

# SİLİNDİR GÖMLEĞİ MALZEMELERİ

Dr.Savaş İzgiz

Metaller Mühendisi

## ÖZET

Silindir gömlekleri üreticilerinde bir seçimi olarak,kullanım yerine ve gömlek tipine bağlı göz önünde tutularak farklı kimyasal analize ve mekanik özelliklere sahiptirler.

Lamel grafitli dökme demir silindir gömleklerinde yüksek mukavemet ve aşınmaya karşı direnç, grafit dokusunun inceliği,düşük karbon eşdeğeri,yüksek perlit miktarı ve inceliği ve tane sınırlarında fosfor miktarına bağlı olarak meydana gelen ternier fosfit ağı miktarı ile yine bor'un mevcudiyetinde tane sınırlarında oluşan bor karbürler ile elde edilirler.

Savurma döküm tekniği ile üretilen silindir gömlekleri katılaşma mekanizması gömlek dış yüzeyinden başlayarak içe doğru yönelmiş olduğundan,soğuma hızına bağlı olarak grafit dokusu ve hatta perlit inceliği ile ferrit miktarı gömlek et kalınlığında değişmektedir.Gömlek et kalınlığında sertlik değeride iç yüzeyden dışa doğru artmaktadır.Gömlek et kalınlığının her hangi bir yerinde sertlik değerinin hesaplanması bir matematiksel eşitlikle mümkün olmaktadır.Ayrıca bazı alaşım elementlerinin honlama yüzeyi sertliğine ve çekme dayanımına etkileride tesbit edilmişlerdir.

Bugün motorda ağırlık azaltılması çalışmalarına odaklanılmış olması uzun zamandan beri GJL25 den üretilen motor bloğunun yerinin vermikular dökme demir motor bloklarının almasına yol açmıştır.GJV vermikular dökme demirin yüksek mukavemet değerleri,ağırlığın % 30 azalmasını sağlamıştır. Vermikular grafitli dökme demirin silindir gömleklerindedeki yeni bir gelişme yönünü belirlediğini son yıllardaki uygulamalar göstermektedirler.

Anahtar sözcükler:silindir gömleği,lamel,vermikular,küresel dökme demir,mechanical özellikler,fiziksel özellikler,ostemperleme,perlit,beynit,standartlar,malzeme testi,sertlik dağılımı

## 1.GİRİŞ

Motorun mekanik etkilerine ,sıcaklık ve aşınma olgularına karşı dayanım özelliklerine sahip kritik bir parçası silindir gömleğidir.

Küresel kirlenmeye karşı emisyon standartlarının her yıl daha düşük değerlere çekilmesi,motor verimliliğinin ve motorun özgül gücün artırılmasını gerektirmekte ve böylelikle daha yüksek mukavemete, termik ştabillğe ,aşınma dayanımına sahip malzemelerin kullanılmasını şart koşmaktadır.

Bu incelemede lamel grafitli dökme demirin özelliklerine alaşım elementlerinin etkileri açıklanmakta, silindir gömleği malzemelerinin sahip olmaları gereken özellikler ile kullanım yerleri ve mevcut malzeme standartları belirtilerek metodik gruplandırılmaları yapılmaktadır.

Bilgiler ışığında silindir gömleği malzemelerin geliştirilmesinde alternatifler ortaya konulmaktadır.

Ayrıca bu çalışmanın bir amacı silindir gömleği malzeme teknolojisi ile ilgilenenlere bir bütün halinde bilgilerin verilebilmesidir.

## 2.SİLİNDİR GÖMLEKLERİ ve İSTENEN ÖZELLİKLER

Silindir gömleklerinin motorlarda kullanımı 4 gruba ayrılır:

- LVP silindir çapları 58-100 mm olan hafif benzinli binek araçlardır,örneğin: Honda 85 mm ,BMW 84 mm, Renault 73 mm
- LVD silindir çapları 100 mm kadar olan dizel binek araçları(kamyonet,minibüs ve otomobiller) kapsar:Örneğin MAN 108 mm,Steyr 100 mm
- MRD silindir çapı 95-145 mm arası olan kamyon,otobüs ve iş makineleri grubudur Örneğin:DaimlerChrysler 128 ve 130 mm,Iveco 115 mm
- LBE özel ürünler tanımı altında kalan,büyük silindir çapına sahip lokomotif,gemi,tank vs.

gömlekleridir.

Bazı motor bloklarında gömlek kullanılmaz,bu bloklar özel hiper ötektik Al-Si malzemesi olup ayrıca,bazı firmaların adlandırdığı NİKASİL(Mahle),Galnical(KOLBENSCHMİDT) ve GİLNİSİL(BMW) gibi yüzey kaplama prosesleri uygulanır(1).

Resim 1.Silindir gömleklerine örnekler



Silindir gömlekleri alüminyum ve yedek parça olarak gri dökme demir motor bloklarında kullanılırlar. Tip olarakta aşağıda tanımları yapılan gömleklere ayrılırlar:

-Kuru tip silindir gömleklerinde gömlek dış yüzeyi direkt olarak su ile temas etmez.,Aluminyum motor blokları ile birlikte dökülen dış yüzeyleri işlenmiş gömleklere cast in eğer gömleklerin dış yüzeyleri döküm durumunda özel bir pürüzlülüğe sahipse as cast in adı verilir.Slip fit diğer bir kuru gömlek tipidir

-Yaş tip silindir gömleklerinde gömlek dış yüzeyi direkt olarak su ile temastadır

Aluminyum motor bloklarında genel olarak kuru tip,as cast in ve as cast cast in tipi gömlekler kullanılır. Cast in ve as cast cast in gömlekleri LVP ve LVD motorlarında bulunurlar.

