

ICHKI YONISH DVGATELLARINING YONISH KAMERASINI OPTIMALLASHTIRISH USULLARI

Isaqov Alisherjon Abdumustalim o'g'li

Dang'ara tuman 1-son politexnikumi o'qituvchisi.

Annotatsiya: Ushbu maqola ichki yonish dvigatellarining (IYD) yonish kamerasini optimallashtirish usullarini tizimli va ilmiy asosda ko'rib chiqadi. Maqolada yonish kamerasining geometriyasi, piston koronkasi shakli, valflar va yoylanma oqimlar (swirl, tumble), yonilg'i purkash strategiyalari (DI, PFI), turbulensiyaning boshqarish, issiqlik almashinuvi va detonatsiyaning cheklash kabi jihatlar batafsil tahlil qilinadi. Shuningdek, kompyuter simulyatsiyalari (RANS, LES), optik tajribalar, ko'p-maqсадli optimallashtirish metodlari (NSGA-II, RSM), va ishlab chiqarish cheklovlari bilan muvofiqlashtirish usullari taklif etiladi. Maqola nazariy asoslar, amaliy tavsiyalar va kelajakdagi yo'nalishlarni o'z ichiga oladi.

Kalit so'zlar: yonish kamerasi optimallashtirish, swirl, tumble, to'g'ri yoqimli purkash (DI), HCCI, RCCI, CFD, NSGA-II, issiqlik yo'qotishlari, detonatsiya (knock), optik silinder

Kirish. Yonish kamerasining dizayni ichki yonish dvigatelining samaradorligi, emissiyalari va ishonchliligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ideal yonish kamerasida quyidagi maqsadlar uyg'un bo'lishi kerak: yuqori termal samaradorlik, past zarrachali hamda gaz emissiyalari, barqaror yonish va detonatsiyaning cheklash. Biroq, bu maqsadlar ko'pincha qarama-qarshi bo'lib, optimal yechim ko'p-o'lchovli kompromissni talab qiladi. Mazkur maqola yonish kamerasini optimallashtirish bo'yicha metodlarni nazariy jihatdan tushuntiradi va amaliy tavsiyalar beradi.

Asosiy qism: Yonish kamerasining turi (hemisferik, pent-roof, bowl-in-piston va h.k.), piston koronkasi shakli va hajmi. Kuchli yoylanma va quyi kameralashuv yonilg'i-havo aralashmasining yonish tezligi va emissiyalariga ta'sir qiladi. Swirl (burilish momenti) va tumble (silindr bo'ylab aylanish) aralashma homogenligini va yonish tezligini oshiradi. Optimal swirl/tumble nisbatlari dvigatel turi va yuk sharoitiga bog'liq (masalan, tezkor yonish uchun katta turbulensiya). To'g'ri yonilg'i purkashi (DI) aralashma lokal kontsentratsiyasini va sovuq yuzalarga yopishishni kamaytiradi; PFI esa yaxshiroq homogenlashtiradi. Spark plug (iskra) joylashuvi yonishning boshlanishida muhim. Yonilg'i energiyasining bir qismi devorlarga o'tish sifatida yo'qoladi. Devor harorati, materiallar va plenum geometriyasi bu yo'qotishlarni belgilaydi.

EGR, VVT (o'zgaruvchi valf vaqtlanishi), VCR (o'zgaruvchi siqilish nisbati), kamless (valf aktuatsiyasi), bosimli turbo kompressorlar.

- Yonish kamerasini optimallashtirishning fizik jihatlari
- Termodinamik asoslar: Otto sikli samaradorligi taxminan

$$\eta = 1 - 1 / r^{(\gamma-1)}$$

ko‘rinishda ifodalanadi (r — siqilish nisbati). Shu bilan birga real dvigatellarda issiqlik yo‘qotishlari, yonish bosqichining cheklanishlari va detonatsiya bu formulani cheklaydi. Turbulent yonish tezligi laminar yonish tezligiga nisbatan ancha yuqori bo‘lib, laminar flame speed SL va turbulensiya intensivligi u' ga bog‘liq. Model va experiment asosida optimallashtirishlar shu munosabatlarni hisobga oladi. Voschni tenglamasi kabi modellar real-isitish yo‘qotishlarini baholaydi va bu yonish kamerasining sovuq yuzali yoyilishi dizaynini belgilaydi. Bowl-in-piston (diesel) yonilg‘i purkashi va markaziy yonish hosil qilinishini qo‘llab-quvvatlaydi. Benzin dvigatellarda pent-roof va kompakt kameralardagi iskraning markaziy joylashuvi laminatsiyalangan va tez yonadigan aralashmani yaratadi. Markaziy joylashuv MBT (Minimum advance for Best Torque) va yonish simmetriyasini yaxshilaydi. Katta valf maydoni oqimni yaxshilaydi, lekin kichik valflar yuqori turbolensiya (tumble) hamda yaxshiroq past yukdagi yonish uchun foydali bo‘lishi mumkin. Yuqori siqilishlarda aralashmani lokal ravishda boyitish va sovuq yuzalarga yopishishni kamaytirish imkonini beradi; ammo zarracha emissiyalari va sochilish masalalari paydo bo‘ladi. Purkash kalendarini (timing), bosimini va injector tipini optimallashtirish zarur.

