

PİSTON SEGMANLARI ve MALZEME ÖZELLİKLERİ

■ Savaş İZGİZ Metalurji Mühendisi

Özet

Dünya motorlu araç üretimi 2009 yılında 2008 yılına göre % 13.5 azalarak 61 milyona gerilemiş bulunmaktadır. Bir öngörü saptaması 2010 yılında üretimin 68 milyon adede çıkacağını ortaya koymaktadır.

Piston segmanları silindir sistemi içersinde önemli işlevlere sahiptir.Piston üzerinde bulunan yuvalar içine yerleştirilen piston segmanları yükledikleri görevleri yerine getirmede kompresyon,kompresyon yağ ve yağ segmanı olarak adlandırılırlar ve araç grubuna bağlı olarak farklı malzeme ve özelliklerde seçilirler.

Segman malzemeleri dökme demir ve çelik olabilir. Dökme demir piston segmanları 1900 lü yıllardan başlayarak kullanılmalarına rağmen çelik segmanlar 1980 yılından başlayarak uygulama alanı bulmuştur.

Dökme demir piston segmanlarında mekanik özelliklerinin farklı bir görüş açısından değerlendirmesi iç şekillenme direnci ,dinamik özellik ile izafi bükme uzama değerlerinin piston yuvasındaki yeri ve yanma odasına yakınlığı ile arttığı görülmür.

Motor özgül gücünün yükseltmesi ve emisyonla ilgili sınırlamaların darlığı segman aksenal yüksekliklerinin azaltılmasını zorunlu kılmaktadır.Bu oluşan şartlara özellikleri itibari ile çelik malzemeler karşılık verebilmektedir.

Çelik segmanlar 1 yuva kompresyon segmanı ve LVP ile LVD otomotiv grubunda 3 veya 2 parçalı yağ segmanı olarak gün ve gün daha yoğun bir uygulama bulacaklardır. Dökme demir segmanları ise bundan sonrada uzun yıllar özellikle yedek parça piyasasının ihtiyacını karşılayacaklardır.

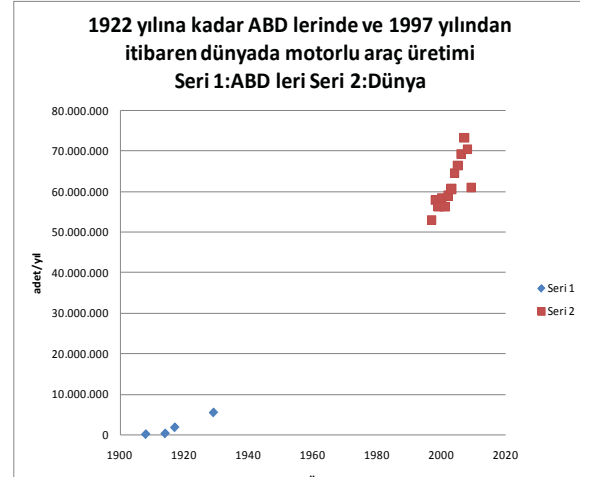
Anahtar kelimeler: Dünya Motorlu Araç Üretimi, Piston Segmanı, Kompresyon Segmanı, Yağ Segmanı, Dökme Demir Segmanlar, Çelik Segmanlar, Mekanik Özellikler,

Yüzey İşlemleri, Malzeme Standartları, İç Şekillenme Direnci, İzafi Bükme Uzaması, Teğetsel Kuvvet, Bükme Kopma Dayanımı, E-Modülü, Aşılama, Proses Kabiliyeti.

1. Dünya ve Otomotiv Endüstrisi

İçten yanmalı motorla çalışan ilk otomobilin patentinin 29 Ocak 1886 yılında Almanyada Karl Benz tarafından alınması ve üretilen ilk otomobilin 1888 yılında Mannheim'dan Pforzheim'a kadar olan gidişi ile insan hayatına otomobil girmiş oldu (1).

2007 yılında toplam motorlu araç üretimi 73.3 milyon adetle en yüksek değerine ulaştı. 2009 yılında ise ekonomik kriz nedeni ile dünya motorlu araç üretimi % 13.5 azalarak 61 milyon adede geriledi (Şekil 1).



Şekil 1: ABD ve dünya motorlu araç üretimi

Bugün sadece ABD'nde 250 milyon motorlu araç yollardadır. Dünyada toplam araç sayısı da 806 milyon adede erişmiştir.

Dünya motorlu taşıt üretimi 2008 ve 2009 yıllarında 2007 yılına karşılaştırıldığında 2008 yılında 2007 yılına göre % 3.7 ve 2009 yılındada 2008 yılına göre küresel ekonomik krizin etkisi ile %13.5 lik bir azalma kaydetmiştir.

2010 yılı için yapılan öngörü üretim sayısı 67.958.857 adedi vermektedir, bu değer de 2009 yılına göre % 11.43' lük bir artışa karşılık gelmektedir (Çizelge 1).

2010 yılı için öngörülen bu değer dünya toplam piston segmanı üretiminin OEM(ilk donanım) 1 milyar adet olabileceği tahmini yapmamızı mümkün kılmaktadır. AFM, yedek parça, piyasası talebinin de bu miktarın üzerinde olacağını söylemek mümkündür.

Bugün dünyada çok sayıda piston segmanı üretimi yapan kuruluş mevcuttur. En önemlileri aşağıda verilmiştir:

Japonyada: Teikoku, Riken, NPR.

Amerikada: FederalMogul, Dana, Hasting, Grant, Perfect Circle, TRW, Eaton.

Hindistanda: India Pistons and Rings, IP Rings, Kolbenring, Perfect Circle Victor, Federal-Mogul Goetze India.

Çinde: Anqing TP Goetze Piston Ring ATG, Quanzhou Liansheng Piston Ring, Asimco Yizheng, Yixing Changjiang Piston Rings, PCPR China, Nanjing Fayn Piston Ring.

Almanya: Federal-Mogul Goetze, Mahle.

Brazilya: COFAP.

Güney Kore: YPR Yoosung Enterprise Co.