Silindir gömleklerinin kullanım yerinin gerektirdiği şartlara uygun malzeme özellikleri şunlardır(1,2):

-yanma sonu oluşan yüksek basınç ve sıcaklığa karşı dayanıklılık ve boyutsal değişim kararlılığı  
Yüksek mukavemet,yüksek sıcaklıkta dayanıklılık,yüksek E-Modülü

-yüksek aşınma direnci,yanma izleri oluşumuna karşı direnç.Bu olgu yağ filminin kesikliğe uğraması ve metalik komponentlerin(silindir gömleği/segmanlar)direkt olarak birbirleri ile teması sonucu meydana gelir.Bu durum özellikle üst ölü noktada meydana gelir ve nedeni yağın eksikliği yağın düzenli olarak silindirlere dağılmamış olması ve gömleklere olası deformasyonlardır. Böylelikle segmanların ve gömleğin yüzeylerinde yanma izler(Scuffing,Scuff Marks,Brandspuren) meydana gelir.

-yanma sonucu oluşan sıcaklığın hızlı iletilmesi,yüksek ısı iletim kat sayısı

-korrozyon ve kaviteasyona karşı direnç

### 3.DÖKME DEMİRLER ve ÖZELLİKLERİ

Dökme demirler çok geniş sınırlar içinde değişen özelliklere sahiptir.

Çekme dayanımı 200-1000 Mpa,sertlik HB=100-550 ve uzama % 1-30 arasında değişebilir.Yüksek titreşim,ses sönümü ile yüksek ısı iletgenliği önemli diğer özelliklerdir.Bu özelliklerin çoğu ayrışan grafitin şekil,büyüklüğüne ve miktarına bağlıdır.

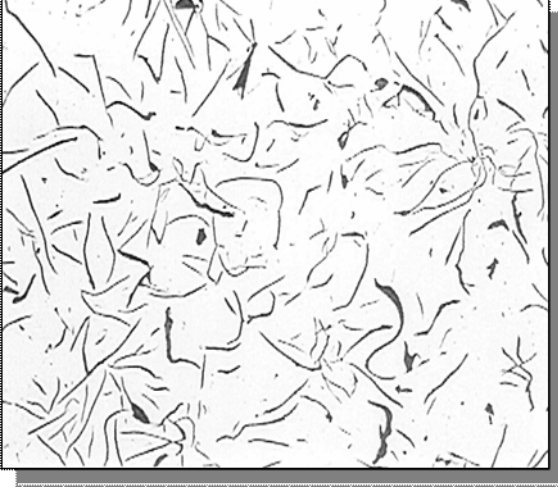
Mukavemet özellikleri grafitin yapraksı(lamellar) şekilden vermikular ve küresel şekle değişmesi ile artar.

Resim 2 de bu grafit şekilleri gösterilmiştir.

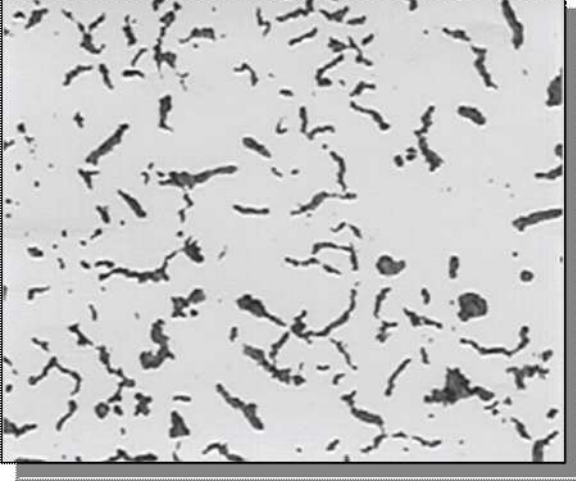
Buna karşın ses sönümü ve ısı iletimi özellikleri yapraksı bir grafit oluşumu ile iyileşir.

Gömlek malzemesinden istenen ve önemli bir özellik olan yanma izlerine karşı direnç ince bir grafit yanında (A-tipi ASTM A 247) grafit yoğunluğu ile sağlanır.

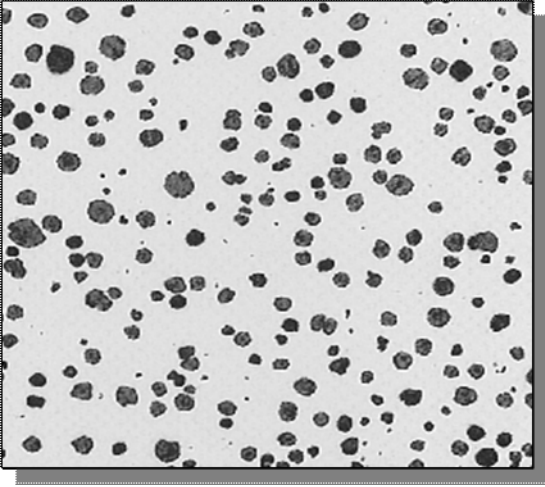
Resim 2.Grafit şekilleri



GJL Lamel grafitli dökme demir,dağlamasız,düzenlidağılmış A-tipi grafitler  
Büyütme 100 x



GJV Vermiküler grafitli dökme demir,dağlamasız,vermiküler grafitler  
Büyütme 100x



GJS Küresel grafitli dökme demir,dağlamasız,küre şeklinde grafitler  
Büyütme 100x

Lamel grafitli dökme demirin mukavemet özellikleri aşağıda verilen 3 proses kademesi içinde belirlenir(3,4):

- katılaşma
- katılaşma sıcaklığından soğuma
- ısı işlem

Perlitik lamel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri aşağıda verilen alternatiflerle iyileştirilir (3),

