

Kompressziógyűrűk

A dugattyúgyűrűk közül a legnagyobb igénybevételnek az első dugattyúhoronyban elhelyezkedő kompressziógyűrűk vannak kitéve. Az értékeiben egyre növekvő fajlagos és abszolút motorteljesítmény, a növekvő középnyomások és égési csúcsnyomások, az emissziós értékek, a karbantartási költségek csökkentése, az élettartam növelése a gyűrűket gyártó cégektől is, így a Federal-Mogultól, a tradicionális Goetze német cég tulajdonosától is további fejlesztések megtételét igényelte.

Jelenleg leggyakrabban különböző minőségű öntöttvasakat és acélokat használnak a dugattyúgyűrűk anyagául. Az öntöttvasak közül a legkedvezőbb igénybevételi adottságokkal – mint rugalmas nyúlás, tartós szilárdság, valamint kopásállóság – rendelkező öntöttvasakat az 1. táblázat tartalmazza.

Anyagminőségek

A kompressziógyűrű anyagául kiemelten a legnagyobb hajlítási szilárdsággal és E-rugalmassági modulussal rendelkező gömbgrafitos szövetszerkezetű öntöttvasat részesítik előnyben, martenzites szövetszerkezete garantálja a fokozott keménységet és a gyűrűoldalak kopásállóságát. A nem bevont dugattyúgyűrűk anyagául nemesített, finomlemezes szövetszerkezetű öntöttvasat fejlesztettek ki. A króm, vanádium, mangán és

volfrámkarbidok kiválásával, valamint a martenzites szövetszerkezettel a legkedvezőbb kopásállósági paraméterek érhetőek el. A GO 44 jelű temperöntvényvel, melynek finomperlites szövetszerkezetében célzott hőkezeléssel maradék karbid szemcsék is kialakulhatnak, jó kopásállósággal párosuló, nagyobb tangenciális erők felvétele válik lehetővé. A fentiekén kívül használatos gömbgrafitos öntöttvasak bainites (bénites) szövetszerkezetű változatával kisebb kopásállóság garantálható az oldalakon és a futófelületen. A dugattyúhossz mérséklése, mely maga után vonta a kompressziógyűrűk magasságának a csökkentését Otto-motoroknál, valamint dízelmotoroknál a 200 baros csúcsnyomás tovább növelte a gyűrűkkel szembeni szilárdsági és kopásállósági követelményeket. A váltakozó hajlítási terhelések elviselésére a nagyobb szilárdsági és kopásállósági paramé-

terekkel rendelkező acélok már inkább megfelelnek, mint az öntöttvasak. Az 1. ábrán a dugattyúgyűrűk anyagául használatos anyagminőségek által elviselhető feszültségamplitúdókat tüntették fel. Az öntöttvasak és acélok közötti dinamikus feszültségkülönbség esetenként jelentősen csökken a felületbevonások és felületkezelések hatására. Kísérletek kimutatták például, hogy a nitridált acélgyűrűk dinamikai szilárdsága kiegészítő kémiai kezeléssel (CPS-eljárás) 30%-kal növekedett. Gyakorlati felhasználásra előnyösen a nagy krómtartalmú martenzites acélok jönnek számításba – 13%, illetve 18% krómtartalommal. A nagy kopásállóság döntően a finom eloszlású krómkarbidoknak és a nitridálással létrehozott nitridrétegnek köszönhető. Ha nemesítnek, alacsony ötvözésű Cr-Ni acélok kerülnek felhasználásra, akkor a gyűrűk futófelületének bevonása szükséges. Az utóbbi 15 évben az első dugattyúgyűrűk anyagául Otto-motoroknál világszerte előnyben részesítik az öntöttvasak helyett az acélokat, elsősorban Európában és Japánban a nitridálva (2. táblázat). A táblázatból kiolvasható, hogy az első gyűrűk 90%-a nitridált, míg a második gyűrű költségkímélés érdekében öntöttvasból készül, kialakításával és bevonásával teljesítve a vele szemben támasztott funkcionális követelményeket. Az európai 50 kW/l-nél nagyobb specifikus teljesítményű személygépkocsi-dízelmotorok első

