



LAPLANCHE GRAFİTLEŞME YATKINLIĞI VE SİLİNDİR GÖMLEKLERİNİN SAVURMA DÖKÜMÜNDE KARBON VE SİLİSYUM MİKTARLARI

m a k a l e

Savaş İZGİZ
Metalurji Mühendisi

ÖZET

Savurma döküm yöntemi ile üretilen silindir gömleklerinin kalıp içersindeki katılaşma olgusu yönleşmiş katılaşmadır. Katılaşma cephesi dıştan iç yüzeye doğru ilerler ve iç yüzeyde son bulur. Silindir gömleklerinin kalıp içersinde döküm sonrası soğuma şartları, modüle yani silindir gömleğinin hacim/soğumaya Kaltılan yüzey oranı yanında kalıp dizaynı, boya malzemesi cins ve kalınlığı, kalıp sıcaklığı ve döküm sıcaklığı gibi etkenlere bağlıdır.

Silindir gömleklerinin sahip olması gereken ve aşınmaya karşı direnci belirleyen honlama yüzeyinde A-tipi grafit ile ince perlitik doku silindir gömleği soğuma hızına, kimyasal analizi ve aşılama malzemesi cins ve miktarına bağlı olarakda değişmektedir.

Bu incelemede uzun boru Düker döküm makinaları, Seri Renault yatay 11 çift başlıklı döküm makinası ile tekli döküm makinalarında dökülen silindir gömleklerinin Laplanche K-değerleri ile her bir tesis için farklı bir ilişki içersinde bulunan modülleri arasındaki matematiksel eşitlikler saptanmıştır. Bu matematiksel eşitliklerden yine her tesis için dökülecek

herhangi bir silindir gömleğinin honlama yüzeyinde A-tipi grafit ve ince perlitik ana dokunun varolması için ideal hem pota ve hemde ocak karbon ve silisyum miktarları saptanabilmektedir. Böylece pratikte teknik elamanlar için önemli bir uygulama sahası bulacaktır.

Anahtar kelimeler

Silindir gömlekleri, savurma döküm, aşılama, katılaşma ve soğuma süresi, boya malzemeleri, Laplanche grafitleşme yatkinlığı K-değeri, gömlek modülü

1.GİRİŞ

İçten yanmalı motorların önemli bir parçası olan silindir gömlekleri genellikle savurma döküm yöntemi ile üretilirler.

Savurma dökümde çeşitli özellik ve kapasitede makinalar kullanılırlar.

Savurma döküm tekniği ile üretilen silindir gömlekleri yönleşmiş bir katılaşmaya sahip olup, soğuma hızına bağlı olarak grafit dokusu, perlit ve inceliği ile ferrit miktarı gömlek et kalınlığında değişmektedir. Malzeme standartlarında verilen doku özellikleri honlama yüzeyi için geçerli olup bu yüzey kullanılan boya malzemesi ve boyama yöntemine bağlı olarak işleme payı göz önüne alınarak iç çaptan 2.5-4 mm arasındaki uzaklıktır.



Silindir gömlekleri motorun mekanik etkilerine, sıcaklık ve aşınma olgularına karşı dayanım özelliklerine sahip olmalıdırlar. A-tipi grafit ve ince perlitik doku honlama yüzeyinde olması gereken doku özellikleridir.

Bu incelemede farklı tesislerde dökülen silindir gömleklerinin soğuma hızları ile Laplace grafitleşme yatkinlığı arasında ilişki incelenmiş ve matematiksel olarak bu ilişki ifade edilmiştir.

2. LAPLANCHE GRAFİTLEŞME YATKINLIĞI, K-FAKTÖRÜ

H.Laplace'ın düşüncesinin temelinde karbon ve silisyumun eriyik demirde çoğunlukla karmaşık bir birleşim olarak bulunduğu yatmakta idi ve o bu karmaşık birleşimi (Fe_3C) $x*(FeSi)y$ CLUSTER olarak tanımladı, adlandırdı. Laplanche'ın ortaya koyduğu grafitleşme yatkinlığını veren K-faktörünün matematiksel ifadesi bu çalışmaların ürünü olmaktadır.

E. Maurer, U. Uhlizsch, W.Weichert, M. Schwarz gibi önemli araştırmacıların lamel grafitli dökme demirlerde karbon ve silisyum miktarlarına bağlı olarak farklı dokuların belirlenmesi düşüncesinden hareketle H. Laplanche bu ilişkiyi:

$$K = (4/3) * Si * (1 - (5 / (3 * C + Si))) \quad (1)$$

eşitliği ile vermektedir(1-3).

H.Laplanche'ın dökme demir doku diyagramlarına göz atıldığında K-faktörü yani grafitleşme yatkinlığının gösterildiği eğriler farklı dokuları sınırlamakta ve birbirlerinden ayırmaktadır.

Böylece Ledeburit/Karışık doku-Karışık doku/Perlit-Perlit/Perlit+Ferrit ve Perlit+Ferrit/Ferrit

dokularının sınırları kuma dökümde verilen bir döküm parçası büyüklüğü için K-faktörü ile belirlenmektedir.

K-faktörü döküm parça çapı büyüdükçe azalmakta ve belirtilen bu sınırlar için parça soğuma hızına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle verilmektedir:

$$\log K = a - b * \log M \quad (2)$$

M=Parça modülü, Hacim/Soğuma yüzeyi oranı a,b=Parça çapına ve hangi dokunun sınırlandırıldığını veren sabiteler

Aynı parça çapı, soğuma hızında, K-değerinin azalması ile Perlit/Perlit+Ferrit sınırında bulunan bir döküm parçası tümü ile perlitik bölge içine girecektir.

Buna karşın E. Maurer, H. Uhlitzsch ve W. Weichert'in geliştirdiği dökme demir doku diyagramları ile H.Laplanche'ın verdiği eşitlikle sınırlanan farklı dokuların doğru bir şekilde doymuşluk ve hatta karbon eşdeğeri ile tanımlanamayacağı görülmektedir. Aynı doymuşluk derecesi doğrusu farklı dokuların bölgelerinden geçmektedir(1).

Silindir gömleklerinde ferrit miktarı genel olarak max.%5 miktarı ile sınırlandırılırlar. Ferrit miktarının azaltılmasında önlemler önem derecesi göz önünde bulundurularak aşağıda verilmiştir:

1. K-faktörünün aynı kalan doymuşluk derecesinde azaltılması. Bu daha düşük bir Si miktarı demektir(Tablo1)

2. Silindir gömleklerinde yüksek ferrit miktarı genellikle döküm tarafı, yani kalıbın daha sıcak olduğu kısımda görülür.Bu nedenle



özellikle bu bölgenin sıcaklığının kontrol altına alınması daha fazla soğutulması gerekir

3. Eğer yukarıda verilen 2 önlemlerle istenilen şartlar yaratılamamış ise bu durumda ferrit oluşumunu önleyen elementlerden kalay % 0.02-0.07 miktarında alaşım olarak verilir.

Burada perlit oluşumu açıklamakta fayda görülmektedir. Fe-C-Si faz diyagramlarında görüleceği üzere α -Fe, γ -Fe ve grafitin beraberce buldukları 3 faz bölgesi mevcuttur(4). Ferrit ve grafit östenitin denge durumu dönüşümü ile oluşurlar, ayrıca östenit bu 3 lü faz bölgesinde soğumanın sürekli ve hızlı olarak α T-A1 sıcaklıkları arasında ve A1 sıcaklığı altına kadar devam etmesi ile perlitte dönüşür. A1 sıcaklığı Si ve Mn miktarlarına bağlı olarak değişir silindir gömleklerinde 750-780 °C dir.Bu bölgenin sıcaklık aralığı 40°C dolayındadır.