- 1-ince grafit oluşumu
- 2-primer östenit miktarının artması
- 3-ötektik tane sayısının artması.Ötektik tane sayısının her % 100 artışı çekme mukavemetini 10 N/mm<sup>2</sup> etkiler
- 4-perlit miktarının artması.Perlit miktarı ile sertlik artar.Alaşımız lamel grafitli dökme demirlerde sertlik değeri,C , Si ve P miktarları ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki :  
Rm(N/mm<sup>2</sup>)=263.4+ 1.3 \*HB -65\*%C- 25.5\* %Si- 32\*%P +- 21.3 eşitliği ile verilmektedir(1)
- 5-perlit inceliği
- 6-östenit sertleşebilme kabiliyetinin karbür yapıcı elementlerle Mo,Cr,V,W iyileştirilmesi ile daha yüksek değerlere getirilir.

Görüleceği üzere 1-3 katılaşma prosesi içinde gerçekleşen olgulardır.

### 3.1.Alaşım elementlerinin etkileri

Alaşım elementleri,katılaşma sonu meydana gelen dokuyu farklı şekilde etkiler.Bu etkileşimler grafit şeklinin,ötektik tane büyüklüğün,ön ayrışan östenit miktarının değişimi ve tane içi ve sınırında oluşan fazlarla (karbürler,fosfit ötektiği) açıklanır..

Katılaşma dokusu alaşım elementleri ile hem kinetik , hemde termodinamik yönden etkilenirler.

Birincil olarak bu elementler ötektik karbon miktarını değiştirerek,ayrışan ön östenit miktarını belirlerler.

Ötektik karbon miktarını azaltan elementlere'grafitleştirici' ve arttıran elementlere'karbürleştirici' adı verilir.(Çizelge 1)

Çizelge 1.Elementlerin ötektik karbon miktarına etkileri (4)

Element	Grafitleştirici	Karbürleştirici
Ni	- 0.053	
Cu	- 0.08	
Al	- 0.22	
Si	- 0.31	
S	- 0.40	
P	- 0.33	
Mo		+ 0.015
Mn		+ 0.027
Cr		+ 0.063
V		+ 0.135
Ti		+ 0.14

$$CE(\text{Karbon eşdeğeri})=C + (1/3)*(Si+P) \quad \text{Ötektik karbon miktarı } C=\% 4.3$$

Perlit oluşumunu arttıran ve inceliğini(ementit lamelleri arasındaki uzaklık) sağlayan elementlerin izafi olarak etkileşimleri aşağıda verilmiştir(3):

Perlit miktarı ve inceliği ile sertlik ve mukavemet özellikleri iyileşir.

Sn	+12
Cr	+2
V	+1
Cu	+1
Ni	+0.2
Mo	-1+05

Mangan A1 sıcaklığını düşürdüğünden perlit inceliğini sağlayan bir diğer elementtir. Diğer özelliği ise kuvvetli karbür oluşturu etkisidir:

$$Ar_1(^{\circ}C) = 730 + 28(\% Si) - 25.0 (\% Mn)$$

Uzun süre yüksek sıcaklık mukavemeti ve termal şoka dayanıklılık özellikleri lamel grafitli dökme demirde Cr, Ni, Mo ve Sn gibi alaşım elementleri ile arttırılır. Özellikle Cr ve Mo yüksek sıcaklık mukavemetini yükselten elementlerdir.

Mekanik ve fiziksel özellikler ana doku yanında grafit şekli ile önemli derecede etkilenirler. Çizelge 2 de lamel(yapraksı), vermikular ve küresel grafitli dökme demirlerin bu özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. GJL, GJV ve GJS dökme demirlerin genel olarak özellikleri, minimum değerler, GJL-250, GJV-500 ve GJS-700 özellikleri, parça modülü M=0.75 cm (Et kalınlığı 15 mm) ( 5 )

Özellik	GJL	GJV	GJS
Çekme mukavemeti N/mm <sup>2</sup>	250	500	700
%0.2 akma sınır N/mm <sup>2</sup>		340	400
Kopma uzaması %	0.3	1	2
Sertlik HB	100-300	130-280	120-335
E-Modul GPa	103	170	177
Özgül ısı değeri J/kg.K	460	500	540
Çekme-basma değişim mukavemeti N/mm <sup>2</sup>	60	175	245
Isı iletgenliği 300 <sup>o</sup> C de W/mK	45	40	30
Isı genleşme k s.20-400 <sup>o</sup> C de μm/m.K	11.7	11	10
Ses sönüm kabiliyeti Relatif büyüklük (8)	285	100	65

#### 4.SİLİNDİR GÖMLEĞİ MALZEMELERİ

##### 4.1.Lamel grafitli dökme demir

Belirtilmiş gibi lamel grafitli dökme demir'in silindir gömlekleri için önemli özelliği aşınmaya karşı olan dirençtir. Bu olgu grafitin yağlayıcı görevi üstlenmesi ile açıklanmaktadır. Grafitin ideal şekli ise A-tipidir. Grafit düzenli bir dağılıma sahip olmalıdır.

Malzeme şartnamelerinde grafit şekli, büyüklüğü ve miktarı genel olarak honlama yüzeyinde verilir. Ancak bazı standartlarda ek olarak dış yüzeyde bulunabilecek grafit tipleri ve miktarları belirtilmektedir.

Malzeme standartlarında grafit honlama yüzeyinde min.% 70 A-tipi ve kalan B tipi olarak verilir.Grafit büyüklüğü gömlek et kalınlığına bağlı olup ASTM 4-7 arasında kalmalıdır.