2. Piston Segmanları

2.1. Piston Segmanlarının İçten Yanmalı Motorlardaki Önemli İşlevleri Şunlardır:

- Piston segmanları yanma odası ile karter arasında karterden yanma odasına yağ geçişini ve yanma odasından kartere gaz geçişini engelleyerek sızdırmazlık,
- Yağ sarfiyatının kontrolünü sağlamak,
- Silindir duvarının, silindir gömleği iç yüzeyinin yağ filmi ile donatılması,
- Pistonun soğutulması, oluşan ısının iletimi.

2.1.1. Segman Çeşitleri

Piston segmanları piston başı ile pim bosu arasındaki bölgede açılmış yuvalara yerleştirilirler.

Segmanın piston başına en yakın konumu 1 yuva, daha sonra 2. yuva ve son olarak 3. yuva olarak adlandırılır.

Böylece piston segmanlarının yukarıda verilen işlevleri 3 farklı segmanla yerine getirilir;

1. yuva kompresyon segmanı,
2. yuva kompresyon-yağ segmanı ve
3. yuva yağ segmanıdır.

Kompresyon segmanı yanma odasına en yakın olduğu için yanma sonu oluşan gazlara, yüksek sıcaklığa ve gazların korrozif etkilerine en fazla maruz kalanıdır. Bugün bir çok motorda 1. yuva segmanı 315 °C' de çalışmaktadır. 1. yuva segmanları veya kompresyon segmanları yanma odasında sıkıştırılmış yakıt ve hava karışımının kartere sızmasını önler.

Kompresyon-yağ segmanı bazen sıyrıcı veya ara segmanı olarak da adlandırılır. Bu segman hem sızdırmazlık ve hem de yağ sıyırma görevini üstlenir.

Yağ segmanı ise sıyrılan ve arta kalan yağın kartere akmasını sağlar, piston ile silindir duvarı arasına sadece segmanların yağlanması için gerekli miktardaki yağın geçişine izin verir.

Kompresyon segmanları dikdörtgen-bombeli-trapez-konik-üst iç kenar kademeli konik ve alt iç kenar kademeli konik şekillerinde, kompresyon yağ segmanları düz yağ sıyrıcı, burunlu ve yağ segmanları da 2 veya 3 parçalı yağ kontrol segmanı şekillerinde bulunurlar (Şekil2).



Şekil 2: Kompresyon-kompresyon yağ ve 3 parçalı çelik yağ segmanı

Piston segmanın seçiminde, malzeme özellikleri ve segman çeşitleri otomotiv grubuna bağlı olarak değişir.

Otomotiv ana grubu 3 alt gruba sahiptir, bunlar;

- LVP silindir çapı 95 mm ye kadar olan hafif benzinli araçlardır. Binek araçlar, otomobil, kamyonetler.
- LVD silindir çapı 105 mm ye kadar olan hafif dizel araçlardır. Binek araçlar, kamyonet.
- MRD/HD silindir çapı 95- 145 mm arasında olan orta menzilli dizel araçlar. Kamyon, otobüs, iş makinalarıdır.

Otomotiv grubu dışında kalan diğer bir grupta LBE olarak tanımlanır büyük silindir çaplı motorları içerir. Lokomotifler, gemi motorları, büyük endüstri motorları bunlar 4 silindirli ve silindir çapı 145 mm den büyük olan motorlardır.

2.2. Dökme Demir Segman Malzemeleri ve Gelişimi

Piston segmanları malzemeleri dökme demir ve çeliktir. Dökme demirler çok geniş bir alan içinde grafit morfolojisinin değişik türlerini içerecek şekilde piston

segmanlarında kullanılırlar. Bunlar;

- Lamel grafit ötektik üstü (Şekil 3),
- Lamel grafit ötektik, ötektik altı (Şekil 3),
- İnce lamel şeklinde hatta 100 defa büyütmede nokta şeklinde, ötektik altı (Şekil 4),
- Vermikular grafit. LBE'de uygulanır (Şekil 4),
- Temper karbon, temper döküm, ötektik altı ve (Şekil 4),
- Ötektik üstü küresel grafit dir (Şekil 4).

Böylece kullanım yerinin şartlarını yerine getiren dökme demir seçilmiş olur. Ana doku ise a, b ve d döküm durumu perlitik, c ve f de sertleştirilmiş ve menevişlenmiş, yani menevişlenmiş martenzit olup e'de ise perlitik ana doku temperleme sonu 900 °C 'den kontrollu soğutma ile elde edilir.

Piston segmanlarının imalatında yapılan gelişmelere bakacak olursak, 1900 yılında dökme demir segman üretimine ve buhar makinalarında, gazla çalışan motorlarda kullanılmasına başlanılmıştır (2).

Almanya'da benzinle çalışan içten yanmalı motorlar için piston segmanı üretiminin başlaması ise 1912 yılına rastlar.

Yüksek mukavemet ve süneklik özelliklerine sahip dökme demir piston segmanlarının geliştirilmesi uçak motorlarında kullanılmaları ile gerçekleşmiş ve İKA tanımı altında 1928 yılında üretime başlanılmıştır.

Yaylı yağ kontrol segmanı imalatı ise 1927 yılında gerçekleşmiştir.

1930 yılı piston segmanlarının dökümünde ilk defa dizi döküm yönteminin uygulanma başlangıcı olmuştur.

Piston segman malzemelerinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ile 1934 yılında alaşımlı ana dokusu menevişlenmiş martenzit olan ince lamelli dökme demir F 11 üretimine ve küresel grafitli dökme demir segman malzemesi ile olarakta araştırmalara 1938 yılında başlanılmıştır.

Piston segmanlarının krom kaplanması 1949 yılından itibaren gerçekleşmiş daha sonraki yıllarda yüksek sertlik, E-Modülü ve bükme kopma dayanımına sahip alaşımsız lamel grafitli dökme demir ve yüksek aşınma direnci ve mukavemete sahip, grafitin çok ince hatta nokta şeklinde olduğu, ana dokusu alaşımlı menevişlenmiş martenzit olan GOE 32 segman malzemesi geliştirilmiştir (3,4).