1. táblázat: dugattyúgyűrűk tipikus öntöttvas anyagai

Anyagminőség	Anyagjelölés ISO szerint	Tartós szilárdság * (N/mm ²)	Hajlítási szilárdság (N/mm ²)	E-modul (GPa)	Elsődleges felhasználás
Gömbgrafitos öntöttvas	GOE 56	390 ± 280	>1300	>150	1. gyűrű, dízel 1. és 2. gyűrű dízel
Nemesítve, alacsony ötvözésű	GOE 52		>1300	>150	
Temperöntvény Ötvözött	GOE 44	325 ± 205	>800	>150	2. gyűrű Otto és dízel
Szürkeöntvény					2. gyűrű Otto és dízel
Nemesítve	GOE 32	370 ± 110	>650	130–160	2. és 3. gyűrű Otto és dízel
Ötvözve	GOE 13		>420	95–125	
Ötvözetlen, perlites	GOE 12	245 ± 50	>350	85–115	2. és 3. gyűrű Otto és dízel
Ötvözetlen, perlites					

2. táblázat: az első, második horony gyűrűinek anyagminőség-megoszlása az európai Otto-motorokban

Horony	Anyagminőség	1985 (%)	1995 (%)	2005 (%)
1.	GG, ötv., és nem.	20	–	–
	GGG	80	75	10
	acél, nitridált	–	25	90
2.	GG	95	75	49
	GG növelt kopásállósággal	5	25	50
	acél	–	–	1

hornyába szerelt gyűrű anyagául a GOE 52/56 osztályú gömbgrafitos öntöttvasat, míg a második horonyba a GOE 32 osztályú nemesített gyűrűt használják sikeresen (3. táblázat).

A gyűrűfelületek kopásállóságának növelését, különösen a gyűrű alsó felületén a keményebb GOE 56-os gömbgrafitos öntöttvasal, illetve a 18%-os acéllal érték el. Az acélgyűrűknél mindenesetre fennáll – különösen az axiálisan alacsonyabb gyűrűmagasságoknál – a horonykopás növekedésének a lehetősége. Ezért a horony- és gyűrűoldalak kopása nem minden esetben különíthető el. Dízelmotoroknál az acélgyűrűkre történő átváltás nem igényelte a kompressziógyűrűk nagymértékű axiális irányú méretnövelését. Ennek egyik oka az öntöttvas gyűrű és a gyűrűt befogadó horony anyagának nagyon kedvező anyagpárosítása, másrészt az öntöttvasak nagyon kedvező megmunkálhatóságában keresendő, különösen az alsó futófelületrész sarkosabb kialakításában. Megállapítható, hogy a haszongépjármű-dízelmotorok első dugattyúhornyába illeszkedő GGG-anyagminőségű kompressziógyűrűkkel szerzett tapasztalatok nagyon kedvezőek. Ez tükröződik vissza a 3. táblázatban is. Az 1960-as évektől kezdve nagyon jó szériatapasztalatok állnak rendelkezésre a 18%-os és bevont krómacélokról, a nagyon kedvező axiális kopásértékek terén. A 200 bar-os csúcsnyomású dízelmotorok fokozott elterjedésével az első horonyban az acélgyűrűk növekvő felhasználása várható.

3. táblázat: anyagféleségek az európai dízelmotorokban (2005-ös széria és fejlesztés)

Anyagminőség	Szkg. dízelmotorok furat < ill. = 95 mm (%)		Tgk. dízelmotorok 95 mm < = furat < ill. = 145 mm (%)	
	1. horony	2. horony	1. horony	2. horony
GOE 52/56 (KV)	96	5	86	4
18% Cr-acél	4	–	14	–
GOE 32 (F14)	–	92	–	28
GOE 12/13	–	3	–	68