Yüksek mukavemet ve aşınmaya dayanıklılık ince perlitik bir ana doku ile sağlanır.Ferrit miktarı sertliği HB 100 olduğundan max.%5 olmalıdır.

Tüm perlitik bir ana dokunun varlığında aşınmaya karşı dayanıklılık perlit inceliği ve sahip olduğu yüksek sertlikle sağlanır.Bunun erişilmesinde diğer bir seçenekte bağlı karbon miktarının,dolayısı ile sementit miktarının arttırılmasıdır.

Kalay miktarı normal olarak silindir gömleklerinde % 0.1'i aşmamasını rağmen,bu gömleklerde % 0.4-0.6 arasında olup diğer alaşım elementlerinin varolması ile,Cr %0.2-0.4,Ni %0.2-0.4 ve Mo %0.2-0.35 perlit sertliği en üst değerlere çıkarılır.Sertlik değeri HV(0.05) 300-360 ve ana doku sertliği 250+-20 HB dir.

Silindir gömleklerinde ötekiğe yakın bir analizde alaşım elementleri ile erişilebilecek honlama yüzeyi sertliği HB 270'yi geçemez.

Daha yüksek sertlik değerleri beynitik doku ile elde edilir. Savurma dökümde gömleklerin kalıptan çıkartılmaları ve havada soğutulmaları sonucu beynitik doku oluşur.Bu dokunun oluşması için kimyasal analizde % 1-1.5 Mo ve % 1-1.5 Ni'in bulunması gerekir,böylece ZSD diyagramında beynit burnu daha uzun süreler,yani sağ tarafa doğru itilir( ZSD=TTT diyagramı).

Beynitik dokunun en önemli özelliği aşınmaya karşı olan büyük direnctir.Kuru aşınma testleri (numune malzemeler-sertleştirilmiş çelik sürtünme testi) beynitik dökümlerin aşınma özelliğini sertlik değeri daha yüksek olan sertleştirilmiş dökme demirlerle aynı olduğunu ortaya koymuştur.

Beynitik gömleklerin özellikleri çizelge 3 de verilmiştir.

Çizelge 3.Lamel grafitli beynitik silindir gömleği özellikler

Grafit	Lamel şeklinde A ve B-tip,ASTM 4-6 büyüklüğünde
Ana doku	Beynitik ve temperlenmiş martenzit,max % 10 perlit ve yine max %5 düzenli dağılmış karbürler
Sertlik HB	270-330
Çekme dayanımı N/mm <sup>2</sup>	min 380,pratik değer 440
E-Modul GPa	140-180

Beynitik ana dokuya sahip olmada diğer bir uygulama ostemperleme adı verilen ısıtma işlemidir(6).Bu ısıtma işleminin bir özelliği deformasyonun çok az olması ve işleme paylarının arttırılmasının gerekmemesidir. Ostemperleme ısıtma işlemi 2 proses kademesinden ibarettir,bunlar:

- 850-900°C arasında östenitleme ve
- 250-400°C de ,bu sıcaklıklar ZSD diyagramında beynit'e dönüşüm bölgesidir,belli bir süre bırakma (1-2 h) ve daha sonra havada soğutmadır.

Bu ısıtma işlemi sırasında östenitleme sıcaklığı T<sub>A</sub>,ostemperleme sıcaklığı T<sub>O</sub> ve bu sıcaklıkta tuz banyosunda bırakma süresi t<sub>O</sub> mekanik özellikleri önemli derecede etkiler.

Kimyasal analizi (%):C 3.46,Si 2.02,Mn 0.52,P 0.037,S 0.125,Cr 0.17,Cu 0.16 olan GJL 250 malzemenin bu verilen parametrelere bağlı olarak elde edilen değerleri Çizelge 4 gösterilmiştir( 6 ).

Çizelge.4 Ostemperleme ve mekaniki özellikler

Deney		Çekme dayanımı MPa	Uzama %	Sertlik HB
A	Döküm durumu	297	0.5	245
B	870°C/2h ve 370°C/1h	389	0.8	282
C	870°C/1h ve 315°C/2h	436	-	369
D	870°C/1h ve 260°C/3h	441	0.6	410

Lamel grafitli dökme demirlerde titreşimleri sönüm kabiliyeti mukavemet değerlerinin artması ile yükselir, bu çok özel bir malzeme olduğunun göstergesi olmaktadır. Döküm durumunda veya ısıtma işlemi sonu beynitik dokuya sahip olma alternatifleri ekonomik bir seçenek olarak görülebilir. Ostemperleme ısıtma işlemi fiyatı doğal olarak ısıtma işlemi tesisi otomasyon durumuna, işçilik ücretlerine ve söz konusu parçaların adet ve ağırlıklarına bağlı olacaktır. ABD şartlarında ostemperleme fiyatı çok sayıda parça adedi söz konusu olduğunda 0.24-0.37 USD/kg olarak verilmektedir(6).

Ana dokunun aşınmaya karşı dayanıklılığı gömleklerin tüm olarak sertleştirilmeleri veya sadece honlama yüzeylerinin induktif sertleştirilmesi ile sağlanabilir. Bu uygulamalara genellikle ABD lerinde başvurulmaktadır. Söz konusu gömlekler genellikle kuma döküm yöntemi ile üretilenlerdir.

Isıtma işleminin getirdiği maliyet, işlenebilirlik zorluğu ve gömleklerin ısıtma işlemi esnasında deformasyonu özellikle tüm sertleştirme işleminin elverişsizliğini teşkil etmektedir.