Silindir gömleklerinin kalıptan çıkartılma sıcaklıkları 680-750 °C arasındadır. Bu sonuçla perlit oluşumunu silindir gömleğinin kalıptaki soğuma hızının belirlediği açıktır.

C \ Si	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4
1.5	1.02	1.05	1.07	1.1	1.12	1.15
1.6	1.1	1.13	1.15	1.18	1.21	1.23
1.7	1.18	1.21	1.24	1.26	1.29	1.31
1.8	1.26	1.29	1.32	1.35	1.37	1.4
1.9	1.34	1.37	1.4	1.43	1.46	1.49
2	1.42	1.45	1.49	1.52	1.55	1.57
2.1	1.5	1.54	1.57	1.6	1.63	1.66
2.2	1.59	1.62	1.66	1.69	1.72	1.75
2.3	1.67	1.71	1.74	1.78	1.81	1.84
2.4	1.76	1.8	1.83	1.87	1.9	1.93
2.5	1.85	1.88	1.92	1.96	1.99	2.02

Tablo 1. Karbon ve silisyum miktarlarına göre %,Laplanche K-faktörü değerleri

3. SİLİNDİR GÖMLEKLERİNİN SAVURMA DÖKÜMÜ

3.1. Savurma döküm devir sayısı, G-faktörü

Savurma dökümde uygulanan devir sayısı her bir metale ve alaşımına bağlı olarak değişir. Genel olarak devir sayısı yerine G-faktörü ile ifade edilir. G-faktörü merkezkaç kuvvetinin ağırlık kuvvetine oranıdır(5-6):

$$G\text{-faktörü} = ((m \cdot v^2)/r) / mg \quad (3)$$

Burada m, kütle, g yer çekimi ivmesi cm/san^2 , v kalıp dönme hızı, yani $N \cdot 3.14 \cdot 2 \cdot r / 60$, N devir sayısı d/san olduğundan

ve devir sayısı N'e göre eşitlendiğinde

$$N = \sqrt{(G\text{-faktörü}) / (5.59 \cdot 10^{-7} \cdot d)} \quad (4)$$

yazılır, d döküm iç çapıdır(mm).

Bu eşitlik yatay savurma döküm makinaları için geçerlidir. Bu makinalarda döküm parçası silindirik ve Dış çap/Uzunluk oranı genellikle 3-30 arasındadır.

Disk, burç, yatak, flanş ve merdane gibi malzemelerin dökümünde dikey savurma döküm makinaları tercih edilir ve devir sayısı aşağıdaki eşitlikten saptanılır:

$$N = 84.6 \cdot \sqrt{(L / (Dt^2 - Db^2))} \quad (5)$$

Burada Dt döküm üst iç çap, m, Db döküm alt iç çap, m ve L, dikey döküm parçası uzunluğudur.

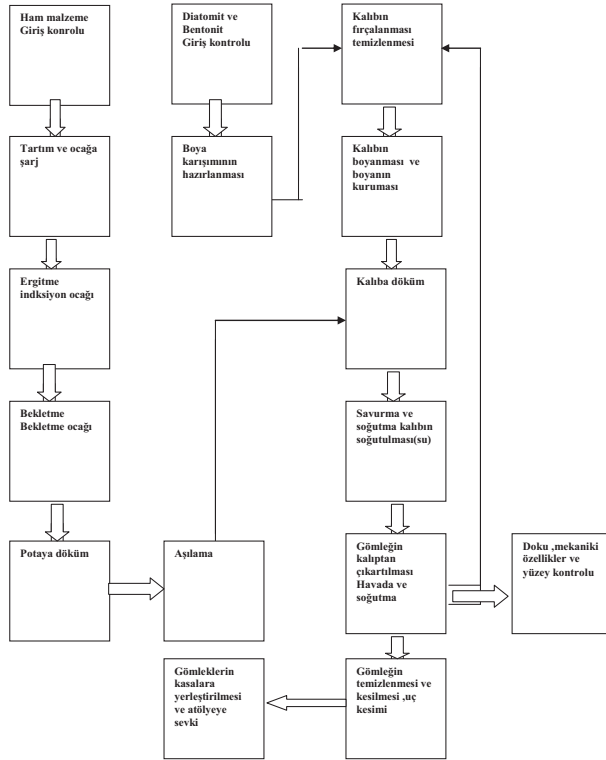
Dökme demirlerin savurma dökümünde ya-



tay makinalarda döküm yapılır ve min.G-faktörü değeri 70 olmalıdır.Bu değer 70-150 arasında değişir.G- faktörünün artması daha düzgün bir iç yüzeyi beraberinde getirir.

3.2. Proses ve savurma döküm makinaları

Şekil 1 de silindir gömleği dökümü proses akış diyagramı verilmiştir. Savurma döküm prosesi kademeleri bütünleşik olabilir bu durumda bekletme ocağı ve savurma döküm makinası bir bütün olmaktadır. Buna örnek olarak yatay karuzel ve Düker uzun boru döküm tesisleri verilebilir. Döküm makinaları üretilecek silindir gömleği tipi ve üretim miktarı göz önünde tutularak seçilir.

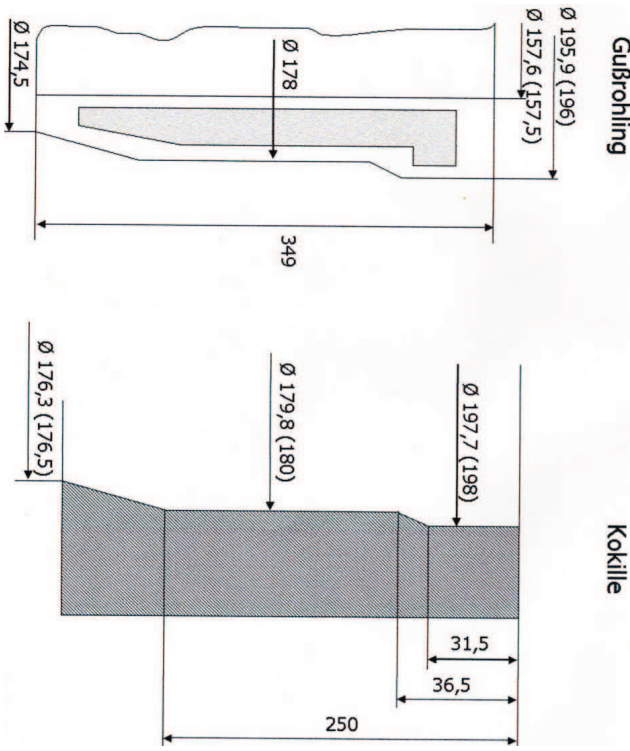


Şekil 1. Silindir gömleği dökümü akış şeması

Tekli döküm makinaları kalıp boyuna göre azami iki gömlek birden dökülebilirler ve kuru ve sulu gömlek tipleri üretilir.

