kerül. Az öngyulladás időzítése éppen ezért nagyon kritikus, de a HCCI-motor esetében két időzítésszabályozó mechanizmus is kiesik. Egyrészt az égés kezdete nem befolyásolható közvetlenül egy külső tényezővel, mint például a befecskendezés kezdete a dízelmotoroknál vagy a gyújtógyertya szikrája a benzinüzemű motoroknál. Másrészt a hőfelszabadulásra nincs hatással a tüzelőanyag-befecskendezés gyorsasága és időtartama, mint egy dízelmotor esetében, vagy a turbulens áramlatoknak, mint a szikragyújtású motorokban.

A forró kipufogógázokat is fel lehet használni hőforrásként, amely biztosítja a HCCI-elven történő öngyulladást. A forró kipufogógázok mennyisége változtatható szelepezéssel (VVT - Variable Valve Timing) egyszerűen szabályozható (belső kipufogógáz-visszavezetés). A VVT-rendszer javíthatja a volumetrikus hatásfokot is a szívószelep nyitási és zárási időpontjának változtatásával.

A kísérletek során általánosan elterjedt a dimetil-éter (DME) alkalmazása, amely nagy cetánszámának köszönhetően alkalmas gyulladásegítőnek, és néhány kutató a gázolaj helyett alkalmazható alternatív tüzelőanyagként tekinti. A DME fizikai és kémiai tulajdonságai igen közel állnak a gázolajéhoz. Nagy cetánszámán kívüli további előnyös tulajdonsága, hogy oxigén-

atomokat tartalmaz, és könnyen párolog. A nagyfokú illékonyosság megakadályozza a hengerfal nedvesedését korai befecskendezéskor. A benne lévő oxigénatomok az expanzió során oxidálják a kormot.

A tüzelőanyagok alkalmazhatósági tartományának kiterjesztése érdekében kerültek kifejlesztésre a kettős üzemű HCCI-motorok. A kis és nagy cetánszámú tüzelőanyag kombinálása egyidejűleg kielégítheti a kis és nagy terhelésű üzemállapotok által támasztott követelményeket. A legismertebb tüzelőanyag-kombinációk a benzin-gázolaj és az LPG-DME. A legtöbb kettős üzemű HCCI-kísérlet során a gyulladási karakterisztikát, a kipufogógáz-emissziót és a motor pillanatnyi üzemállapotának megfelelő tüzelőanyag-kombináció adaptációs lehetőségeit próbálják meg feltárni.

Dízel HCCI

A dízelmotorokban megvalósítható HCCI-égésfolyamat megvalósításának kutatása bő egy évtizede vette kezdetét, a NO_x - és a részecskibocsátás csökkentését szem előtt tartva. Akárcsak a benzinüzemű HCCI-motorokban, az öngyulladás itt is egyidejű-



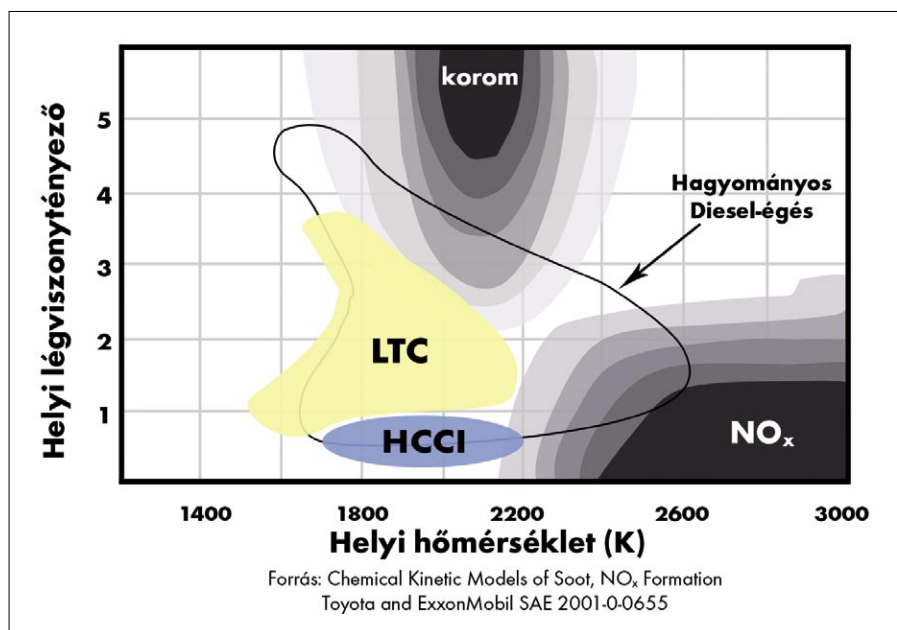
leg lép fel az égéstér számos pontján. Az emisszió csökkenése annak köszönhető, hogy a dízel tüzelőanyag és levegő homogén keveréke a hagyományosnál alacsonyabb hőmérsékleten ég el, amikor is még nem játszódnak le a nitrogén-oxidok keletkezésének reakciói.