Piston segmanı malzemeleri ve yüzeysel kaplamaları

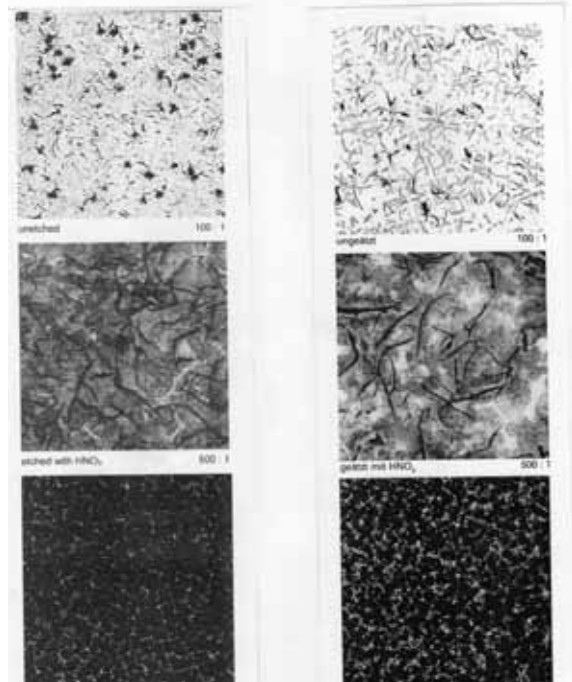
ile ilgili olarak bugüne kadar sürekli gelişmeler kaydedilmektedir.

Motor üreticilerinin bu konuda üzerinde durdukları husus piston segmanlarının eksenel yüksekliklerinin azaltılmasıdır. Bunun nedeni piston semanlarının motorun iç sürtünme kayıplarının % 40'ın oluşturmalarıdır. Eksenel yüksekliği daha ince olan bir piston segmanı silindirik duvarına daha az bir kuvvetle sürtünecek ve yağ sarfiyatı da o derece az olacaktır.

Bugün kompresyon segmanları eksenel yüksekliği 1 mm, kompresyon yağ segmanının 1.5 mm ve yağ segmanında 3 mm olduğuna örnek teşkil eden sayısız uygulama mevcuttur.

Yüzeysel kaplama olarak ABD'nde Mo kaplama poröz ve daha ekonomik olması nedeni ile tercih edilirken Japonyada tercih edilen kaplama gaz nitrülemidir.

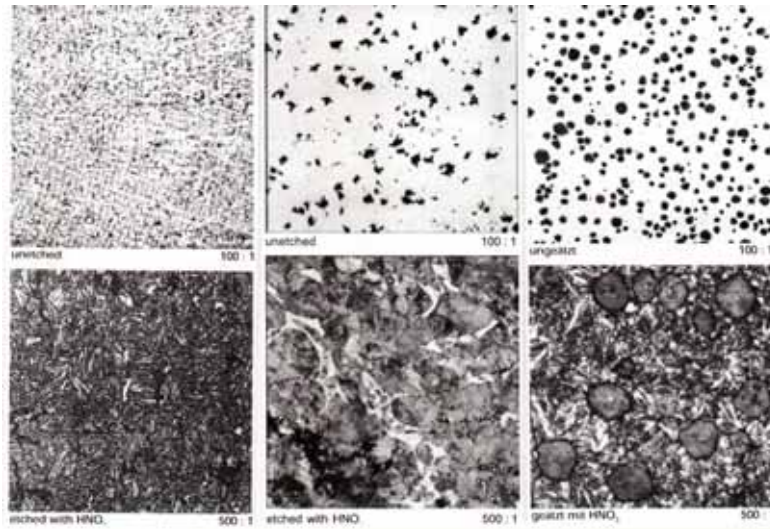
Avrupada ise özellikle LVD ve MRD için en iyi çözüm olarak kompozit kaplama krom ve seramik CKS görülmektedir.



GOE 12
Alaşımsız, lamel grafitli dökme demir.
Dağlamasız grafit dokusu
% 3 Nital ile dağlanmış ince perlitik ana doku
Derin dağlanmış kapalı fosfit ağı

GOE 13
Alaşımsız, lamel grafitli dökme demir.
Dağlamasız grafit dokusu
% 3 Nital ile dağlanmış ince perlitik ana doku
Derin dağlanmış, kapalı fosfit ağı

Şekil 3: Federal-Mogul GOE 12 ve GOE 13 piston segmanı malzemeleri dokuları



Federal-Mogul GOE 32

Dağlamasız ince,nokta şeklinde
Grafit ler.

Ana doku menevişlenmiş
Martenzit

Federal-Mogul GOE 44

Temper grafit

Ana doku,perlit ve karbürler

Federal-Mogul GOE 52

Küresel grafit

Ana doku menevişlenmiş
martenzit

Şekil 4: Federal-Mogul piston segmanı malzemeleri GOE 32, GOE 44 ve GOE 52

2.2.1. Piston Segmanı Döküm Yöntemleri

Piston segmanları belirtildiği gibi dökme demir malzemeden veya hassas ölçülerde imal edilmiş çelik şeritlerden imal edilirler. Segman çelik şerit malzemeleri az sayıdaki firmalar tarafından üretilmektedir, bunlar:

-BÖHLER,TOKUSEN,HİTACHI,THEİS ve GARPHYTAN dır.

Dökme demir piston segmanı malzemeleri ise öncelikle genel olarak uygulanan dizi, salkım döküm yanında bazı kuruluşlarda yine bentonit bağlayıcılı kuma kovan veya burç olarak, savurma döküm olarak ve maske kalıp yöntemi ile üretilmektedirler (Şekil 5).



Şekil 5: Dizilere segman eriyiğinin dökümü,dizi döküm yöntemi

Piston segmanlarının dizi dökümünde verilen işleme payları bir tarafta 0.5 ila 1.5 mm arasındadır ve piston segmanı 1.6-6 mm kalınlığında bir plakanın soğuma süresinde katılır. Bu değerlendirmeler dökümhanede kalıplama kumu özelliklerinin ideal olmasının gereğini göstermekle kalmayıp temper döküm piston segmanı malzemesi dışındaki malzemelerde aşılama tekniğinin de önemini göstermektedir (Çizelge 2).