Uzun boru dökümü hafif benzinli ve hafif ticari araçlar,LVP ve LVD için idealdir. Yapılan bir karşılaştırma bitmiş ölçüleri dış çap=90 mm iç çap=75.8 mm ve uzunluk=134 mm olan bir silindir gömleği için tekli dökümlerde 2 adet yerine 2 m uzunlukta 14 silindir gömleğinin dökümü ile malzeme faydalanmanın, $M=(\text{bitmiş gömlek ağırlığı}/\text{döküm gömlek ağırlığı}) \cdot 100$, %14 artacağını ve bunun aynı ölçüde ergitme ile işlemede talaş miktarında %43 azalacağından maliyette %20 dolayında bir azalma meydana geleceğini ortaya koymuştur. Bunun nedeni işleme paylarında ve kesim ölçülerindeki elverişliktir. Uzun boru dökümde malzeme doku ve mekanik özelliklerindeki daha homojen olacağı unutulmamalıdır. Uzun boru döküm makinaları istenen kapasiteye göre değişen sayıda kalıplara sahiptir. Kalıp sayısı 1-6-8-11 ve 15 olabilir. Bu makinalar Düker-Karlstadt-Almanya firmasına göre göre B25-B40-B50-B60 ve B90 olarak tanımlanırlar. LVP ve LVD silindir gömleklerinin dökümünde yatay karuzel tesislerinde yer uygulama sahası bulunmaktadır, bu savurma döküm makinaları kalıp sayısı 6-8-2*8-12*11 ve 12 olabilir..

Ağır vasıta, MRD, silindir gömleklerinin dış yüzeyleri profilli olmaları durumunda malzeme faydalanma % si artacağından ve dolayısı ile maliyet fiyatları azalacağından tekli döküm makinaları ile eğer yüksek kapasite istenirse bu durumda yatay veya dikey karuzellerde dökümleri önerilir. Şekil 2 bir sulu gömlek kalıp dizaynını ve işleme paylarını göstermektedir.



Şekil 2.Sulu gömlek döküm ve kalıp dizaynına örnek. Üstteki Şekil döküm parçası, alttaki Resim Kalıp.

3.3. Ergitme ve bekletme ocakları

Ekonomiklik, esneklik ve çok daha iyi bir metalurjik kalite yani eriyiğin çekirdekleşme durumu göz önüne alındığında ergitmenin orta frekans induksiyon ocaklarında yapılması gereği kendiliğinden doğmaktadır, burada banyo hareketi dikkate alındığında 250 Hz indksiyon ocağı olmaktadır..

Bekletme ocakları kanallı induksiyon ocakları olup faydaları aşağıda verilmiştir:

- Sürekli aynı kalan kimyasal analizde eriyiğin mevcut olması
- Döküm sıcaklığının değişmezliği
- Curafsuz bir eriyik
- Ağırlık kontrolü
- Düşük enerji sarfıyatı

3.4. Savurma dökümde kullanılan kalıplar

Savurma dökümde kullanılan kalıpların ömürlerine etki eden faktörler:

- Kalıp malzemesi, ısıl işlem durumu
- Kalıp kaplama veya boya malzemesi cinsi, ısı iletimi
- Kalıp kaplama malzemesi kalınlığı
- Döküm sıcaklığı
- Kalıbın kullanım sıklığı, dökümden döküme geçen süre
- Kalıp ağırlığının/Döküm ağırlığına oranı
- Kalıp şekli: a) başlığa montajı yapılan b) başlıksız, tek parça kalıp

Kalıp malzemesinin ömrünü zamanla iç yüzeyde meydana gelen sıcak çatlaklıklar ve bu çatlaklıkların büyümesi, derinleşmesi belirler.

Kalıp malzemesi olarak yüksek karbon eşdeğerine sahip gri dökme demir tekli döküm makinalarında kullanabilir. Ancak yüksek üretim kapasitesine sahip savurma döküm makinalarında normalize edilmiş karbon çelikleri veya ısıl işlem görmüş ıslah ve sıcak iş takım çelikleri kullanılmaktadır:

- AISI 1020-1030
- AISI 4120-21CrMo4
- AISI 4130-34CrMo4
- AISI 4140-42CrMo4
- NFC 4133-21CrMo10

Bu kalıp malzemelerinden kalıp ömrü en fazla olan 21CrMo10 çeliğidir. Kalıp ömrü Düker tesislerinde 15000 döküm dolayındadır. Burada kalıp ağırlığının döküm ağırlığına oranı 30 dur.

Kalıp ömürlerini karşılaştırmalı bir çalışma dikey RC8 karuzelinde yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 2):



Kalıp iç çapı D_{ki} aşağıdaki eşitlikten saptanır:

$$D_{ki} = 1.01 \cdot (D_f + 2 \cdot w_i) + 2 \cdot w_s$$

D_f =bitmiş silindir gömleği dış çapı, flanş çapı

w_i =Dış çapta her bir tarafta işleme payı 1.5 mm

w_s =Kalıp boya kalınlığı

Kalıp ağırlığının/Silindir gömleği döküm ağırlığına oranı Japon silindir gömleği üreticileri tarafında 12.5 olarak verilmesine rağmen pratikte farklı olduğu görülmektedir.

Kalıp malzemesi	Isıl işlem	Kalıp ömrü döküm sayısı Kalıp ağırlığı/ gömlek ağırlığı=4.9
AISI 1030	Normalize	400
42CrM04	Normalize	750
42CrMo4	Islah işlemi Sertleştirme+ Meneviş	1318
21CrMo10	Islah işlemi Sertleştirme+ Meneviş	2344

Tablo 2. Kalıp malzeme, ısıl işlem ve ömür deneyi sonuçları. RC8 dikey karuzel Boya Alüminyum silikat 1-1.2 mm

Sonuçlar, kalıp malzemesi ve ısıl işlem şartlarının yanında, kalıp ağırlığının/Silindir gömleği ağırlığına oranının kuvvetli etkisindedir.

3.5. Aşılama

Silindir gömleklerinin dökümünde katılma süresinin aynı parçanın kuma dökümüne nazaran çok daha kısa olması aşılama işlemimin önemini göstermektedir.

Aşılama yöntemi ile dökme demir'in doku ve diğer özelliklerinin ştabil-metaştabil denge durumu sıcaklıkları arasında aşırı soğumanın askariye indirilmesi ile olumlu bir şekilde etkilennmelerinin sağlanır. Bu aynı zamanda metaştabil denge durumu sıcaklığı altına soğumanında engellenmesi amacını taşır.

Aşılamanın amacı karbonun grafit şeklinde kristalizasyonun meydana gelebilmesi için gerekli miktarda heterojen çekirdeklerin eriyikte varolmasının sağlanmasıdır.

Bu gün genellikle kullanılan aşılama malzemeleri FeSi bünyesinde az, eser miktarlarda kuvvetli sülfür ve oksit yapıcı Al, Ba, Ca, Sr ve Zr gibi elementleri bulundurlar(Tablo 3).