A dízel HCCI üzemállapot a precíz termikus egyensúlyon áll vagy bukik. Az égéstérben magas hőmérsékletre van szükség, különben a tüzelőanyag nehezen párolog. Ez azonban az égésfolyamatra jellemző alacsonyabb hőmérséklet miatt nehezen megvalósítható.

Három módszert vizsgáltak a tüzelőanyag-levegő keverék létrehozására. Elsőként a szívócső-befecskendezést. Aztán a jóval a felső holtpont előtti közvetlen befecskendezést, amivel szintén előállítható a homogén keverék az öngyulladást megelőzően. A harmadik megközelítés szerint a hagyományosnál későbbi befecskendezést alkalmaznak nagymértékű kipufogógáz-visszavezetéssel, ezáltal segítve a tüzelőanyag gyors párolgását. Egy további, negyedik stratégia a vízbefecskendezés alkalmazása az égéstérben uralkodó hőmérséklet csökkentése érdekében, így az öngyulladás időpontja késleltethető, amíg a töltet megfelelően homogenizálódik.

HCCI-motorok üzemeltetésével kapcsolatos kérdések

Jóllehet a HCCI-motorokkal kapcsolatos fejlesztések már az 1970-es évek végén elkezdődtek, az első ilyen elven működő motorral ellátott és a sajtó képviselői által kipróbálható járműveket csak 2007. augusztus 24-én mutatta be a GM (Saturn Aura, Opel Vectra). Ugyanakkor Tom



Stephens, a GM Erőátvitel és Minőségbiztosítás osztályának alelnöke szerint is legkorábban 2013-ban találkozhatunk szériagyártású járművekben ezzel az előremutató technológiával. Addig is még számtalan problémát kell megoldani.

Először is a HCCI-elven működő motor energiasűrűsége kisebb, mint a sztöchiometrikus benzin-levegő keverékkel üzemelő motor megfelelő adata. A legnagyobb kihívást azonban a HCCI égésfolyamat ellenőrzése jelenti. Különösen igaz ez a hagyományos és a HCCI-elvű égésfolyamatok közötti tranzienst jelenségre. A hideg motor nem indítható HCCI-üzemmódban, ugyanis ekkor a maradék gázok energiatartalma túlságosan alacsony az öngyulladás előidézéséhez. Éppen ezért nem alkalmazható a HCCI-üzemmód az üresjárathoz közeli kis terhelési tartományban sem.

Ennek kiküszöbölésére a HCCI-motorok tervezésekor a hagyományos benzinüzemű motorokból indulnak ki, amelyeket a szikragyújtás mellett alkalmassá tesznek a HCCI-égésfolyamat megvalósítására is. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a motor csak a megfelelő üzemállapotokban vált át a HCCI-üzemlétre. Jelenleg ez az átváltás körülbelül 80 km/h sebességig tartható ki. A két üzemlé közötti átváltást a szelepelérés idejének és magasságának változtatásával a szoftvertárolt motorvezérlő egység (ECU) végzi, a hengerekénti nyomásérzékelőktől, a termosztáttól és a Flex-Fuel motorokban alkalmazhatóhoz hasonló tüzelőanyag-érzékelőtől érkező adatokhoz megfelelően.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a belső égésű motor az üzemlé kb. 40%-ában képes a HCCI-üzemlében működni. Ennek következtében a szabványos menetciklusban mérve hozzávetőlegesen 15%-os tüzelőanyag-fogyasztás csökkenés érhető el.