Kimyasal analizi % 3.49 C, % 1.84 Si, % 0.67 Mn, % 0.39 P, % 0.05 S, % 0.28 Cr ve % 0.36 olan gömleklerin 870°C/1h/yağda sertleştirilmeleri ve 450°C/1h/havada menevişleri sonu erişilen sertlik değerleri ve çekme mukavemeti aşağıda verilmiştir ( 7 ):

Sertlik HB-HRC	Döküm durumu	Sertleştirme sonu	Meneviş sonu
Çekme mukavemeti N/mm <sup>2</sup>	235-17.6	HRC 49.9	370-36
	260		342

Aşınmaya karşı olan dayanıklılığın artırılması için diğer bir alternatif yüksek sertliğe sahip karbürlerin veya fosfit ötektiği varolmasının sağlanmasıdır ve işlenebilirlik kabiliyetinde olumsuz etkiliyen olguları teşkil ederler.(Çizelge 5).

Çizelge 5. Aşınmaya ve yanma izlerine karşı dayanıklılığın artırılmasında karbürlerin özellikler

	Sertlik ve hacim % si	Tanımı
Ternier fosfit ötektikumu	550-650 HV, (8-10)*%P Fosfit ötektiği genel olarak % 4 dür	% 2.4 C, % 6.89 P ve Fe % 41 Fe <sub>3</sub> P + % 30 Fe <sub>3</sub> C ve % 29 Östenit A1 sıcaklığının altında Ferit ve Sementit'e dönüşüyor
Bor karbür	1050-1150 HV 100* %B, Bor karbür miktarı % 3 ile % 6 arasında değişir	(Fe, M)B, C
Nb ve V karbür	2-20 µm büyüklüğünde düzenli dağılmış karbürler 2000-3000 HV	Nb(C, N) V(C, N) Karbo nitürler

Fosfit ötektiği 950°C de tane sınırlarında katılaştır. Fosfor miktarının % 0.02 üzerinde olması halinde fosfit ötektiği oluşur ve Mo, Cr, W ve V gibi elementlerin mevcut olması ötektikümde zenginleşirler, böylece



elementlerin beklenen etkisinde kaybolur. Karbür yapıcı elementler varolduğunda fosfor miktarının şartname alt sınırına yakın olarak seçilmesi gerekir.

Ternier fosfit ötektiği fosfor miktarı % 0.4 olduğunda kapalı bir şekle sahip olur. Bu duruma kapalı fosfit ağı adı verilir. Gömlek malzeme standartlarında genel olarak istenen kapalı bir fosfit ağıdır. Fosfor miktarının artması ile birlikte dokuda mikro çekinti oluşur.

Lamel grafitli dökme demir silindir gömleklerinde Cr, Mo, Cu, V, Ni, B, Nb alaşım elementleri ile oda ve yüksek sıcaklık mukavemet özellikleri, aşınma ve yanma izlerine karşı dayanıklılık gibi karakteristikler iyileştirilir. Bundan başka honlama yüzeyinde uygulan ve aşağıda verilen kimyasal, yüzeysel ve yüzey sertleştirme işlemleri, aşınmaya karşı direncin artırılmasında alternatif metodlardır:

- a. Fosfat kaplama
- b. lazer sertleştirme, nitrasyon
- c. krom kaplama, nikel kompozit kaplama

Elementlerin lamel grafitli dökme demir mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri Çizelge 6 da verilmiştir. Bu değerlerin büyük bir kısmı silindir gömlekleri üzerine yapılan inceleme sonuçlarını içermektedir. (7,8,9).

Çizelge 6 .CE,Sc ve alaşım elementlerinin silindir gömlekleri sertlik değerine etkileri (7,8,9)

Element	Etkisi
CE	-54.28 HB/% CE
Sc	-19 HB/0.1*Sc
Cr	+34.44 HB/% Cr
Mo	+40.25 HB/% Mo
B	+250 HB/% B Bor karbürlerin hacim %= 100* %B
Sn	+100 HB/% Sn
Cu	+13.36 HB/% Cu
P	+44.19 HB/% P Ternier fosfit ötektiği hacim % (8-10)* %P

Alaşım elementlerinin mekaniki ve fiziksel özelliklere etkileri,çoklu regresyon analizleri

$$\text{Çekme mukavemeti } N/mm^2 = 727.18 - 112.53 * \%CE + 72.44 * \%Cr + 99.51 * \%Mo \quad R=0.86$$

E-Modul MPa

$$\text{E-Modul} = 357.25 - 71.35 * \%CE + 4.68 * \%Cu + 32.40 * \%V + 23.81 * \%Mo \quad R^2 = 0.99$$

İzafi termik şoka dayanıklılık CE= 4.44 İzafi termik şoka dayanıklılık = 1

$$\text{İTŞD} = 1.219 + 0.725 * \%V + 0.725 * \%Mo$$

İzafi termik şoka dayanıklılık deneyi: 600-630 °C ye hızlı ısıtma (20-29 s) ve 78-103 s de 120-160 °C soğutma ve kopmanın meydana gelmesine kadar uygulanan şok sayısı tesbit edilerek karşılaştırılır

$$\text{Isı iletgenliği } W/m.K (50^0C \text{ de}) = -37.12 + 21.40 * \%CE - 0.413 * \%V - 12.37 * \%Mo \quad R^2=0.78$$

$$\text{Isı iletgenliği } W/m.K (310^0C \text{ de}) = 9.974 + 8.15 * \%CE - 0.173 * \%V - 5.04 * \%Mo \quad R^2=0.80$$

$$\text{Isı iletgenliği } W/m.K (400^0C \text{ de}) = 23.273 + 4.31 * \%CE + 0.1 * \%V - 1.394 * \%Mo \quad R^2=0.82$$

#### 4.2.SİLİNDİR GÖMLEĞİNDE SERTLİK DAĞILIMI

Yönleşmiş katılaşma sonucu silindir gömleği et kalınlığında iç yüzeyden dışa doğru yükselen bir sertlik dağılımı mevcuttur.