Piston segmanı malzemesi	Aşılama Aşılma malzemesi g/140 kg Fe
GOE 12	Modül 0.8-2.5 mm arasındaki segmanlar için geçerli olmak üzere aşılama malzemesi ağırlığı, segman modülü ve çil numunesi derinliği arasında saptarılan çoklu regresyon eşitliği: Aşılama malzemesi Superseed $I=2.38-0.1777*\log M+0.614*\log H$ dir. $R^2=0.66$ M döküm segman modülü= $(a*h)/(2*(a+h))$ a= Radyal kalınlık h=eksenel yükseklik, H=Çil derinliği .Çil numunesi özel ölçülerde maske kalıp kumuna T=1500-1520 C de dökülür. Çil numunesi yerine toplam soğuma Ukges saptarılan rakta gerekli olan aşılama malzemesi miktarı bulunur. Aşılama malzemesi miktarı $I=((Ukges/Mf)+170.8)*1/\%P$ -150 dir. Burada $Mf=(V/O)/(h/a)$ dir.
GOE 13	Farklı bir çil numunesi alınarak çil derinliği ve modüle göre aşılama miktarı tesbit edilir.
GOE 32	2 farklı aksenal yükseklik için aşılama miktarı belirlenmiştir
GOE 44	Temper döküm
GOE 52/56	Aşılama miktarı segman modülüne göre değişmez $I= \% 0.32$ Superseed+% 0.32 FeSiMg 1.5 tur.

Çizelge 2: Piston segmanı malzemelerinin aşılama

Şarj malzemelerinin seçimi hızlı ve optimal çekirdekleşme düzeyine sahip bir eriyiğin varolmasının sağlanması ve çok dar sınırlar içinde element miktarlarının olması diğer koşullardandır.

Elementlerin miktarlarının standart sapmalarının, 1*s, uzun süreli bir değerlendirmesi GOE 12 ve GOE 52/56 için % olarak C: 0.03, Si: 0.04, Mn: 0.03, P: 0.025, S: 0.005, Cr: 0.01 ve Cu: 0.014 GOE 32 alaşım elementleri için de % olarak Cr: 0.04, Mo: 0.04, Ni: 0.035, Cu: 0.04, V: 0.025, T: 0.008 ve Nb: 0.009 olduğunu ortaya koymuştur.

Piston segmanı malzemeleri standartları aynı olmakla beraber malzeme kalitenin en özgün bulgusu erişilen grafit dokusunun şekli, büyüklüğü, yoğunluğu ve dağılımı oluşudur. Dökümhaneleri kalite yönünden farklılaştıran olgu da budur. Bunun yanında GOE 44, GOE 32 ve GOE 52/56 segman malzemelerinde uygulanan ısıl işlem parametrelerinin ana dokuya olan etkileri göz ardı edilmemelidir.

Çizelgeler 3 ve 4' de Federal-Mogul piston segmanı malzemeleri kimyasal analiz, doku ve mekanik özellikleri verilmiştir. Çizelge 5'de önemli üreticilerden biri olan Teikoku/Japonya dökme demir piston segmanı malzemeleri standartları gösterilmiştir.

	Alaşımsız, lamel grafitli dökme demir Federal Mogul GOE12	Alaşımsız lamel grafitli dökme demir, yüksek mekaniki özellikler Federal Mogul GOE 13	Alaşımlı ısıl işlemlili dökme demir, ince grafit Federal Mogul GOE 32	Temper döküm perlitik Federal Mogul GOE44	Küresel grafitli dökme demir ısıl işlemlili Federal Mogul GOE 52	Küresel grafitli dökme demir ısıl işlemlili, yüksek sertlik Federal Mogul GOE 56	
	ISO 6621-3 Alt sınıf 12	ISO 6621-3 Alt sınıf 13	ISO 6621-3 Alt sınıf 32	ISO 621-3 Alt sınıf 44	ISO 6621-3 Alt sınıf 52	ISO 6621-3 Alt sınıf 56	
Kimyasal Analiz %	C	34-3.9	2.8-3.8	2.5-3.3	2.7-3.3	3.5-4.0	3.5-4.0
	Mn	2.2-3.2	2.0-3.0	3.6-4.6	1.5-2.5	2.4-3.2	2.4-3.2
	Si	0.5-1.0	0.5-0.9	0.8-1.2	0.4-0.9	Max 0.5	Max 0.5
	P	0.3-0.6	0.3-0.7	Max 0.35	Max 0.5	Max 0.3	Max 0.3
	S	Max 0.13	Max 0.15	Mx 0.15	Max 0.1	Max 0.05	Max 0.05
	Cr	0.1-0.4	0.15-0.6	0.2-0.6	0.3-0.85	Max 0.2	Max 0.2
	V	Max 0.15	Max 0.2	0.3-0.7	0.1-0.4		
	Cu	0.1-0.7	0.2-0.8	0.5-1.0		Max 0.1	Max 0.1
	Mo			0.5-1.0			
	Ni			0.5-1.0			
	W			0.8-1.2			
	Nb			0.1-0.4			
	Ti			Max 0.3			
	Mg					Max 0.1	Max 0.1