Aşılama malzemesi	%Si	%Al	%Ca	%Ba	%Sr	%Zr	%Mn
FGFeSi	74-78	1-1.6	0.4-1				
Vaxon	46-50	0.5-1.25	0.6-0.9				
Zircinoc	73-78	1-1.5	2-2.5			1.3-1.8	
Superseed	73-78	Max.0.5	Max.0.1		0.6-1		
Foundrisil	73-78	0.75-1.25	0.75-1.25	0.75-1.25			
Noklat 2	70-75					2-5	2-3

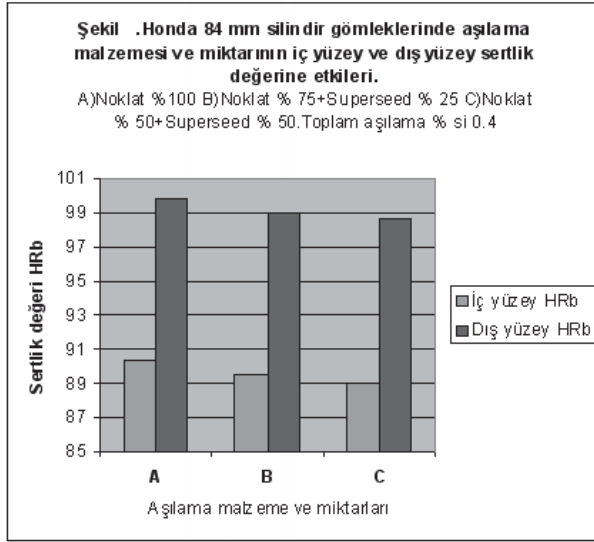
Tablo 3. Genel kullanımı olan aşılama malzemeleri

Eriyiğin çekirdekleşme durumu kimyasal analizine, ergitme yöntemine, şarj malzemeleri, eriğin oksijen miktarı, eriyik sıcaklığı ve bu sıcaklıkta eriyiğin bekleme süresine bağlıdır. Hiç şüphesiz Mn-S miktarları eriyiğin çekirdekleşme durumunu önemli derecede belirler. Yapılan çalışmalar

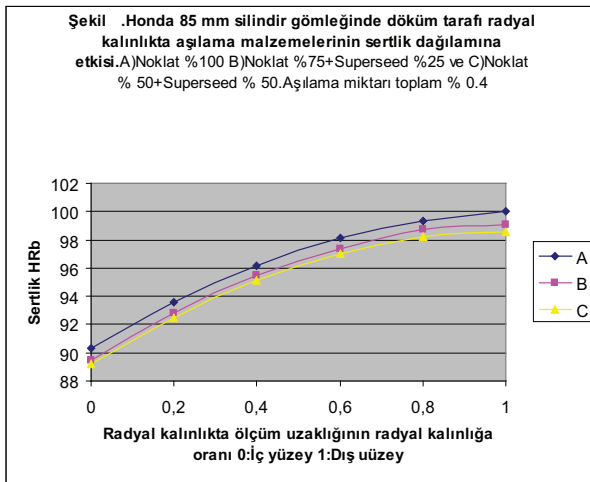
Mn/S oranının 12 ve kükürt miktarının asgari % 0.06 olması durumunda ideal çekirdekleşme düzeyinin erişildiğini ortaya koymuştur.

Lamel grafitli dökme demirde grafitin kristalizasyonu için birincil çekirdekleri, kararlı oksitleri oluşturan ve eriyikte varolan veya aşılama ile verilen alüminyum, kalsiyum, baryum ve stronsiyum gibi elementlere ihtiyaç vardır. Bu oksitler Mn(Al, Ca, Sr)S sülfürlerin çekirdekleşmeleri sağlarlar ve daha sonrada bu sülfürler üzerinde kristal kafes parametrelerinin iyi uyumu nedeni ile grafitler kristalleşir(7-8).

Honda 85 mm silindir gömleği sertliğine farklı aşılama malzemelerinin etkilerini Şekil 4 ve 5 göstermektedir.



Şekil 4. İç yüzey, dış yüzey sertliklerine aşılama malzemesinin etkisi



Şekil 5. Radyal kalınlık üzerinde sertlik dağılımı

Sertlik değerleri yanında yapılan grafit dokusu değerlendirmesi Superseed'in daha etkin bir aşılama malzemesi olduğunu göstermiştir. Silindir gömleği dökümünde bu nedenle genel olarak Sr'lu aşılama malzemeleri kullanılır.

3.6. Savurma dökümde kullanılan boya malzemeleri ve boyama yöntemi

Lamel grafitli silindir gömleğinin savurma dökümünde kalıpların boyanması çok önemli bir yere sahiptir.

Kalıpların boyanması ile eriyiğin kalıpta katılaşması ve soğuması süreci kontrol altında tutularak aynı zamanda daha sonraki işleme prosesi için ideal özelliklerde grafit ve ana doku mevcut olur(Tablo 4).

Kalıp boyama malzemeleri teknolojik olarak şu görevleri yerine getirmelidirler;

- Döküm sıcaklığına dayanıklılık, refrakter özelliği
- Kalıp yüzeyi ile iyibir tutuculuk
- Hızlı bir kuruma özelliği ve daha önemli olanı,
- Düşük ısı iletim katsayısı, yüksek izolasyon özelliği

Bugün uygulanan boyama yöntemlerinde kullanılan kalıp boya malzemeleri yağ boya malzemeleridir. Bunun nedeni silindir gömleklerinin malzeme kalitesi ve işlenebilirlik özelliklerinin çok daha iyi olmalarıdır.

Lamel grafitli silindir gömleklerinin dökümünde izolasyon özelliği bakımından ideal malzeme hiç şüphesiz Diatomit diğer tanımlamalarla Celit veya Kieselgur'dur. Amorf olan

**Tablo 4. Boya malzemeleri ve özellikleri**

Kuru kalıp kaplama malzemeleri	Yaş kalıp kaplama malzemeleri
1.Grafit-Ferrosilisyum-Alüminyum tozu Karışımı Kalıp sıcaklığı 700-800C, kuvvetli düzeyde ferrit ve B-tipi grafitin meydana gelmesi. Kalıp ömrünün çok az olması. İşleme kabiliyeti sınırlı İzolasyon özelliği kötü	1..Diatomit-Bentonit-Su karışımı Boyama sistemi: DUEKER lensi Boya kalınlığı 0.5-0.7 mm, kalıp sıcaklığı boyama öncesi 200-250 C izolasyon özelliği, kuruma özelliği çok iyi, yüzey kalitesi ve işlenebilme ideal, dış çap ve iç çapta işleme payları az
2.Maske kalıp kumu, kalınlık 1-1.5 mm. İzolasyon özelliği kötü Kalıp sıcaklığı 200-240C. İşleme kabiliyeti gömlek kalınlığı, ağırlığı arttıkça azalıyor. Yapılan incelemelerde diatomit-bentonit-su kalıp boyası ile karşılaştırması uç ömrünün 2-5 kere daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Yüzey kalitesi yer yer bozuk, eriyiğin kalıpla teması, yoğun taşlama ve gömlek temizleme işlemi yüksek ıskarta değerleri	2.Diatomit-Bentonit-Su karışımı Boyama sistemi: TP lensi, nozel ve tip Boya kalınlığı 0.9-1.1 mm, kalıp sıcaklığı 320-380 C Boyanın kurumasında kalıp üzerinde 400 adet 2 mm çapa sahip delikler gerekli, izolasyon özelliği çok iyi Yüzey kalitesi ve işleme özellikleri ideal İç çapta ve dış çapta işleme payları az
	3.Diatomit-Kuvars unu-Su karışımı Boyama sistemi: CCMCO lensi nozel ve tip Boya kalınlığı 1-1.2 mm, kalıp sıcaklığı 200-350C. 1 ve 2 ye nazaran izolasyon özelliği orta, yüzey kalitesi İşlenebilme özelliği iyi, kuruma özelliği çok iyi
	4.Alüminyum silikat-Su karışımı Boyama sistemi CCMCO lensi nozel ve tip Boya kalınlığı 1-1.2 mm, kalıp sıcaklığı boyama öncesi 200-350C. Yüzey pürüzlülüğü diğer yaş kalıplama malzemelerini nazaran daha yüksek. Kuruma özelliği çok iyi, izolasyon özelliği orta

diatomitin özgül yüzeyide çok büyüktür. Diatomit kimyasal analizine örnek Tablo 5 de verilmiştir.