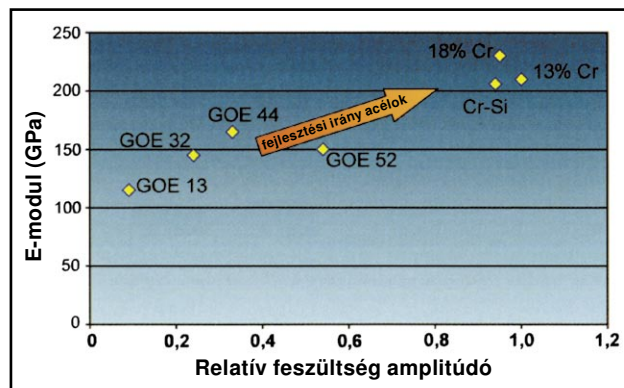
Dugattyúgyűrű-formák

Otto-motorokban az első horonyban mintegy 100%-ban négyszög/derékszögű keresztmetszetű gyűrűkkel találkozhatunk. Futófelületük az olajfogyasztással és a blow-by-al (kartergáz) szembeni követelmények teljesítése érdekében szimmetrikusan domború, egyoldalúan domború vagy kúpos. Az európai személygépkocsi Otto-motoroknál a dugattyúgyűrűk mintegy 30%-a – a futófelületi olajfogyasztás csökkentése érdekében – vagy egyoldali domborúsággal vagy kúposággal készül. A személygépkocsi-dízelmotorok túlnyomó része ugyancsak négyszög keresztmetszetű. A kettőstrapézis keresztmetszetűek részaránya az utóbbi 25 évben stabilan 30% körül tartja magát. A növekvő furatátmérővel a kettős trapézú gyűrűk részaránya is növekszik.

Gyűrűmagasság

Az utóbbi 20 évben az Otto-motoroknál az első dugattyúgyűrű-hornyok axiális méretének tendenciózus csökkenése volt megfigyelhető. A magasság méreté-

nek csökkenése szükségszerű következménye a növekvő fordulatszám szintnek és a csökkenő dugattyútömegnek, illetve hossz méretnek. A nitridált acélgyűrűk kifejlesztése és alkalmazásbavétele is szükségszerű feltétele volt az alacsony, axiális méretű gyűrűk bevezethetőségének. Az Otto-motorok fejlesztésénél napjainkban már teljesen természetes az első horony gyűrűjénél az 1,0–1,2 mm-es, a második horonyjánál az 1,2–1,75 mm-es magassági méret. A dízelmotoroknál az intenzíven növekvő égési csúcsnyomás miatt nem alakult ki hasonló tendencia. Az axiális méret csökkenése elsőként a 75 mm-nél kisebb hengermű motorok trendjéből olvasható ki. A haszongépjármű-dízelmotoroknál ezzel szemben a gyűrűmagasság növekedése a jellemző irányzat.

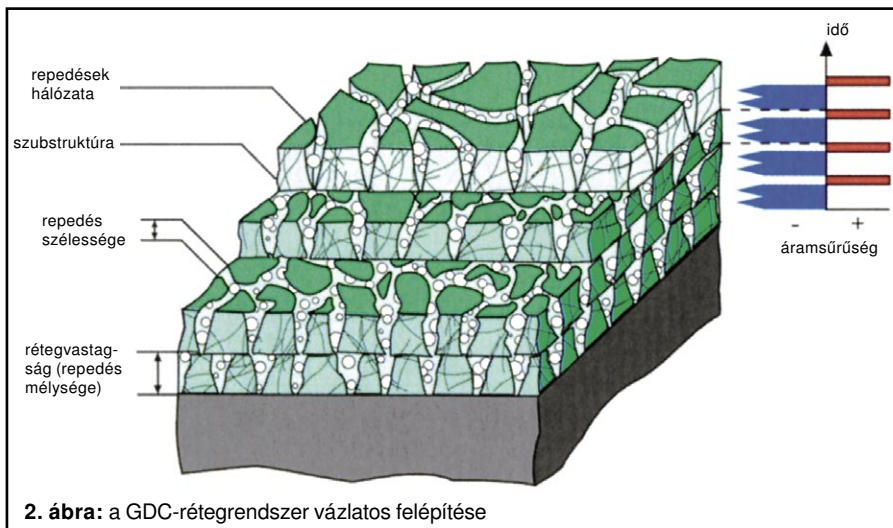


1. ábra: a dugattyúgyűrű-anyagminőségek mechanikai jellemzői

A futófelület kopásállóságának növelése

Az első horony dugattyúgyűrűi jelentősen növekvő termikus és mechanikai igénybevételnek vannak kitéve. A futófelület kopásállóságának a javítása az alábbi eljárásokkal, a fejlesztőmunkák fókuszában álló eljárásokkal növelhető:

Elektrokémiai bevonatok. A standard keménykróm rétegeket ma elsősorban kopáscsökkentő céllal alkalmazzák a második horony gyűrűjénél, valamint az olajlevezető gyűrűknél. A Goetze cég által kidolgozott króm-kerámia réteg (CKS) nagy hőterhelhetőségével, kiváló kopásviszonyaival szerves részévé vált a korszerű nagy terhelésű dízelmotorok fejlesztési sikerének. A kerámiarészecskéknél (Al-Oxid) a galvanikus úton kicsapódó krómrétegbe történő beágya-