Yapılan çok sayıda ölçümler sonucu bu dağılımın aşağıdaki eşitlikle tanımlanabileceği tesbit edilmiştir(7,9):

$$\text{Log } H = A_1 - A_2 * (X-1)^2$$

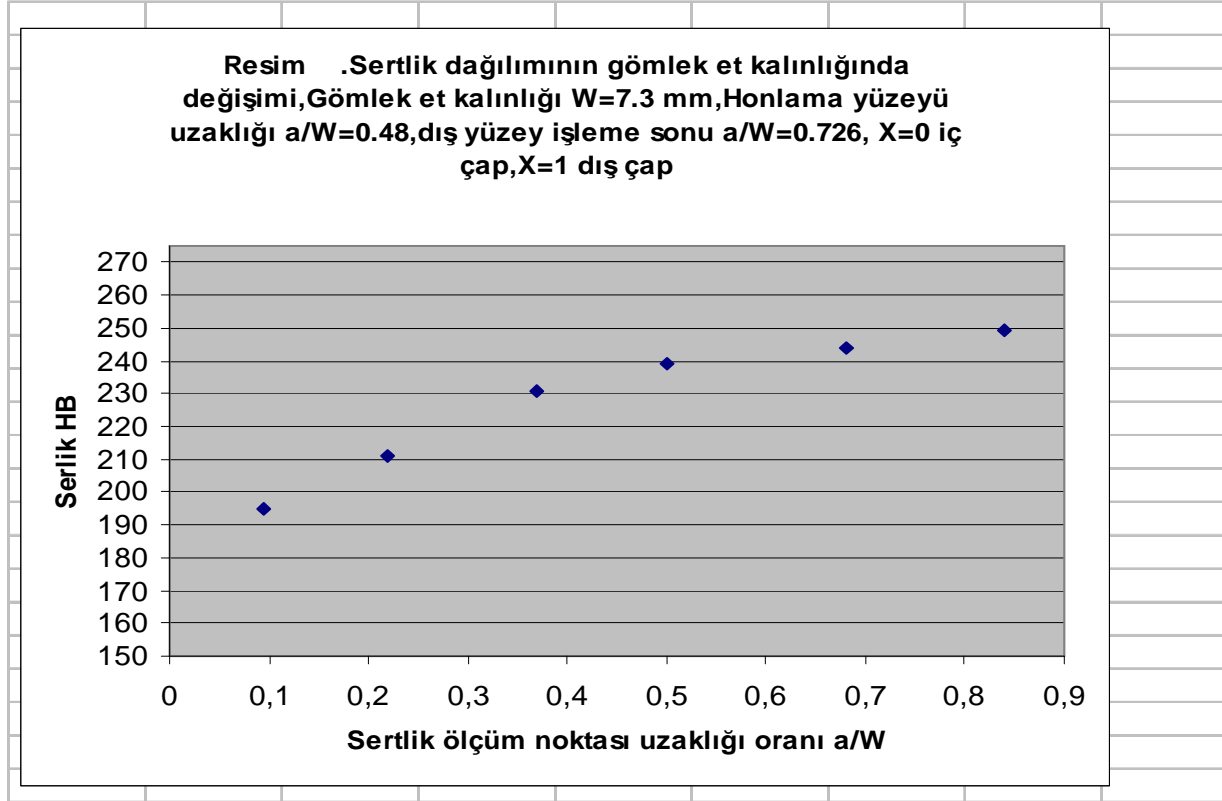
Burada: H gömlek et kalınlığının her hangi bir noktasındaki sertlik değeri HB veya HRB olarak  
 $A_1 A_2$  Söz konusu gömlek için sabiteler,döküm parametrelerine bağlı  
 X gömlek et kalınlığında ölçüm noktasının iç yüzeyden uzaklığının et kalınlığına oranı  
 $X = a/W$  a= iç çaptan,iç yüzeyden uzaklık W= et kalınlığı X=0 iç yüzey X=1 dış yüzey

Bu eşitlik yardımı ile honlama ve finiş gömlek dış yüzey sertlikleri doğru olarak saptanabilmekte ve bunun yanında sertliği etkileyen faktörlerin etkileşimleri daha doğru olarak tespit edilebilmektedir. Buna örnek olarak aşağıda bir döküm durumundaki gömlek için saptanılan ilişki,honlama ve dış yüzey sertlikleri verilmiştir.

$$\text{Log HRB} = 2 - 0.0159 \cdot (X-1)^2$$

Honlama yüzeyi sertlik değeri X= 0.18 için HRB= 97.72 ve dış yüzey sertliğide X= 1 için HRB= 100 saptanılır.

Resim 3 de bir gömleğin döküm durumunda sertlik dağılımı gösterilmiştir.



Resim 3.sertlik dağılımı

## 5.SİLİNDİR GÖMLEĞİ ANALİZLERİ

Çizelge 7,8 de bazı önemli silindir gömleği üreticilerinin malzeme standartları verilmiştir.

Genel olarak silindir gömlekleri 'Standart Malzeme' olarak normal şartlarda çalışan motorlarda uygulama sahası bulmaktadır.Sadece Cr ( %0.2-0.4) ihtiva eden bu analize mekanik özellikleri,aşınmaya karşı direnci,ısıya dayanıklılığı arttıran alaşım elementlerin eklenmesi ile öngörülen uygulama şartları için malzeme standartları oluşturulmuştur.