Çizelge 3: Piston segmanı dökme demir malzemeleri kimyasal analizi

	Alaşımsız lamel grafitli dökme demir Federal Mogul GOE 12	Alaşımsız lamel grafitli dökme demir Federal Mogul GOE 13	Alaşımlı ısı işlemlili dökme demir,ince grafit Federal Mogul GOE 32	Temper döküm Federal Mogul GOE 44	Küresel grafitli dökme demir ısı işlemlili Federal Mogul GOE 52	Küresel grafitli dökme demir ısı işlemlili Federal Mogul GOE 56
	ISO 6621-3 Alt sınıf 12	ISO 6621-3 Alt sınıf 13	ISO 6621-3 Alt sınıf 32	ISO 6621-3 Alt sınıf 44	ISO 6621-3 Alt sınıf 52	ISO 6621-3 Alt sınıf 56
Grafit dokusu	Lamel şeklinde ve düzenli dağılmış	Lamel şeklinde ve düzenli dağılmış	İnce lamelli,nokta şeklinde(x100)	Düzenli dağılmış temper karbon	Küresel	Küresel
Ana doku	Perlit,ferrit max % 5	Perlit,ferrit max % 5	Düzenli bir şekilde dağılmış karbürlerle sahip ıslh dokusu	Perlit,düzenli dağılmış % 2-10 miktarında karbürler,iri perlit olabilir	Az miktarda karbürlerin var olduğu ıslah dokusu,mevişlenmiş martenzit	Az miktarda karbürlerin var olduğu ıslah dokusu,menevişlenmiş martenzit
Fosfit ötektiği	kapalı	Kapalı				
Sertlik HRB HB HRC	94-106 200-290	97-108 200-320	109-116 35-49	102-111 27-36	104-112 25-42	390-470 40-46
Bükme Kopma D.	Min 350 MPa	Min 420 MPa	Min 650 MPa	Min 800 MPa	Min 1.300 MPa	Min 1.300 MPa
E-Modülü	85.000-115.000 MPa	95.000-125.000	130.000-160.000	Min 150.000	Min 150.000 MPa	Min 150.000
İŞD(x)	3.72	4.24	5.96	7.84	12.5	11.61
İBU(xx)	0.0041	0.0045	0.005	0.0053	0.0087	0.0087

x) İŞD iç şekillenme direnci = min Bükme Kopma Mukavemeti MPa/Min Sertlik HRB xx)İBU İzaflı bükme uzaması= min Bükme Kopma Mukavemeti MPa/min E-Modül MPa

Çizelge 4: Piston segmanı malzemeleri özellikleri

Malzeme	P 111 K	P 111 A	P 221
	Alaşımsız lamel rafitli dökme demir	Alaşımsız lamel grafitli dökme demir,yüksek mekaniki özellikler	Küresel grafitli dökme demir ısı işlemlili
Kimyasal analiz %			
C	3.50-3.90	3.23-3.60	3.3-4.1
Si	2.50-2.90	2.3-2.70	2.0-3.0
Mn	0.40-0.60	0.4-1	0.20-0.60
P	0.20-0.60	0.2-0.6	Max 0.15
S	Ma 0.12	Ma 0.12	Max 0.03
Cr	Max 0.40	Max 0.4	
Ni			
Cu	0.20-1.20	0.2-1.2	
Mo			
V			
Sn			
B			
Nb			
N			
Sertlik HRB HB	96-105	97-107	100-110
Grafit şekli,düzeni	A ipi	A tipi	Küresel
Grafit Büyüklüğü ASTM			
Ana doku Perlit Ferrit Fosfit ötektikum	Perlit Mx % 5 Kapalı	Perlit Max % 5 Kapalı	Menevişlenmiş martenzit
Mekanik özellikler			
Çekme dayanımı N/mm ²	Min 245	Min 275	Min 539
Bükme Kopma dayanımı N/mm ²			
E-Modül N/mm ²	Min 85 000	Min 107 000	Min 137 000

Çizelge 5: Teikoku/Japonya dökme demir segman malzemeleri

2.2.2. Piston Segmanları Kalite Kontrolü, E-Modülü ve Bükme Kopma Dayanımının Tesbiti

Piston segmanlarında E-Modülünün, Bükme kopma dayanımının saptanılması aşağıda verilen eşitlikler yardımı ile olur.

Teğetsel kuvvet F_t form tornalanmış serbest ağız açıklığındaki bir piston segmanının dış yüzeyine temas eden çelik bantla nominal ağız açıklığına getirilmesi için gerekli olan kuvvettir.

Çapsal kuvvet F_d ise yine serbest ağız açıklığındaki piston segmanının çapına dik olarak bir kuvvetin uygulanması ile segmanın nominal çapa sıkıştırılmasıdır. Çapsal kuvvet $F_d = 2.21 * F_t$ dir.

Bükme kopma dayanımını saptanılmasında ise piston segmanın serbest ağız açıklığına teğetsel olarak segmanın kırılması için uygulanan kuvvete F_{bb} bükme kopma kuvveti adı verilir.

Şekil 6 da bükme kopma dayanımı deneyi gösterilmiştir.



Şekil 6: Bükme kopma dayanımı testi

$$E\text{-Modülü (N/mm}^2\text{)} = 14.14 * (F_t * ((d/a) - 1)^3) / (m * h)$$

Burada

d=Piston segmanı nominal çapı mm

a=Radyal kalınlık mm

h=Eksenel yükseklik mm ve

m=serbest ağız açıklığı, kalınlığın ortasından uzaklık, mm dir.

$$Bükme\ Kopma\ Dayanımı\ (N/mm^2) = F_{bb} * (6 * d - 5 * a) / (h * a^2)$$

eşitliğinden saptanılır.

Bu eşitlikler dikdörtgen segman kesiti için geçerlidir.

Piston segmanları mekanik özellikleri bükme kopma dayanımı ve E-Modülleri Lamel grafitli alaşımsız dökme demirden başlayarak küresel grafitli dökme demir malzemelerine kadar büyük bir farklılık gösterirler.

Çizelge 6 piston segmanlarının mekanik özellikleri proses kabiliyeti indekslerini vermektedir.

Sertlik HRB, E-modülü bükme kopma dayanımı değerleri C_{pk} indeksleri 1.33' ün üzerindedir, sadece alaşımsız lamel grafitli dökme demir segman malzemesinde, GOE 12, bu değer 0.44 saptanılmıştır. Bu piston segmanlarında çap büyüdükçe E-Modülü ve C_{pk} -değeri de artmaktadır.

Saptanılan 0.44 değeri

Parça modülü

$$M = \text{Hacim/Soğumaya katılan yüzey} = a * h / (2 * (a + h))$$

M=0.8-1 mm olan segmanlar için geçerlidir.

Diğer malzeme şartnamelerinde E-Modülü alt sınırı 75 000 MPa olarak verilmektedir.