2. ábra: a GDC-rétegszer vázlatos felépítése

zódásával nemcsak annak kopásállóságát növeli a rétegvastagság teljes lekopásáig, hanem termikus terhelhetőségét is, azaz ellenállását a beégési nyomok kialakulásával szemben. A folyamatosan növekvő igények kielégítésére egy új rétegszerrendszert fejlesztettek ki. Ez a réteg egy keménykróm mátrixot jelent, amelynek extra finom repedésrendszerében – alapszerkezetében – a nagyon kicsi gyémánt-részecskék rögzítődnék és koncentrálnának (2. ábra). A Federal-Mogul által GDC-vel jelölt króm-gyémánt réteg a piacon ismert bevonatok között a legkisebb sajátkopással rendelkezik. A GDC-réteg határozott élű alsó futóélel alakítható ki, és ezzel a nagy termikus terhelhetőségű és kopásállóságú felületemmel elősegíti

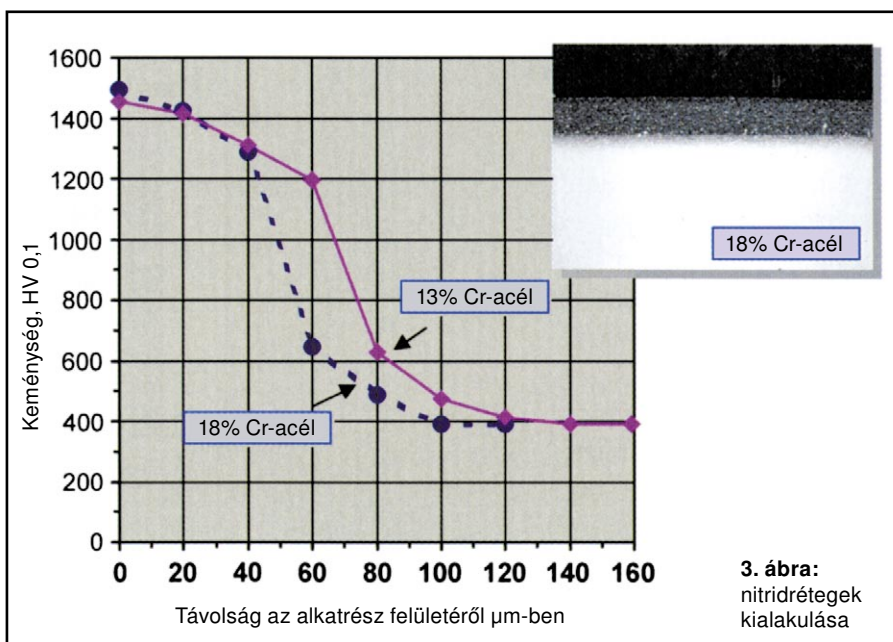
ti az alacsony olajfogyasztás és blow-by-érték (karergáz) garantálhatóságát.

Melegen felszóró rétegek. A melegfelszórást már régóta használják belső égésű motorok dugattyúgyűrűinek a felszórására. Különösen a plazmaszóró rétegek tartalmaznak nagy kerámiahányadot, mivel ezzel az erősen növekedett abrazív kopás által okozott ún. beégési nyomok csökkentése nagyon előnyös. A plazmaszórás viszont nem alkalmas a kopásvi-szonyok javítását szolgáló keményfém struktúrák lecsapatására. Erre fejlesztették ki a nagy sebességű lángszórást (HVOF = High Velocity Oxy Fuel), amely a por alakú anyagokat, mint CrC, WC és a fémes Ni-Cr-Mo ötvözeteket egy ultrahangos lángban gyakorlatilag a dugattyú-