Past haroratli yonish orqali NO_x va soot darajasini sezilarli kamaytiradi, ammo boshqarish (misol: start of combustion) va keng ish rejimida barqarorlik muammosi mavjud.

1. Swirl va tumble yaratish: valf portining shakli, valf fazasi va port profiling orqali nazorat qilinadi. Swirl ratio odatda 2–6 oralig‘ida tahlil qilinadi (dvigatelga bog‘liq).
2. Jet impingement va in-cylinder jet control: injectorlardan chiqqan jetlarning yo‘nalishi va kuchi yonilg‘i taqsimoti va axloqiy yonish rejimiga ta’sir qiladi.
3. Aktiv boshqaruv: VVT va valf lift (VVL) yordamida yuk va tezlikka qarab oqimlar optimallashtiriladi.

Keramika qoplamalar yoki termal bariyer qoplamalari (TBC) yonish samaradorligini oshirishi mumkin, lekin yuqori devor harorati oksidlanish va detonasiyani oshirishi mumkin.

- Sovutish kanallari va termal boshqaruv: lokal sovitish va harorat sensoring siqilish va yonish boshqaruvida muhim. Yuzaning silliqqligi va materiallar issiqlik uzatishni va yopishishni o‘zgartiradi. Siqilish nisbati optimallashtirish, yuqori oktanli yonilg‘i yoki qo‘shimchalar, EGR bilan yonish haroratini tushirish, tez-reaktiv aralashmalarni boshqarish. Knock sensorlari, in-cylinder bosim o‘lchovchilari va tezkor ECU algoritmlari detonatsiyaga qarshi tezkor kompensatsiyani ta’minlaydi.

Amaliy ish oqimi:

1. Maqsadlar va cheklovlarni aniqlash (emissiya, samaradorlik, ishlab chiqarish).
2. Dizayn parametrlarini belgilash (piston shakli, valf hajmi/pozitsiyasi, injector parametrlari).
3. DOE orqali parametrlar magistralini yaratish.
4. Har bir dizayn uchun RANS bazaviy CFD simulyatsiyasi va kerak bo'lsa LES/yagona-zone detailed simulyatsiyalar.
5. Surrogate modellarni qurish va global optimallashtirishni qo'llash.
6. Eng yaxshi dizaynlarni optik sinov va haqiqiy dvigatel sinovlarida validatsiya qilish.
7. Ishlab chiqarish va ishonchlilik cheklovlarini hisobga olgan holda dizaynni yakunlash.

Ishlab chiqarish qobiliyati murakkab piston koronkasi yoki qalin TBC qoplamalari ishlab chiqarish xarajatlarini oshiradi. Biodizel, etanol, yuqori oktan benzin — hammasi yonish kamerasining optimal dizayniga ta'sir qiladi. Yuqori haroratli devorlar va qoplamalar servis muddatini qisqartirishi mumkin; shuning uchun xizmat ko'rsatish rejalari va material tanlovi muhim.

Xulosa. Yonish kamerasini optimallashtirish — bir nechta fan sohalarini (aerodinamika, kimyo, termodinamika, materialshunoslik va boshqaruv) o'zaro uyg'unlashtirgan murakkab jarayon. Eng yaxshi natijalarga erishish uchun geometriya, purkash strategiyasi, oqimni boshqarish, termal nazorat va zamonaviy boshqaruv algoritmlarini birgalikda optimallashtirish talab etiladi. Zamonaviy CFD va optik tajribalar hamda ko'p-maqsadli optimallashtirish usullari (masalan, NSGA-II, surrogate-modellar) samarali ishlatilganda samaradorlikni oshirish va emissiyalarni kamaytirishda sezilarli natijalar beradi. Biroq ishlab chiqarish va ishonchlilik cheklovlari, yonilg'i turidagi o'zgarishlar va detonatsiya xavfi doimiy hisobga olinishi kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Heywood, J. B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill.
2. Stone, R. (2012). Introduction to Internal Combustion Engines (4th ed.). Palgrave Macmillan.
3. Turns, S. R. (2012). An Introduction to Combustion: Concepts and Applications (3rd ed.). McGraw-Hill.
4. Zhao, F., Lai, M. C., & Harrington, D. L. (1999). Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines. Progress in Energy and Combustion Science, 25(5–6), 437–562.

5. Janicka, J., Kolbe, M., & Mastorakos, E. (2010). Models and experimental techniques in internal combustion engine research. SAE International Technical Paper.
6. Woschni, G. (1967). A universally applicable equation for the instantaneous heat transfer coefficient in the internal combustion engine. SAE Technical Paper 670931.
7. Stone, R. (1999). Introduction to Internal Combustion Engines: Volume on Turbocharging and Emission Controls. (Paper/Review materials).
8. Lida, N., & Ikegami, Y. (1998). HCCI engine development and control strategies: a review. SAE Papers.
9. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6(2), 182–197.
10. Gopalan, S., & Heywood, J. B. (2001). Combustion and emissions in gasoline engines with direct injection and stratified charge. SAE Papers.
11. Braun, M., & Renz, U. (2016). Optical diagnostics and CFD validation for in-cylinder flow and combustion processes. International Journal of Engine Research.