Piston segmanları Sertlik, E-Modüller ve bükme kopma dayanımlarını içeren ve malzemenin dinamik özelliklerini tanımlayan aşağıdaki ilişkiler saptanılmıştır (Çizelge 12);

İç şekil değiştirme direnci

$$İŞD = \min \text{ Bükme Kopma Dayanımı MPa} / \min \text{ Sertlik HRB}$$

ve

$$İzafi\ bükme\ uzaması\ İBU = \min \text{ Bükme Kopma Dayanımı MPa} / \min \text{ E-Modülü MPa}$$

Piston segmanlarında bükme kopma dayanımı ile E-Modülleri artmaktadır (Şekil 7).

Farklı bir diğer değerlendirme piston segmanlarında iç şekillenme direnci ile doğrusal olarak izafi bükme uzamasının da arttığını göstermektedir (Şekil 8).

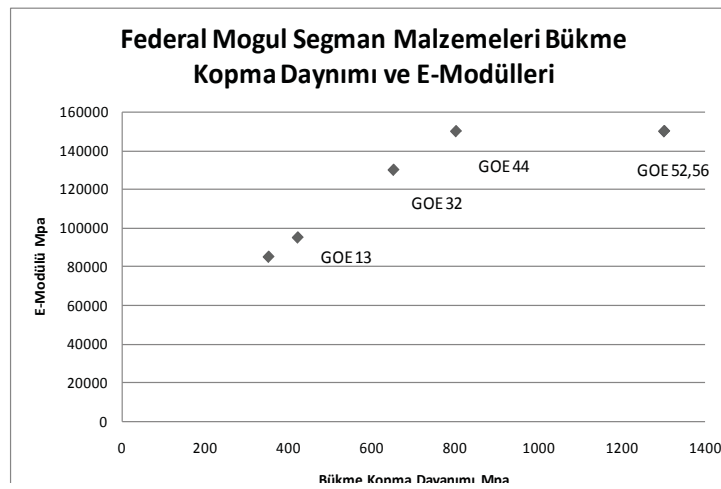
Aynı kalan sertlik değerinde bükme kopma dayanımının artması dinamik özellik daha yüksek olan bir malzemeye işaret etmekte ve yine aynı kalan E-Modülü değerinde bükme kopma dayanımının artmasında malzemeyi daha sünek bir özellik kazandırmaktadır.

		GOE 12			GOE 13		
		Sertlik	Bükme K.D MPa	E-Modülü MPa	Sertlik	Bükme K D MPa	E-Modül MPa
1	Ortalama değer	100.9 HRB	456.4	88080	102.2	463.2	104555
	Standart sapma	1.17	32.93	2337	0.84	17.14	964
	Cp	1.42		2.14	2.18		5.18
	Cpk	1.40		0.44	2.06		3.30
2	Ortalama değer				104.47		
	Standart sapma				0.68		
	Cp				2.70		
	Cpk				1.73		

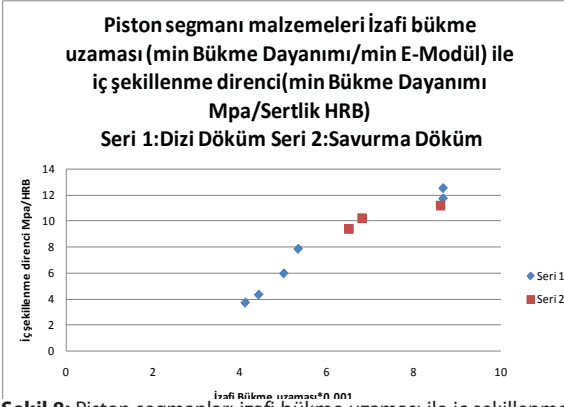
		GOE 32			GOE 52		
		Sertlik	Bükme K D MPa	E-Modülü MPa	Sertlik	Bükme K D MPa	E-Modülü MPa
1	Ortalama değer	112.8 HRB	786.5	136920	110.2	≥1300	165429
	Standart sapma	0.45	13.63	2010	0.46		1163
	Cp	2.59		2.48	2.90		
	Cpk	2.57		1.15	1.30		
2	Ortalama değer	111.13			107.85		
	Standart sapma	0.47			0.28		
	Cp	2.48			4.81		
	Cpk	1.51			4.63		

Bükme K.D. Bükme kopma dayanımı

Çizelge 6: Piston segmanları özellikleri proses kabiliyeti indeksleri $n \geq 30$



Şekil 7: Piston segmanları bükme kopma dayanımı ile E-modülleri



Şekil 8: Piston segmanları izafi bükme uzaması ile iç şekillenme dirençleri

Piston segmanlarını dökümünde savurma döküm yöntemi dizi dökümüne nazaran çok daha az uygulanmaktadır. Bu yöntemde aynı piston segmanının dökümünde işleme

paylarının dizi dökümde olduğundan çok daha fazla olması ve kokil kalıpta soğumaya rağmen katılma süreleri oranının;

Piston segmanı Ford 104.775 mm

$t(\text{savurma yöntemi})/t(\text{dizi döküm,kum})=4.7$

olduğunu ortaya koymuştur, böylece grafit şekil, büyüklüğü ve yoğunluğu çok farklıdır.

Şekil 8' de gösterilen savurma döküm piston segmanı malzemeleri küresel grafitli dökme demir olup ana doku perlitik ve menevişlenmiş martenzittir. Bunlarda dizi döküm trendine uymaktadırlar. Dizi dökümle karşılaştırıldığında 700-900 adet/mm² olan küre sayısının savurma dökümde 300-400 adet/mm² olduğu görülür.

Çizelge 7'de savurma döküm piston segmanı malzeme özellikleri verilmiştir.