Tablo 5.Diatomit kimyasal analizi %

SiO ₂	89.6
Al ₂ O ₃	4
Fe ₂ O ₃	1.3
MgO	0.6
K ₂ O	3.3

Boyama prosesinde diatomit tane büyüklüğünde önem taşımaktadır ve ortama 10µ olmalıdır.

Kalıp yüzeyinde refrakter malzemesi tanelerinin tutuculuğunun sağlanması içinde bentonit kullanılır. Bentonitin sahip olması gereken

önemli özelliği şişme özelliğidir. Bilindiği gibi şişme özelliği sodyum bentonitlerde yüksektir ve ASTM D 5890 test metoduna göre 20 ml den büyüktür. Aktifleştirilmiş kalsiyum bentonitlerin kullanılmalarında şişme özelliğinin olumlu kılınması için bentonit miktarının %5'i kadar epton tuzu MgSO₄ ilave edilir.

Boya tabakası kalitesi kullanılan malzemelerin kaliteleri ile boyanın hazırlanması şartları ve boyama işlemi parametrelerine bağlıdır.

Çok sayıda çalışmada malzeme özellikleri ve hazırlama parametreleri Taguchi'nin standart deney tasarımları içinde incelenmiştir. Diatomit, bentonit miktarları ile, bentonit-Su karışımının diatomitle karıştırma süresi ve epton tuzu miktarının viskositeye etkisi için elde edilen çoklu regresyon eşitliği aşağıda verilmiştir:

$$\text{Viskozite(san)}=4.86+0.30*D+1.39*B-0.22*t-0.35*ES$$

$$(5) \quad R=0.78$$

Burada ağırlık % si olarak D, diatomit ve B, bentonit miktarları, t, bentonit-su karışımının diatomitle karıştırma süresi ve ES, bentonitin % si olarak epon tuzu miktarıdır.

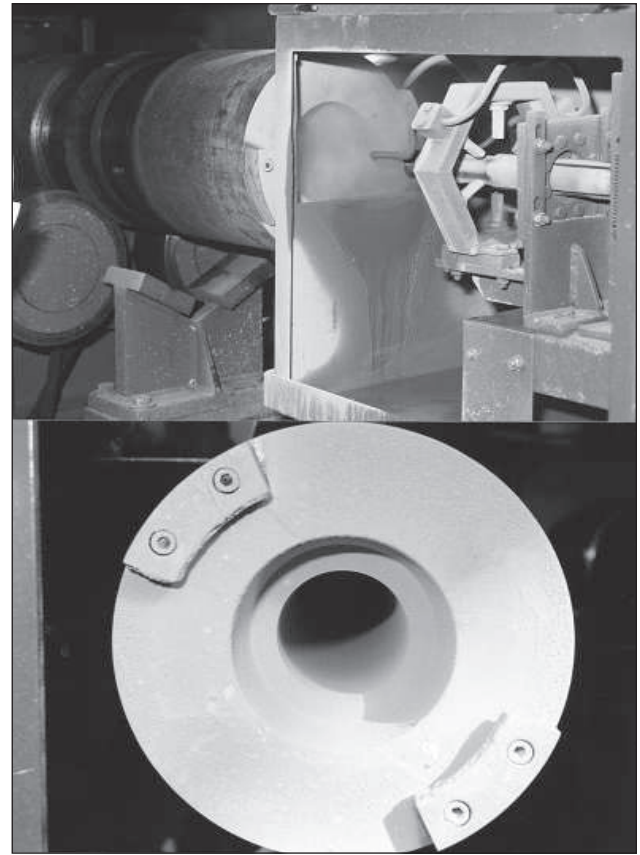
Viskozite Ford Nr 316 ölçüm kabı ile ölçülmüş, CBL 3 diatomiti ve Erbslöh aktif bentoniti kullanılmıştır.

Görüleceği üzere boya vizkozitesi diatomit ve bentonit miktarı ile artmakta, karıştırma süresi ve epon tuzu ilavesi ile azalmaktadır. İdeal kalıp boyası aynı diatomit ve bentonit miktarları ile en düşük vizkoziteye sahip olan boyadır.

Boyanın hazırlanmasında bentonit su ile 1/10 ağırlık oranında 24 saat karıştırılır veya bir kovanın içerisinde bekletilir. Daha sonra yine bir karıştırıcıda düşük devirde 100 d/d şişmiş olan bentonite diatomit ilave edilerek 1 saat karıştırılır.

Diatomit-Bentonit boyları ile kalıpların boyanmasında 2 temel farklılıklar gösteren boyama sistemleri kullanılmaktadır. Diatomit miktarı % 21 ve bentonit miktarı % 1.25'e kadar Düker püskürtme sisteminin kullanılması ile 0.5-0.7 mm boya kalınlığında iyi bir izolasyon ve kaplama özelliği sağlanmaktadır. İdeal basınç oranı P-hava/P-boya ≥ 6 olmalıdır. Püskürtme miktarı hava basıncı ile azalmakta, boya basıncı ile artmaktadır. Özgül boya sarfiyatı, katı faz olarak 0.06 g/cm*mm dir. Buna karşın püskürtme başlığında nozel kullanılarak uygulanan boyama yöntemlerinde diatomit ve bentonit miktarları

diatomit %21-30 ve bentonit miktarları da %4.2-6.6 arasında olabilir. Bu şekilde boyamada boya kalınlığı 0.9-1.1 mm ve özgül boya sarfiyatı katı faz olarak 0.07 g/cm².mm dir. Bu değerlendirmeler Düker boyama sisteminin boya sarfiyatının diğer yöntemle nazaran %60 daha az olmasıdır. Buda çevreye daha fazla duyarlılık anlamı taşır. Resim 1 ve 2 de kalıp boyama prosesi ve boyama sonu kalıp gösterilmiştir.



Resim 1 ve 2. Düker savurma döküm makinası kalıp boyama prosesi ve boyama sonu kalıp

Boyama için kalıp devir sayısı G-faktör 50 alınmalıdır. Boya lansesi hareket hızı Düker boyama sisteminde 400 mm/san.ve lansenin gidip gelme sayısı asgari 8 defadır. Bu sayı arttıkça boyanın ve dolayısı ile silindir gömleğinin dış yüzey pürüzlülüğü azalır.



Silindir gömleği dış yüzey kalitesine B=bentonit, D=diatomit miktarları %, Ph= hava ve Pb=boya basıncının, bar, etkilerini veren regresyon eşitliği:

$$OG=9.83+0.54*B-0.21*D+2.28*P_h-10.58*P_b \quad (6)$$
$$R=0.78$$

olarak saptanılmıştır. Burada OG dış yüzey pürüzlülüğünü ve hataları içeren kalite ölçüsü olup 10 en iyidir. Yüzey kalitesi hava basıncı ile artmakta buna karşın boya basıncı ile azalmaktadır.

Diğer uzun boru dökümü kalıp boyama yöntemlerinde 62.mm/san olup, kalıp arkadan döküm tarafına doğru olmak üzere 1 kerede boyanır. Sulu gömleklerin dökümünde kalıplar püskürtme başlığında nozel'lı olarak boyanırlar ve lanse gidip gelme sayısı 3 defadır.

Diatomit- bentonit-Su karışımı harici boya malzemeleride genel olarak tekli döküm makinaları, yatay ve dikey karuzellerde kuru ve özellikle yaş silindir gömleklerinin dökümünde kullanılırlar, özgül boya sarfiyatları 0.12 g/cm². mm ve ideal boya kalınlığıda 1-1.2 mm dir.