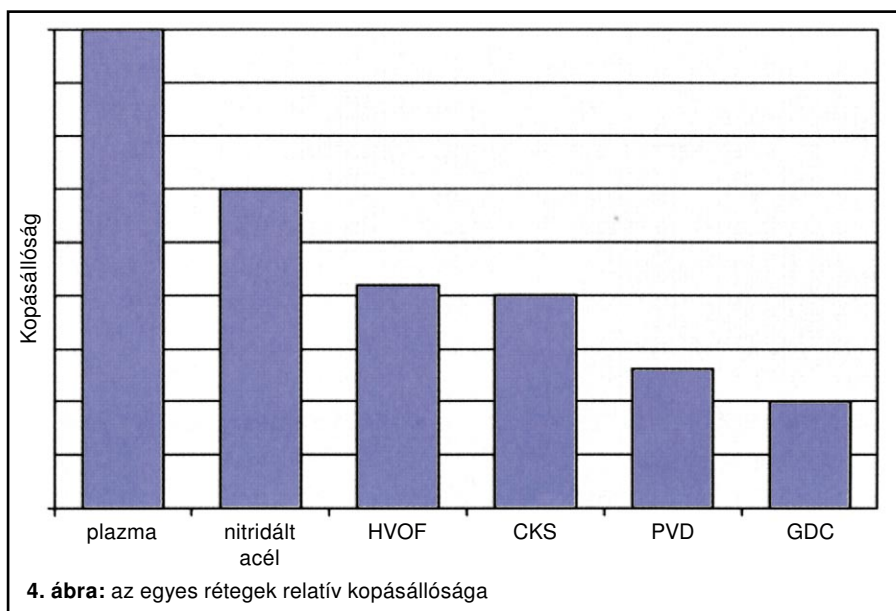
gyűrű felületére lövi fel és szinterezi. Ez mérsékelt hőmérsékleten kb. 3000 °C-on következik be. Az ezáltal előállított, nyomófeszültség alatt álló rétegszerkezet egy Ni-Cr-Mo szövetszerkezetbe ágyazott submikroszkopikus méretű karbidokat mutat fel. A felvitt réteg tulajdonságai kis porozitással, a legnagyobb tapadóképességgel, rétegekeménységgel – 750–1500 HV – jellemezhetők. Ezt a keramikus rétegszerkezetet a Federal-Mogul MK-Jet márkánévvel látta el. Kopásállósága a plazmaszóró réteggel szemben annak 3–4-szerese, mivel az ultrahang sebességű szórás tömörebb és jobban tapadó szilárd réteget hoz létre.

Nitridrétegek. Az erősen ötvözött, martenzites krómacélok nitridrétegének a kialakítása a peremrészeken keménységnövekedést eredményeznek. Az ezzel együtt járó nitridkiválások a dugattyúgyűrű-henger-futófelület párosnál jelentős kopási hordalékcsökkenést eredményeznek. A nitridált rétegek fokozott elterjedéséhez a technológiai folyamat fejlesztésén keresztül szükséges a nitridréteg felépítésének a célirányos vezérlése. A 3. ábrán látható a nitridréteg kialakulásának diagramja és szövetszerkezete. Előnyösnek tűnik, hogy a technológiából adódóan a minden oldalon, az éleken is kialakuló nitridréteg ellenáll az élkopásoknak, a felületek finommegmunkálásával kompatibilissé, jól összeférhetővé válik a dugattyúhorony felületével. A korszerű dízelmotorok első dugattyúhoronyában a nitridálással elérhető kopásállóság és a kisebb hőterhelhetőség általában nem elégséges.

PVD-bevonatok. A dugattyúgyűrű-bevonások legfiatalabb generációja a PVD-eljárás (Physical Vapour Deposition), azaz gőz halmazállapotú, vékonyrétegű fémbevonás. Lényegileg a krómnitrid (CrN) vagy titánnitrid (TiN) bázisán előnyösen kialakított rétegszerkezet (9. ábra). Jellemzője az extra nagy keménység (1800–2200 HV), a legkisebb súrlódási tényező és a kerámikristályos szövetszerkezet. A CrN-rétegek kis kopási értékükkel, nagyon nagy hőterhelhetőségükkel és kémiai stabilitásukkal tűnnek ki. A PVD-rétegek felhasználását az ún. „vékonyréteg” technikából leszármaztatható bevonási folyamat korlátozza. Megfigyelhető, hogy az 50 µm-nél vastagabb rétegeknél, azok különlegesen nagy belső feszültsége miatt tapadóképességi és repedési problémák lépnek fel. Ezért a szokásos rétegvastagság Otto-motoroknál 10–15 µm, míg dízel-motoroknál 30–50 µm.



3. ábra: nitridrétegek kialakulása



5. ábra: formakitöltésre optimalizált FO-dugattyúgyűrű

követelményei szükségessé teszik a felületek bevonását, páncélozását. A nitridált acélgyűrűk alkalmazása nem mindig járt sikerrel. Az oldalak krómozása a nyersolajú motoroknál például jól bevált. Egy teljesen új bevonatkészítési eljárás lehetővé teszi a derékszögű és trapéz alakú gyűrűk krómozását max. 10 µm vastagságú réteggel. A hagyományos krómozásnál szükséges igényes utánmunkálás messzemenően elmaradhat. Az új, ún. „Blitzchromtechnik” szerint készült gyűrűk alkalmazása haszonjárműmotorokban 2005 januárjában indult.