Malzeme	AE 210	AE 250 Temper döküm	AE 232
	ISO 6621/3,Sınıf 10,alt sınıf 11	ISO 6621/3,sınıf 40,alt sınıf 42	ISO 6621/3,sınıf 50,alt sınıf 53
Kimyasal analiz %			
C	3.4-3.9	2.7-3.0	3.2-3.9
Si	2.1-2.9	1.51.9	1.4-2.5
Mn	0.4-0.9	0.7-1.0	0.3-0.7
P	0.4-0.6	max 0.12	Max 0.1
S	Max 0.1	Max 0.1	Max 0.03
Cr	Max 0.4	0.4-0.6	Max 0.3
Ni			0.7-1.5
Cu			0.3-0.9
Mo	Max 0.4	0.4-0.6	0.1-0.5
V			
Sn			
B			
Nb			
N			
Sertlik			
HRB	95-105	24-32 HRC	26-40 HRC
HB	200-280	270-320	285-350
Grafit şekli,düzeni	Gene olarak A	Temper karbon	Küresel min % 85
Grafit Büyüklüğü ASTM	5-8		
Ana doku			
Perlit	Ince perlitik	Perlitik	Martenzit,meneviş
Ferit	Max %5		
Fosfit ötektikum	Düzenli dağılımlı kapanmamış		
Karbürler		%5-20 düzenli dağılımlı	
Mekanik özellikler			
Çekme dayanımı N/mm ²	Min 232	Min 600(segmanın)	
Bükme Kopma dayanımı N/mm ²			
E-Modül N/mm ²	75 000-105 000	Min 155 000	Min 160 000

Çizelge 7: Savurma döküm piston segmanları malzeme özellikleri

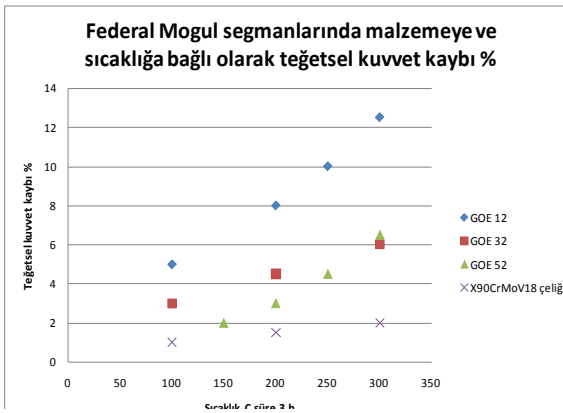
3. ÇELİK PİSTON SEGMANI

Özellikle LVP ve LVD otomotiv grubunda sürtünme nedenli kayıpların azaltılması, piston boyunun küçülmesi ve silindir yanma basıncının artırılması bir sonucu olarak segman eksenel yüksekliğinin azaltılması ancak daha yüksek mekanik özelliklere sahip segman malzemelerini gerekli kılmaktadır.

GOE 61, GOE 65 C ve GOE 64 çelik malzemeler işte bu şartları yerine getirmektedirler.

Çekme gerilimi ve E-Modüller karşılaştırdığında bu malzemelerin dökme demir malzemelerden çok daha üstün oldukları görülmektedir (Çizelge 8).

Bunun yanında çelik malzemelerin yüksek yorulma dayanımı ve diğer bir taraftan sıcağa karşı olan dirençleri de unutulmamalıdır (Şekil 9).



Şekil 9: Sıcaklığa bağlı olarak teğetsel kuvvet kaybı

1 yuva segmanı olarak çelik malzemenin kullanılmasına 1980 yılları başından itibaren ve yine aynı yıllarda LVP segmentinde 3 yuva yağ segmanı olarak 3 parçalı segmanın uygulanmasına başlanılmış, bugün bir çok motorda kullanır duruma gelmiştir. Bunun öncülüğüne Japonya'da başlanılmıştır.

Dizelli araçlarda LVD segmentinde 3. yuva yağ segmanı olarak 2 parçalı çelik segman kullanılmaktadır.

Çizelgeler 9 ve 10'da çelik segman malzemeleri ve kaplama seçenekleri verilmiştir.

Aşınmaya karşı direncin iyileştirilmesinde çelik segmanlar özellikle nitrürlenmiş veya çalışma yüzeyi kaplanmış olarak, Plazma, CKS, Cr imal edilmektedir.

Segman malzemesi olarak çeliğin kullanılmasının

gereğini diğer taraftan emisyon ile ilgili sınırlamalarda yönlendirecektir.

Bütün bu gelişmelere rağmen daha uzun yıllar yedek parça piyasası, AFM, dökme demir segmanlarının önemli müşterisi olmayı sürdürecektir (Çizelge 11).

3.1. Piston Segmanı Seçimi

OEM ilk donanımda 1 yuva semanlarında küresel grafitli dökme demirden mukavemet özellikleri yönünden daha üstün olan çeliğe geçiş devam edecek ve % 18 Cr çeliğinden CKS kaplama en iyi seçenek olacaktır (Çizelge 11) (5,6).

2 yuva segmanları LVP da GOE 12/13 ve LVD ile MRD de ise GOE32/44 dökme demir malzemeleri yerlerini korumaktadırlar.

Hiç şüphesiz 3. yuvada ise hafif benzinli araçlarda 3 parçalı % 18 Cr çeliği nitrürlü, hafif dizel araçlarda ise 2 parçalı % 13 Cr çeliği CKS kaplamalı tek seçenecek olacaktır. MRD orta menzilli araçlarda ise GOE 12/13 dökme demir seçeneği daha bir süre yerini korumaya devam edecektir. Aşınmaya ve yanma izlerine karşı direncin artırılması için CKS:Cr-Aluminyum oksit, GDC: Cr-Elmas ve plazma kaplama önde gelen seçeneklerdir.