3.7. Silindir gömleklerinin katılaşması ve kalıpta kalma süresi

Belirtildiği gibi silindir gömleklerinde katılaşma yönleşmiş olduğundan ve hızı içe doğru azalarak ilerlediğinden hem grafit varoluş şekli, büyüklüğü ve ana doku radyal kalınlıkta değişmektedir. Böylece dış yüzeyden içe doğru D, D+B, B, A+B, A ve honlama yüzeyine kadar iri A-tipi grafit oluşumu gözlenecektir. Grafit büyüklüğünde iç yüzeye doğru büyüyecektir. Silindir gömleğin kalıp içinde soğuma hızı bu verilen grafit dokularının miktar ve yerlerini belirleyen

en önemli etgen olup, metalurjik parametrelerin ideal kılınmaları ile honlama yüzeyinde istenen grafit ve ana doku ile sertlik değerine erişilir.

Farklı şekillerdeki metalik eriyiklerin katılaşma ve soğuma süreleri Chvorov'un ifade ettiği aşağıdaki eşitlikle verilir (9-12):

$$t = k*(V/O)^2 \quad (7)$$

t = katılaşma,soğuma süresi dak, san

V/O=Modül olarak tanımlanan ve döküm parçasının hacminin soğumaya katılan yüzeyine oranı olan büyüklük (cm, mm)

k = Metal ve kalıp termik özelliklerini içeren katsayı

Örnek olarak bentonit bağlayıcılı kuma dökümde katılaşma süresi için k(Çelik)= 1.8-2.2 dak/cm² ve lamel grafitli dökme demir içinde k=3.2-3.4 dak/cm² dir.

Silindir gömleklerinin savurma dökümünde ısı iletimin çok küçük bir kısmı iç yüzeyden olduğundan ve iki flanş yüzeyleri göz önüne alınmadığında modül eşitliği (13):

$$V/O= (Da^2-Di^2)/ (4*Da) \quad (8)$$

$$V/O= w*(1-(w/Da) \text{ olarak verilir.} \quad (9)$$

Da =Dış çap

Di=İç çap

w=Radyal kalınlık

Tekli döküm makinalarında katılaşma süresinin tesbiti için Engler tarafından uygulanan eriyiğin kalıba dökülmesi esnasında Nikel bilyaların verilmesi yöntemi ile çalışılmış ve katılaşma süresi aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir (11):

$$\text{Log } t= -0.32+1.7*\text{log } M \quad (10)$$

t = katılaşma süresi, dak

M=Modül cm



Engler'e göre kalıp sıcaklığı 600-650 °C ve kuru kaplama malzemesi olarak 1 mm kalınlığında grafit-aluminyum-alumina karışımının kullanıldığı deneysel çalışmalar katılma süresini dökme demir için (11):

$$\log t = -0.22 + 1.6 * \log M \text{ eşitliği ile vermektedir} \quad (11)$$

Diğer çalışmalarda silindir gömleklerinin tesisi kapasitesini belirleyen kalıpta kalma sürelerinin modüle ve savurma döküm makinalarına bağlı olarak şu eşitliklerle verileceğini ortaya koymuştur:

$$\text{Tekli Döküm/Diatomit+Bentonit, kalınlık 0,5-0.7 mm:} \\ t(a) = 1.945 * M^{1.23} \quad (12)$$

Düker B25/Diatomit+Bentonit, kalınlık 0.5-0.7 mm

$$t(a) = 1.816 * M^{1.53} \text{ t (dak) ve M(cm)} \quad (13)$$

Çok sayıda kalıba sahip yüksek kapasiteli savurma döküm makinalarında böylece kalıpta kalma süresi eşitliğinden soğuma istasyonu kalıp sayısı ve kapasitenin saptanılması imkanı doğar.

t(1) kalıbın her istasyonda duruş süresi, t(2) döküm süresi, n(s) döküm istasyonu hariç soğuma istasyonu sayısı, t(3) bir istasyondan diğerine geçiş süresi ve t(4) çekme istasyonunda silindir gömleğinin çekilmesine kadar geçen süreleri gösterdiğinde;

$$t(a) = t(1) - t(2) + n(s) * t(1) + ns * t(3) + t(3) + t(4) \\ \text{eşitliği yazılır} \quad (14)$$

t(1)=60, t(2)=10, t(3)=7, t(4)=10 olduğunda eşitlik 13 de modül=1 cm t(a)=109 san ve soğutma istasyonu sayısı 2 alındığında t(1) istasyon duruş süresi 44 san saptanılır. Bu durumda t(1) istasyon duruş süresi 44 san olur ve kapasitede 3600/(60+7)= 53.73 döküm/h dır.

Silindir gömleği sayısı 2 m lik uzunluktan kaç adet işlenebileceğine bağlıdır.

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Gömleklerinin doku, mekanik özellikleri ile işlenebilme kabiliyetlerinin iyileştirilmelerine yönelik olarak 1982 yılından itibaren başlayarak Federal-Mogul Sapanca Fabrikasında aşağıda verilen çalışmalar yapılmıştır:

1. 1982-1985: Karuzel ve tekli döküm makinalarında maske kalıp kumunun kullanılması ile üretime başlama ve FeSi-Al-Grafit ihtiva eden kuru kaplama malzemesi ile deneysel çalışmaların yapılması, aşılama malzemeleri ve radyal kalınlıkta sertlik dağılımı üzerine incelemeler (13)

2. 1986-1990: Yaş boya malzemesi çalışmaları. Yurt içinden temin edilen diatomit ve bentonit ile yaş kalıp boya malzemesinin yapılması ve tekli döküm makinalarında kullanma, çelik kalıpların kullanılması (14),

3. 1991-1995: Düker uzun boru döküm makinası ile 8 kalıba sahip dikey karuzelin devreye alınması ve tüm makinalarda ithal edilen diatomit ve bentonit bazlı boyanın kullanılması, boyama prosesinin optimizasyonu (15).

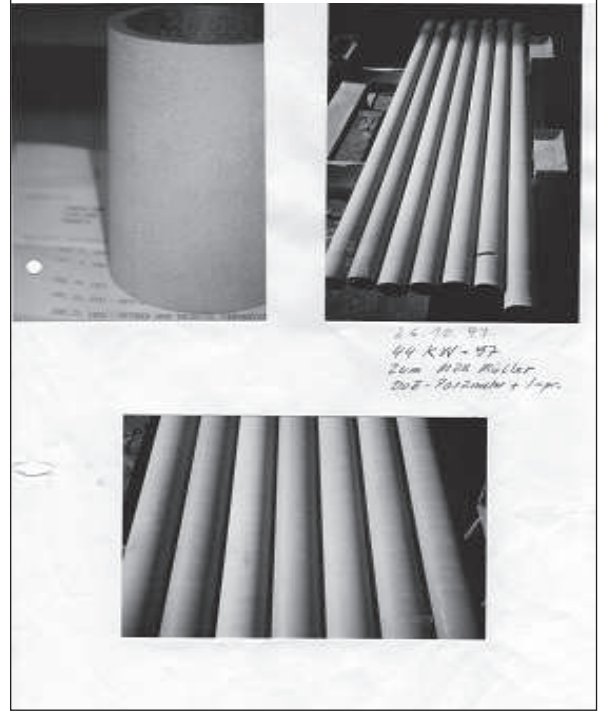
Farklı tesislerde dökülen silindir gömlekleri için C, Si ocak analizi, döküm sıcaklığı, tekli dökümlerde iç çapın tek değer kaymalı SPC kartları ile kontrol altına alınmaları (15)

4. 1996-2000: Yüksek kapasiteli Düker B50 döküm makinalarına geçiş, boyama tekniğinin iyileştirilmesi, Mn ve S miktarlarının ve iç çap optimizasyonu, işlenebilme ilgili deneysel çalışmalar (16, 17) Resim 3.