Mahle-Wizemann Malzeme kataloglarında 'Standart Malzeme' olarak :

C	%3.2-3.5
Si	% 1.6-2.2
Mn	%0.6-0.8
S	% 0.06 max
Cr	%0.2-0.4 alınarak,aşınmaya karşı mukavemet fosforun 4 farklı sınıfta seçilmesi ve

mukavemet özelliklerinin Cu ,Mo ile artırılması ile 5 malzeme standardı verilmiştir.Ayrıca 1 malzeme standardı MRD uygulaması bulan çok yüksek aşınma direncine sahip B ihtiva eden ve Standard SV olarak tanımlanan malzemedir.

Standard SV de P max %0.25 ,Cu % 1.3-1.7 ve B % 0.05-0.07 olup,şartname sertlik değerleri HB 280-310 çekme mukavemeti MPa min.250 ve E-Modül GPa min 135 dir.

Yukarıda açıklanan 5 malzemenin grubu honlama yüzeyi sertlik değerleri ile aşağıda verilmişlerdir.

Analizlerin P sınıfları:

1 sınıf	max %0.25
2	%0.35-0.50
3	%0.50-0.70 ve
4	%0.60-0.80

Mahle-Wizemann'a göre genel olarak silindir gömleği malzeme standartları (+ standart analiz):

	Honlama yüzeyi sertliği
1.+P3	HB 220-260
2.+ P2+Mo(0.3-0.6)	HB 240-280
3.+P4	HB 220-260
4.+P4+Mo(0.25-0.40)	HB 240-280
5.+P2	HB 200-240

Diğer üreticilerinde malzeme standartları benzer gruplandırmalar göstermektedir.

Aşınmaya karşı dayanıklılığın artırılmasında B'un kullanılması Japonyada ,NPR,TP, üretilen gömlelerde görülür.Aşınma olgusunun tesbiti amacı ile yapılan motor testinde,3200h,dizel motor,gömlek iç çapı 200 mm,6 silindir,260 PS/750 d/d,Tarkaloy silindir gömlekleri(B= %0.02-0.06) normal lamel grafitli dökme demir gömleklerine kıyasla %40 daha az bir aşınma göstermişlerdir.

Bor bu gömlelerde 3 sınıf içinde bulunur:

1.sınıf	% 0.03-0.05
2.	% 0.03-0.08 ve
3.	% 0.05-0.12

Gömleklerin LVP kullanılmalarında B miktarı % 0.03-0.05 arasında olup,LVD için artarak MRD için yaş gömlelerde % 0.05-0.12,kuru gömlelerde ise % 0.03-0.05 dir.

Gömlerlerde Cr'un (% 0.1-0.4) yanında Cu (%0.3-0.5),Mo (%0.3-0.5) ve Nb(%0.1-0.4), Cr-Cu,Cr-Cu-Nb,Cr-Mo kombinasyonları şeklinde bulunur.Aşınmaya karşı dayanıklılık B miktarı ile artmaktadır.

Bütün bunların yanında beynitik gömlerler sahip oldukları özellikler nedeni ile farklı bir malzeme grubunu teşkil etmektedirler.

Son yıllarda bazı motor blokları,örneğin BMW V8-motor,DAF XE900 motor vermikular grafitli dökme demirden üretilmektedirler(10,11).

Bu malzemedeki silindir gömlerinin üretilmesi çalışmalarına MRD uygulamaları çerçevesinde başlanmış bulunmaktadır.Bu gömler MRD-HD(Diesel) uygulamasında induktif serleştirilmektedirler.Döküm durumunda,,perlitik ana dokuya sahip ve mekanik özellikleri:

Sertlik değeri HB	min 250
Çekme mukavemeti MPa	min 500
E-Modül GPa	min 150 olan bu malzeme kullanıcıların büyük ilgisini çekmektedir.

Çizelge 7.Silindir gömleklere kimyasal analizleri,malzeme standartları %

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb	B	Mo	V	Sn
Pleuco GGZ25-1	3-3.5	1.8-2.5	0.6-0.8	0.4-0.6	Max0.1	0.15-0.4							
Pleuco GGZ25-2 Standard P	3.2-3.5	1.8-2.2	0.6-0.8	0.4-0.9	Max0.1	0.15-0.4							
Pleuco GGZ25-3 Chromo	3.2-3.5	1.8-2.2	0.6-0.8	0.4-0.6	Max0.07	0.2-0.4					0.2-0.5		
Pleuco GGZ25-4	3.2-3.5	1.8-2.2	0.6-0.8	0.4-0.6	Max0.07	0.25-0.4					0.3-0.6		
Pleuco 30-1	1.8-2.2	3.1-3.4	0.2-0.4	0.4-0.6	Max0.07	0.2-0.4					0.2-0.5	0.15-0.3	
Pleuco GGZ30-2	3.1-3.4	1.8-2.2	0.6-0.8	0.4-0.6	Max0.07	0.25-0.4					0.2-0.5	0.2-0.3	
TRW,A62	3.2-3.5	1.8-2.2	0.6-1	0.3-0.5	Max0.12	0.2-0.5							
TRW,62P	3.2-3.5	1.8-2.2	0.6-1	0.4-0.8	Max0.12	0.2-0.5							
TRW,A71	2.8-3.5	1.8-2.2	0.5-1	Max0.15	Max0.12	0.2-0.5	0.6-1	Max0.25			Max0.5		
TRW,A82	3.2-3.5	1.8-2.2	0.6-1	0.3-0.5	Max0.12	0.2-0.5		Max0.5			0.3-0.6		
TRW,A92	3.65-4.3	1-1.65	0.1-0.35	0.15-0.4	Max0.04	0.2-0.4							0.1-0.3
Mahle Standard	3.2-3.5	1.8-2.2	0.6-0.8	0.4-0.5	Max0.06	0.25-0.4							
Mahle Standard CM260 Cr+Mo	3.3-3.5	1.8-2.2	0.8-1	0.35-0.65	Max0.06	0.2-0.4					0.3-0.5		
Mahle Standard HV,yüksek P	3.2-3.5	1.7-2.2	0.6-0.8	0.6-0.8	Max0.06	0.25-0.4							
Mahle Standard HV-Mo+P+C	3.2-3.5	1.7-2.2	0.6-0.8	Max0.06	0.25-0.4						0.3-0.5		
Mahle Standard SV,Cu+B	3-3.4	1.8-2.4	0.6-0.8	Max0.25	Max0.06	0.25-0.4		1.3-1.7		0.05-0.07			