Kaynakça

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Automotiv_industry
2. GOETZE 100 Jahre Unternehmensgeschichte Econ Verlag Düsseldorf 187 ISBN 3-430-16263-7
3. Kolbenringhandbuch 2003 Federal-Mogul-Burscheid GmbH
4. Bayer H, Neuheuser H.J., Bruchfeste Kolbenringwerkstoffe KV2 und F13, Verschleiss- und Bruchfester Werkstoff F 14 Fachschrift 1978, K 19, Goetze Werke A.G.
5. <http://larcraft.com/Techarticles/77899>, M.Davis Piston and Ring Technology
6. http://www.aalcar.com/Library/ar_293.htm, L.Carley Piston rings

Piston segmanı malzemesi	Çekme gerilimi Segmanda ölçülen N/mm ²		E-Modülü N/mm ²		Sertlik HRB
	Ölçüm		Standart		
Alaşsız lamel grafitli dökme demir GOE 12	280	100	85000-115000	100	94-106
Alaşsız lamel grafitli dökme demir GOE 13	300	113	95000-125000	112	97-108
Alaşlı, çok ince lamel grafitli, ısıl işlemlili dökme demir GOE 32	600	168	130000-160000	153	109-116
Temper döküm perlitik GOE 44	600	191	Min 150000	176	102-111
Küresel grafitli ısıl işlemlili dökme demir GOE 52	927	331	Min 150000	176	104-112
Küresel grafitli ısıl işlemlili dökme demir GOE 56			Min 150000	176	40-46 HRC
GOE 61,% 18 Cr çeliği	1300	464	Min 230000	271	380-450 HV30
GOE 65 % 13 Cr çeliği	1150	410	Min 210000	247	300-420 HV30
GOE 64,SAE 9254 Yay çeliği	Min 1020	364	Min 206000	242	400-550 HV30

Çizelge 8: Dökme demir ve çelik piston segmanı malzemelerinin özelliklerinin karşılaştırması

Malzeme	Çelik % 17 Cr ISO 6621-3, alt sınıf 61 GOE 61	Yay çeliği ISO 6621-3, alt sınıf 62, GOE 62	Çelik %11 Cr ISO 6621-3 alt sınıf 65, GOE 65C
Kullanım yeri	Segman	Yay	Segman
Kimyasal analiz %			
C	0.8-0.95	0.5-0.6	0.5-0.75
Si	Max 1.0	1.2-1.65	Max 1.0
Mn	Max 1.0	0.5-0.8	Max 1.0
P	Max 0.045	Max 0.03	Max 0.045
S	Max 0.04	Max 0.025	Max 0.04
Cr	17.0-19.0	0.5-0.8	11.0-15.0
Ni			
Cu	Max 0.3		
Mo	0.9-1.5		0.6 max
V	0.07-0.15		Max 0.1
Sn			
B			
Nb			
N			
Sertlik HRC HB	380-450 HV 30 38-44		300-420 HV1
Ana doku	Islah dokusu	Islah dokusu	Islah dokusu
Karbürler			Düzenli dağılmış
Mekanik özellikler			
Çekme dayanımı N/mm ²		1800-2000	
Akma sınırı N/mm ²		0.9*Çekme dayanımı	
E-Modülü N/mm ²		210.000	210.000

Çizelge 9: Çelik segman malzemeleri özellikleri

Segman tipi	Çelik segman malzemesi Bugün kullanılan ana malzemeler	Yüzey kaplama
1 Yuva kompresyon segmanı	SAE 9254 %13 Cr %18 Cr	Krom Kaplama CKS kaplama (Krom-Seramik) Plazma Nitrasyon Nitrasyon Krom Kaplama Plazma
2 parçalı yağ segmanı	Karbon çeliği %13 Cr %6 Cr	Krom kaplama Nitrasyon Nitrasyon 2 mm eksenel yükseklik
3 parçalı yağ segmanı Lameller Yay	Karbon çeliği %13,%18 Cr Karbon çeliği %18 Cr	Krom Kaplama Nitrasyon Kaplamasız Nitrasyon

Çizelge 10: Çelik segmanların malzeme ve kaplama alternatifleri

	LVP	LVD	MRD(HD)
	Hafif benzinli araç	Hafif dizel araç	Orta menzilli dizel araçlar
Silindir çapı mm	70-95	70-100	95-145
1 inci yuva (gaz sızdırmazlık)	Dikdörtgen,bombeli segman Küresel grafitli dökme demir+ısıtıl işlem+Krom kaplama (Federal Mogul KV1) Çelik Nitrasyon Eksenel yükseklik 1-1.2 mm	Dikdörtgen,çift taraflı trapez segman Küresel grafitli dökme demir+ısıtıl işlem+ Krom veya CKS kaplama (Federal Mogul KV1) Eksenel yükseklik 1.75-3.5 mm	Çift taraflı trapez segman,Küresel grafitli dökme demir+ ısıtıl işlem+Krom veya CKS kaplama (Federal Mogul KV1 ve KV4) Bazen Çelik+Nitrasyon
2.yuva (çift fonksiyonlu)	Burunlu segman,lamel grafitli dökme demir,Krom kaplamasız Federal Mogul GOE12 veya GOE13 Eksenel yükseklik 1.2-1.75 mm	Dikdörtgen segman,konik,Alaşımli lamel grafitli dökme demir+ısıtıl işlem veya temper döküm,kaplamasız (Federal Mogul GOE 32,44) Eksenel yükseklik 2 mm	Dikdörtgen segman,konik. Alaşımli lamel grafitli dökme demir+ısıtıl işlem veya temper döküm,krom kaplı. (Federal Mogul GOE32,44) Eksenel yükseklik 2-3 mm)
3.yuva (yağ kontrol)	3 parçalı çelik yağ segmanı lameller krom kaplı veya nitrasyon Eksenel yükseklik 2.0-2.5 mm 2.alternatif: 2 parçalı,spiral yaylı,yağ sıyrıcılı segman. Lamel grafitli dökme demir Kaplamasız veya Krom kaplama (Federal Mogul GOE12,13)	2 parçalı spiral yaylı yağ sıyrıcılı lamel grafitli dökme demir segmanı.Krom Kaplı. (Federal Mogul GOE12,13) 2.alternatif: 2 parçalı çelik segman Krom kaplama veya nitrasyon Eksenel yükseklik 2-3 mm	2 parçalı spiral yaylı lamel grafitli dökme demir veya küresel grafitli dökme demir ısıtıl işlemli segman. (Federal Mogul GOE12,GOE52) 2.alternatif: 2 parçalı yağ segmanı çelik,krom kaplama veya nitrasyon Eksenel yükseklik 3-4 mm

Çizelge 11: Araç tipine göre piston segmanlarının seçimi