Yapılan bu çalışmalara konu olan silindir gömleklerinin bazılarının değerlendirmeleri Tablo 6 ve 7 de verilmiştir.

Resim 3. Silindir gömlekleri fırçalanarak temizleme sonu kalıp iç çapı 77.3 mm



Tablo 6. İncelemeye konu olan bazı silindir gömlekleri değerlendirmeleri

Gömlek tipi Nominal iç çap mm	Renault 76	NG4 75	IVECO 115	BMW 84	Honda 85	Renault 73	Renault 73	Honda 85 ****)	Honda 85 ****)
Döküm makinası	Tekli D.	Düker B50	Düker B25	Düker B50	Düker B25- 50	Karuzel	Karuzel	Düker B25.	Düker 25
Boya malzemesi	D+B Yurt içi	D+B*)	D+B*)	D+B*)	D+B*)	Maske Kumu	D+B+S Yurt içi	D+B*)	D+B*)
Boya kalınlığı mm	0.5-0.6	0.5-0.7	0.5-0.7	0.5-0.7	0.5-0.7	1.1-1.3	0.5-0.6	0.6-0.8	0.6-0.8
Aşılama malzemesi	Noklat	Supers. **)	Noklat ***)	Supers. **)	Noklat	Noklat	Noklat	Supers.	Supers.
Aşılama miktarı %	0.5	0.5	0.45	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.45
C % ocak	3.38	3.45	3.3	3.45	3.4	3.38	3.26	3.30	3.29
Si	2.13	1.63	1.9	1.76	1.9	1.80	1.65	2.03	1.94
Mn	0.84	0.62	0.65	0.70	0.70	0.80	0.82	0.72	0.71
P	0.38	0.40	0.15	0.40	0.18	0.40	0.40	0.18	0.20
S	0.05	0.08	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06
Cr	0.43	0.30	0.35	0.40	0.11	0.45	0.40	0.13	0.13
Cu	0.15	0.30	0.35	0.30	0.25	0.08	0.09	0.13	0.13
Mo	0.06	0.35	0.25						
Ni			0.52					0.17	0.17
B			0.06						
Modül mm	12.5	9.6	16.1	6.8	8.0	12.5	12.5	5.6	7.3
Pota K-faktörü	2.02	1.61	1.63	2.01	1.83	2.02	1.89	1.97	1.79
Log M	1.1	0.98	1.21	0.83	0.90	1.09	1.09	0.75	0.86
logK	0.3	0.21	0.21	0.30	0.26	0.31	0.26	0.29	0.25

Maske kumu: Reçine kaplı AFS 100 büyüklüğünde maske kalıp kumu

D+B+S: Diatomit-Bentonit-Su karışımı boya, yurt içi, püskürtme tabanca ile

*) D+B+S karışımı, Düker lanze sistemi

***) Superseed kimyasal analizi %: Si 75, Al 0.4, Ca 0.04 ve Sr 1.15, 0.2-2 mm tane büyüklüğü

****) Noklat 0.4-2.5 mm Analizi %: Si 70-75, Zr 2-5, Mn 2-3

*****) Farklı kalınlıkta dökülen Honda analizine sahip gömlekler

**Tablo 7. İncelemeye konu olan bazı silindir gömlekleri değerlendirmeleri**

Gömlek tipi Nominal iç çap mm	Peugeot 94	Fiat 104	Fiat 100	BMC 68	BMC 80.25	Perkins 91.475	J.Deere 102	Scania V 127	Fiat 100
Döküm makinası	Karuzel	Karuzel	Karuzel	Karuzel	Karuzel	Karuzel	Tekli D.	Tekli D.	Tekli D.
Boya malzemesi	Maske kumu	Maske Kumu	Maske kumu	Maske Kumu	Maske Kumu	Maske Kumu	D+B+S Yurt içi	D+B+S Yurt içi	D+B+S Yurt içi
Boya kalınlığı mm	1-1.3	1-1.3	1-1.3	1-1.3	1-1.3	1-1.3	0.5-0.6	0.5-0.6	0.5-0.6
Aşılama malzemesi	Noklat)	Noklat	Noklat	Noklat	Noklat	Noklat	Noklat	Noklat	Noklat
Aşılama miktarı %	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45	0.50
C % ocak	3.36	3.37	3.32	3.38	3.39	3.32	3.35	3.3	3.32
Si	2.1	2.1	2.05	2.0	2.16	2.15	2.05	1.78	2.11
Mn	0.74	0.71	0.71	0.67	0.67	0.67	0.66	0.66	0.71
P	0.43	0.43	0.39	0.31	0.32	0.35	0.35	0.32	0.39
S	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
Cr	0.2	0.32	0.36	0.33	0.32	0.34	0.35	0.23	0.36
Cu	0.32	0.33	0.29	0.23	0.26	0.20	0.39	0.23	0.29
Mo				0.34	0.26	0.12	0.12		
Ni		0.51	0.52	0.28	0.39	0.20	0.56	0.19	0.52
B									
Modül mm	11.1	10.8	13.8	11.6	8.5	9.6	14.7	18.4	13.8
Pota K-faktörü	1.98	1.98	1.93	1.91	2.05	2.02	1.94	1.66	1.99
Log M	1.04	1.03	1.4	1.06	0.93	0.98	1.16	1.26	1.14
logK	0.3	0.3	0.28	0.28	0.31	0.31	0.29	0.22	0.3

Maske kumu: Reçine kaplı AFS 100 büyüklüğünde maske kalıp kumu

D+B+S: Diatomit-Bentonit-Su karışımı boya, yurt içi, püskürtme tabanca ile

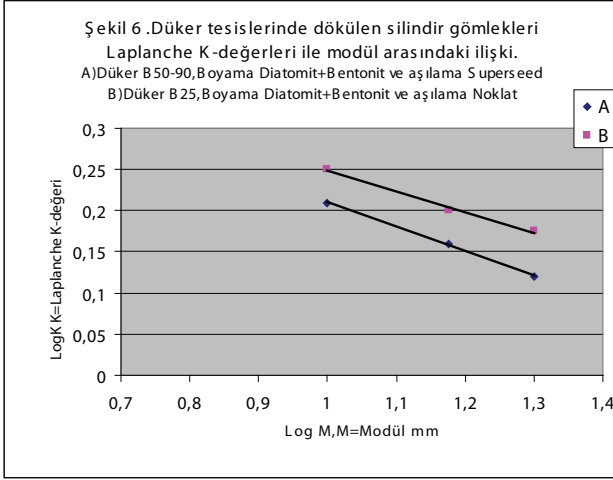
Noklat kimyasal analizi %: Si 70-75,Zr 2-5 ve Mn 2-3, Tane büyüklüğü 0.5-2 mm