Çizelge 8.Silindir gömlekleri kimyasal analizleri,malzeme standartları

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb	B	Mo	V	Sn
Mahle K70 Cr+Mo+Cu+Ni	2.8-3.1	1.8-2.2	0.7-0.9	0.2-0.3	Max0.06	0.25-0.4	0.7-0.9	0.25-0.4			0.5-0.7		Max0.1
TP,L112 Standard Cast in,LVP	2.9-3.6	1.6-2.6	0.5-1	Max0.4	Max0.12								
TP,L161,kuru Gömlek+B	2.9-3.5	1.8-2.6	0.5-1	0.1-0.4	Max0.12	0.1-0.4		0.3-0.5		0.03-0.05			
TP,L162,yaş Gömlek,MRD+B	2.9-3.5	1.8-2.6	0.5-1	0.1-0.4	Max0.12	0.1-0.4		0.3-0.5		0.05-0.12			
TP,L163,kuru Gömlek+Nb+B	2.9-3.5	1.8-2.6	0.5-1	0.1-0.4	Max0.12	0.1-0.4		0.3-0.5	0.1-0.4	0.03-0.08			
TP,L164,taş Gömlek Nb+B	2.9-3.5	1.8-2.6	0.5-1	0.1-0.4	Max12	0.1-0.4		0.3-0.5	0.1-0.4	0.05-0.12			
TP,L165,yaş gömlek MRD,Mo+B	2.9-3.5	1.8-2.6	0.5-1	0.1-0.4	Max0.12	0.1-0.4		0.3-0.5		0.05-0.12	0.3-0.5		
NPR Tarkaloy	3-3.7	1.4-2.5	0.5-1	Max0.5	Max0.12					0.02-0.06			
NPR,Super Tarkaloy	3-3.7	1.4-2.5	0.5-1	Max0.5	Max0.12					0.05-0.1			
NPR Ni+Cr+Mo	3-3.7	1.4-2.5	0.5-1	0.2-0.5	Max0.12	0.5-1.2	0.15-0.25				0.15-0.25		
NPR,Cu+Cr	3-3.7	1.4-2.5	0.5-1	0.2-0.5	Max0.12	0.2-0.5		0.2-0.5					
Cummins 41 09000 Beynitik	2.6-3	1.7-2.3	Max0.8	Max0.1	Max0.08		1-1.5				0.7-1.5		
Detroit Diesel 090K0188	2.7-3.3	1.8-2.5	Max0.8	Max0.08	Max0.08		1-1.5				1-1.5		
MAN,yaş gömlek MRD++P	3.2-3.5	1.8-2.3	0.6-0.8	0.6-0.9	Max0.12	Max0.25							
DC,GGZCrMo250 Yaş gömlek,MRD	3.2-3.5	1.6-1.9	0.6-0.8	0.35-0.5	Max0.09	0.2-0.4		Max0.15			0.3-0.5		
DC,GGZ-C CrNiMo Bağlı karbon %	0.65-0.8	1-1.65	0.1-0.35	0.15-0.4	Max0.04	0.2-0.4	0.2-0.4				0.2-0.35		0.4-0.6

1. Kolbenringe Kurbelgehäuse  
Sonderdruck ATZ/MTZ  
Federal-Mogul Burscheid GmbH
2. Andersson, P.  
Piston Ring Tribology A literature Survey  
ISBN 951-38-6107-4
3. Röhrig, K.  
Niedriglegierte Gusseisenwerkstoffe  
Sonderdruck aus Giesserei-Praxis Heft 1/1, 1982, S.1-16
4. Janowak, J.F., R.B. Grumlach, G.B. Eldis ve K. Röhrig  
Foundry Congress Varna/Bulgaristan 1981  
Climax Molybdenum M-572
5. Lampic, M.  
Gusseisen mit Vermikulargraphit GJV  
Giesserei-Praxis Nr 1, 2001, S.17-22
6. Kovacs, B., J.R. Keogh  
Mechanische und Physikalische Eigenschaften sowie Anwendungsmöglichkeiten von bainitischem Gusseisen mit Lamellengraphit  
Giesserei-Praxis Nr 21-22, 1994, S.519-527
7. Izgiz, S.  
Neşredilmemiş incelemeler, Federal-Mogul Sapanca 1982-2002
8. Einfluss von V, Mo, Ni und Cu auf Festigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit von Gusseisen mit Lamellengraphit  
Giesserei-Praxis Nr 13-14, 1993, S.250-261
9. Izgiz, S.  
Motor silindir gömlekleri dökümünde kalite optimizasyonu ve bilgisayar uygulaması  
Metalurji 48, 1987, S.37-42
10. Lampic, M., H. Henkel  
BMW-V8-Dieselsilinderblock, Tragholmkonzept und Gusseisen mit Vermikulargraphit  
Giesserei-Praxis Nr 6, 1999, S.296-301
11. Lampic, M.  
Erfolgreiche Materialsubstitution für neuen DAF XE900-Motor  
Giesserei-Praxis Nr 3, 2000, S.100-104