A problémás üresjárati állapot csökkentése vagy elkerülése érdekében start-stop funkcióval láthatják el a járművet. A kis terhelési üzemállapotok gyakorisága hengerkapcsolással csökkenthető, valamint a HCCI-motorok hibrid járművek belső égésű erőforrásként történő alkalmazásával is kiküszöbölhetők ezek a nemkívánatos üzemállapotok.

További nehézséget jelent, hogy az égési csúcshőmérséklet ugyan jóval a NO_x kialakulásának hőmérséklete alatt van, azonban ilyen körülmények közepette a tüzelőanyag oxidációja az égéstérben nem tökéletes. Ez napjaink szikragyújtású motorjaihoz képest akár 50%-kal nagyobb HC- és CO-szintű emisszióhoz vezethet. Az igen kedvező részecske- (PM) és NO_x -

kibocsátást azonban beárnyalja az a tény, hogy a kipufogógázok meglehetősen alacsony hőmérséklete miatt a hagyományos katalizátorokban alkalmazott katalitikus folyamatok nem mennek végbe megfelelően, így az előbbi két kipufogógáz-összetevő mennyisége csak újabb technológiák kifejlesztése útján csökkenthető elfogadható mértékűre.

Mivel a HCCI-technológia a hosszú fejlesztőmunka ellenére még mindig viszonylag gyermekcipőben jár, így a laboratóriumon kívüli kísérletek még csak a közeljövőben indulnak nagyobb számban.

A későbbiekben ezeket a már megvalósított konkrét fejlesztéseket vesszük sorra.

HEGEDŰS TAMÁS

A keveréken kívül nem akarunk senkit megkeverni...

Ma még nem egészen kiforrott a dízel- és az Otto-motor egyesítéséből létrejövő motor (innen az elnevezés, hogy DiesOtto- vagy dízotto-motor), valamint a bennük megvalósuló egyesített elégetési, energiatárolási eljárás terminológiája. A HCCI-égésfolyamat kutatásának kezdete, a '70-es évek vége óta több tucat különböző megnevezést használtak. A CAI (Controlled Auto Ignition / szabályozott öngyulladás) lényegében ugyanaz mint a HCCI-égésfolyamat, egyes források azonban különbséget tesznek a benzin- és dízelüzemű HCCI-motorok között, az előbbire használva a CAI megjelölést. A kettő között a legfontosabb különbség, hogy az Otto-motorból kifejlesztett HCCI-motorokban továbbra is van gyújtógyertya, hiszen a tüzelőanyag öngyulladása csak bizonyos üzemállapotokban megengedett, egyéb esetekben pedig hagyományos szikragyújtású motorként üzemeltethető. A két égésfolyamat közötti áttéréshez egy igen szofisztikált vezérlőelektronikára van szükség. Ezen különbségek együttesen mégiscsak indokoltá tehetik a CAI megjelölést azon

HCCI-motorok esetében, amelyek őse az Otto-motor.

A HCCI megjelölés tulajdonképpen magát az égésfolyamatot jelenti, a CCS (Combined Combustion System) pedig a motort (rendszert), amely megvalósítja a HCCI és hagyományos égésfolyamatok kombinációját az aktuális üzemállapotnak megfelelően. Bár a VW-konzern - akinek motorkísérleteiről a következő részekben szólnunk - eléggé kiszájtította a CCS megjelölést, és az ő rendszerük nem is használható akármivel, csak a szintetikusan előállított SunFuel nevezetű speciális tüzelőanyaggal. A CCS megjelölésnek eredetileg pont az volt a lényege, hogy a benzin- és dízelmotorok lassan „összeérnek”; azaz a kompresszióviszony benzineseknél nő (VW FSI 12:1, Toyota Prius 13:1), dízeleseknél csökken (Toyota 2,2 D4D D-CAT Clean Power 15,7:1). Míg végül már csak a CCS lenne, amelybe mindegy, hogy gázolajat, vagy benzint vagy akár metanolt, etanolt, LPG-t stb. tankolunk.

Tehát a hagyományos értelemben vett CCS-től még eléggé messze vagyunk (a VW-konzern hasonló megnevezésű erőforrásáról nem is beszélve), és újabban az egyes gyártók is inkább külön kezdik kezelni a benzin- és dízelüzemű HCCI-motorokat. (HT)