Tablo 8. Regresyon eşitlikleri

Savurma döküm makinası, tesisi	Kalıp boyama malzemesi	Aşılama malzemesi ve nasıl yapıldığı	Regresyon eşitliği Aşılama sonrası C ve Si değerleri, Modül mm
A.Düker B25-50- ve 90 B25 1kalıp B50 7-8 kalıp B90 15 kalıp 2m	Diatomit-Bentonit+Su Düker boyama sistemi	Superseed, tane büyüklüğü 0.4-2 mm, otomatik aşılama, döküm makinası potasına verilmesi	$\log K=0,52-0,31*\log M$
B.Düker B25 B25 1 kalıp 2m	Yukarda verildiği gibi	Noklat, tane büyüklüğü 0.4-2 mm, döküm makinası potasına manuel olarak verildi	$\log K=0,58-0,31*\log M$
C.Tekli döküm makinaları Uzunluk 35-45 cm	Diatomit-Bentonit+Su Yurt içinden temin edildi, püskürtme tabancası ile boyandı	Noklat, tane büyüklüğü 2-6 mm, bekletme ocağından transfer potasına eriyiğin dökülmesi esnasında Son aşılama gerektiğinde Tane büyüklüğü 0.4-2 mm	$\log K=0,577-0,27*\log M$
D.Seri Renault Karuzeli 11*2 başlık ve kalıp Uzunluk 40 cm	Maske kalıplama kumu, AFS 100	Noklat, otomatik aşılama, döküm makinası Potasına verilmesi	$\log K=0,40-0,10*\log M$



Her bir savurma döküm tesisi Laplanche K-değerleri ile silindir gömlekleri modülü arasındaki ilişkiler Tablo 8 de verilmiş ve Şekiller 6 ve 7 de gösterilmiştir. Korelasyon katsayısı ≥ 0.75



Şekil 6. Uzun boru döküm makinalarında elde edilen ilişkiler

Şekil 6 da aşılama malzemesinin Laplanche K faktörüne etkisi görülmekte olup, Superseed'in kuvvetli aşılama etkisi nedeni ile aynı modül değerinde daha düşük bir K-değeri ile dökümü mümkün kılmaktadır. Her iki doğru birbirlerine paralel ve aradaki ortalama K-değeri farkı 0.21 olup, % 0.23 Si miktarına karşılık gelmektedir. Her iki döküm makinasının kalıp şekilleri ve boyama malzemesi ile boyama yöntemi aynıdır.

Diğer taraftan Karuzel makinasında maske kalıp kumunun kalıp kaplama malzemesi olarak kullanımı kalınlığın 1-1.3 mm olmasına rağmen ısı iletiminin kuvvetli olması nedeni ile tekli dökümlerin üstündedir.

Bu sonuçlar, silindir gömleği dökümünde K-değerlerinin tesise yani kalıp şekline, kullanılan kalıp boya veya kaplama malzemesine, aşılama malzemesi ve aşılama tekniğine ve gömlek mo-

dülüne bağlı olduklarını ortaya koymaktadır. Düşük K-değeri daha yüksek mekanik özellikleride beraberinde getirdiği unutulmamalıdır. Bu sonuçlar değerlendirmeye alınan LVP ve LVD silindir gömlekleri için ideal savurma döküm tesisinin Dükler ve aşılama malzemesinin de superseed olduğunu ortaya koymaktadır.

Silindir gömleği dökümünde modül'ün bilinmesi ile ocak karbon ve silisyum miktarlarının saptanılması imkanı da doğmaktadır. Örnek olarak, modül M=11 mm olduğunda,

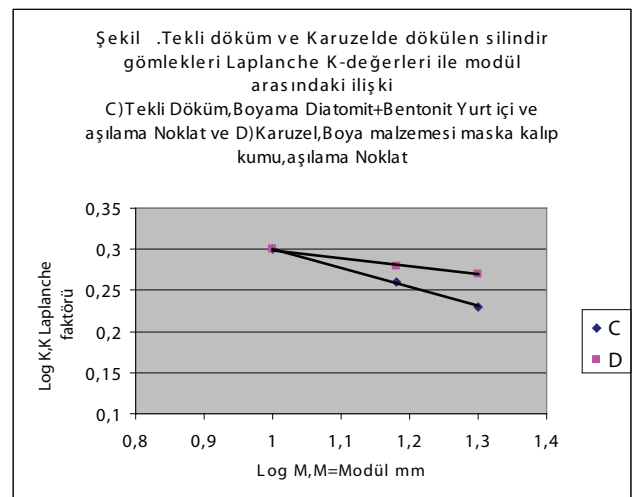
$$\log K(\text{pota}) = 0.52 - 0.31 \cdot \log M \text{ eşitliğinden (15)}$$

$$K(\text{pota}) = 1.57 \text{ ve}$$

C/Si = 1.60 olarak alındığında k-faktörü eşitliğinden C miktarı % 3.26 ve silisyum miktarıda % 2.04 saptanılır. Ocak Si-miktarıda, aşılama miktarı % 0.4 kabul edilerek:

$$\text{Si-ocak analizi} = \text{Si}(\text{pota}) - 0.4 \cdot 0.75 \quad (16)$$

$$\text{Si-ocak analizi} = 1.74 \text{ bulunur}$$



Şekil 7. Tekli döküm ve karuzelde dökülen silindir gömlekleri ilişkileri, karuzel maske kalıp kumu, Tekli döküm Diatomit+Bentonit yurt içi



Laplanche K-faktörü ile silindir gömleklere modülleri arasındaki ilişkilerden görüleceği üzere karuzel için K-değerleri modül arttıkça daha yüksek değerler almaktadır. Bunun nedeni maske kalıp kumunun izolasyon özelliğinin iyi olmamasıdır.

Bu değerlendirmeler silindir gömleği dökümü ile uğraşan teknik elemanlara silindir gömleklere kalitesinin iyileştirme çalışmalarında yeni bir uygulama alanı kazandırmış olacaktır. Honlama yüzeyinde A-tipi grafit ve ince perlitik dokunun varolmasını sağlayacak olan C ve Si miktarları savurma döküm makinası kalıp dizaynı, boya malzemesi, boyama prosesi, boya kalınlığı, aşılama malzemesi ve miktarının etkilediği Laplanche K-faktörü ile modül arasındaki ilişkiden tesbit edileceklerdir.

Kaynaklar

- 1.) P.Pirweck Technologien und Gütemasstab für die Bewertung von Gusseisen mit Lamellengraphit
SKW Nr.13-1(1.Yayın 4/79)
- 2.) Giesserei Lexikon 1978, S.326-327
- 3.) Giesserei-Kalender 1959, S.115-116 Gieserei- Verlag Düsseldorf
- 4.) J.F.Janowack, R.B.Grundlach
A Modern Approach to Alloying Gray Iron
AFS Transactions 1982 Vol 90 Özel yayın Climax Molybdenum Co.
- 5) Z.Gorny Grundlagen und Technologien der Schleudergießverfahren Verien Deutscher Giessereifachleute, Düsseldorf 1977, Çeviri
- 6) J.Cumberland The British Foundryman January 1963,S.26-47
- 7.) L.Riposan, M.Chisamera, S.Stan ve T.Skaland
AFS Cast Iron Inoculation Conference September 29-30, 2005, Shaumburg Illinois
- 8.) Impfen und Impfliegierungen
ELKEM/Norveç
- 9.) R.Wlodaver
Giesserei 1964,Nr.4,S.95-100
- 10.) H.Gottschalk
Giessereitechnik 33 Jahrgang, Heft 9, 1978, S.277-281
- 11.) H.Gottschalk
Beitrag zum Abkühlverhalten von Schleudergussstücke Symposium 16-17 Mart 1999, Aachen RWTH
- 12.) H.Gottschalk Giesserei-Praxis 13/16, 1997, S.327-332
- 13.) S.İzgiz TMMOB Makine Mühendisleri Odası 1.Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu Bursa 4-8 Kasım 1985
- 14.) S.İzgiz Metalurji 18,1987, S.34-42
- 15.) S.İzgiz Metalurji 81,1993, S.12-27
- 16.) S.İzgiz Metalurji 21,2002, S.43-58
- 17.) S.İzgiz Metal Dünyası 1888, 2009, S.96-10