Végkövetkeztetések

A motorok várható további mechanikus és hőterhelés-növekedése megköveteli a dugattyúgyűrűk konstrukciójának és gyártástechnológiájának a továbbfejlesztését. Folytatódik az alapanyagok szilárdságának és kopásállóságának a továbbfejlesztése. A dízelmotorok első hornyába továbbra is öntöttvas és acélananyagokat fognak felhasználni. A ma rendelkezésre álló és a fentiekben ismertetett bevonási technológiák még nem érték el teljesítő-képességük határát, továbbfejlesztésük folytatódik. Megtörténik a geometriailag optimalizált dugattyúgyűrűk széles körű alkalmazásbavétele, mint az alsó futófelület-elem lekerekítése éles alapanyagéllal, valamint a falvastagságra optimalizált FO-gyűrű kialakításával.

Dr. Pordán Mihály

Forrás:

Kolbenring-Handbuch 2. Auflage 1973. Fridrich Goetze AG Burscheid; Van Basshuysen/Schaefer: Handbuch Verbrennungsmotoren 2. Auflage, 2002; Kompressionskolbenringe in Otto- und Dieselmotoren, MTZ, 7-8/2005

Rétegtulajdonságok és piaci kilátások

A 4. ábra mutatja a tárgyalt rétegek relatív kopásállóságának összehasonlítását. A GDC-futófelületbevonattal lehet a legkisebb kopásállóságot biztosítani. A hőterhelhetőség, az égésnyomás-állóság, különösen a dízelmotoroknál kiemelt követelmény. A krómnitridált és nitridált acélgyűrűk a korszerű dízelmotorok követelményeit nem elégítik ki, ezért rendszerint nem is használhatók. A CKS-réteg teljesíti a mai szériamotorok támasztotta követelményeket, alkalmazása a GDC-vel bővült. Az MK-Jet és a PVD a hőterhelhetőségükkel a rétegskála felső részén helyezkednek el. A nitridált acélgyűrűk az 1990-es évek elején történt bevezetésük óta az Otto-motorban nagyon működőképes alkatrészek. Az égésnyomás-állóság szükséges növelését a CKS- vagy a PVD-réteg felvitelével érték el.

A futófelületek kialakítása

Az első dugattyúhoronyban elhelyezkedő dugattyúgyűrűk futófelület-kialakítása a korszerű dízelmotorokban kiemelt fontosságú. Az egyoldali domborúság kialakítása már több mint 20 éve megtörtént, és standard kivitel az európai dízelmotorokban. Az alsó futóélen kialakított enyhe domborúság döntő szerepet játszik a funkcióviszonyokban. A nagy értékű futófelület kialakítását az optimális olajlehúzás eléréséhez kombinálták, a lehető „legélesebb”

sarkú alsóél-kialakítással. Összehasonlítva a nem megmunkált futófelület-lekerekítéseket az egyoldalúan, éles alapanyagéllal lekerekített kivittel, az olajfogyasztás csökkenése elérheti a 60%-ot.

Formakitöltő képesség

A tradicionális egyrészes, állandó falvastagságú kompressziógyűrűk formakitöltő képessége elsősorban a gyűrűk szájnylásától függ. Egy adott geometriai méretű gyűrűnél a szájnylásból adódik ki a beépítési hajlítási feszültség, valamint a lehúzási feszültség. Az egyrészes gyűrűknél a formakitöltő képesség a hiányzó hajlítónyomaték miatt a gyűrűvégeken nulla. A sugárirányú falvastagság változó kialakításával a dugattyúvégek közelében egy, vastagságra optimalizált dugattyúgyűrű alakul ki, amelyet FO-gyűrű jelöléssel láthatunk az 5. ábrán. Ezzel nagymértékben javul a dugattyúgyűrű helyi hajlítási és illeszkedési képessége a működése során egyáltalán nem egyenletes hengerdeformációkhoz. Az FO-gyűrűkkel végrehajtott kísérletek Otto- és dízelmotoroknál egyértelműen kimutatták az olajfogyasztás csökkenését. Az FO-gyűrűk gyártására teljesen új gyártási rendszert kellett kifejleszteni, és az első szériabevezetés 2005 első negyedévében megindult.

Felületek bevonása

Kopási és anyag-összeférhetőségi, kompatibilitási okokból az új motorgenerációk